**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
INSTITUTO DE QUÍMICA
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

ALEXANDRE BAGDONAS

**“CONTROVÉRSIAS ENVOLVENDO A NATUREZA DA CIÊNCIA EM
SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS SOBRE COSMOLOGIA”**

SÃO PAULO

2015

ALEXANDRE BAGDONAS

**“CONTROVÉRSIAS ENVOLVENDO A NATUREZA DA CIÊNCIA
EM SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS SOBRE COSMOLOGIA”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação Interunidades em Ensino de
Ciências da Universidade de São Paulo,
como requisito parcial para obtenção do
título de Doutor em Ensino de Ciências.
Área de concentração: Ensino de Física.
Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

SÃO PAULO

2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Bagdonas, Alexandre

Controvérsias envolvendo a natureza da ciência em
sequências didáticas sobre cosmologia. São Paulo, 2015.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química
e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

Área de Concentração: Ensino de Física.

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Educação;
3. História da ciência; 4. Epistemologia; 5. Cosmologia;
6. Jogos educativos.

USP/IF/SBI-048/2015

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela FAPESP, com bolsa de doutorado processo 2011/07728-4 e BEPE processo 2013/02218-3. Ela envolveu intenso trabalho coletivo. A criação e construção da sequência de ensino e aprendizagem sobre cosmologia recebeu contribuições essenciais de todos os participantes das reuniões semanais do grupo GrAFiE, depois rebatizado para TeHCo: Armando Tagiku, Beatriz Fagundes, Fábio Beig, Graciella Watanabe, Hélio Vicentini, Itamar Fernandes e Jorge Nicolau, Roberto Soares, André Tato, André Noronha, Felipe Velásquez, Ivã Gurgel e Vitor Machado. Também agradeço ao meu pai, Luiz Henrique, ao Felipe e seus pais, além dos funcionários da Online CV pelo excelente trabalho gráfico realizado com os cartões do jogo. Merecem um agradecimento mais que especial todos os meus amigos que ajudaram jogando o COSMIC ao longo de várias versões, fazendo críticas construtivas: Evandro Rozentalski, Luciene Fernanda, Lucas Soares, Mariana Guedes, Gustavo Oliveira, Tiago Zé Colmeia, Rodrigo Shiozaki, Raul Teixeira, Flávio Frois e Cris, Flávia Polati, ao Natan e ao Vitor, que merecem um agradecimento duplo pelas dublagens, e aos alunos da EE Ana Rosa, que aceitaram contribuir em muito com seu engajamento nas atividades planejadas por nós.

Nossas reflexões sobre educação foram em muito enriquecidas graças ao convívio com o João Zanetic e seus orientandos, Flávia, Léo, Leandro Daros, Bete, Kellen, Marcelo, Alexandre Custódio, Renato, Marcília e Adalberto, além dos mais jovens membros do TeHCo: Gabi, Sofia, Alex, Márcia, Yuri, Renan, Helton, Danilo e Maristela. Também agradeço ao apoio e encorajamento dos colegas do corredor, Soninha, Renatinha, Thaís, Fred, Fernando, Jucivagno, Juliano, Giselle, Esdras, Nilva, Breno e Pedro. Além disso, todos os amigos, professores e familiares já agradecidos na minha dissertação de mestrado merecem ser agradecidos aqui novamente. Destaco o agradecimento a Flávia, por nosso amor e companheirismo, principalmente por ter se mantido próxima mesmo quando eu estava longe.

Os estudos sobre história da cosmologia, principalmente sobre URSS, foram estimulados pela interação com o grupo Lacic, da UFBA, pelo Olival Freire, Indianara Silva, Leyla Joaquim, Virgille Besson e principalmente por Thiago Hartz, a quem devo a apresentação aos textos de Alexei Kojevnikov, e a hospedagem e amizade ao longo de tantos congressos e viagens juntos, e ao Climério Silva, um grande amigo que me ajudou a enfrentar o inverno canadense com a Flávia. Alexei Kojevnikov, Jessica Wang, Karl and Sally Hufbauer, thank you very much for your kindness and hospitality in Vancouver and Seattle!

Agradeço aos professores Paulo Porto, Maurício Pietrocola e Cibelle Silva pelas críticas e sugestões dadas à pesquisa durante apresentações feitas em reuniões de seus grupos de pesquisa, ao professor Domingos Soares, pela constante troca de mensagens sobre cosmologia, por sua coluna Cosmos, ao professor Osvaldo Pessoa por sua militância contra a dominação do relativista Henrique sobre o racionalista Bagdonas e a ambos pelas contribuições no exame de qualificação.

Um novo agradecimento ao Evandro e ao André pelos debates acalorados e divertidos, incluindo pintinhos realistas, diagramas, construtivismo social e as controvérsias sobre a natureza da ciência, ao Ivã por ter me desafiado a não fazer só pesquisa teórica e encarar o ensino médio da escola pública, e principalmente ao Vitor Machado por ter me ajudado cotidianamente nesse desafio e principalmente pela paciência de me aguentar falando quase todo dia sobre o jogo, natureza da ciência e cosmologia.

Resumo

BAGDONAS, Alexandre. Controvérsias envolvendo a natureza da ciência em sequências didáticas sobre cosmologia. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Nesta pesquisa realizamos estudos sobre história da cosmologia, buscando estimular discussões a respeito de aspectos controversos da ciência, ou sobre a chamada “natureza da ciência”. A partir de uma revisão de pesquisas que buscaram subsídios da história e da filosofia das ciências para o ensino de ciências, apresentamos e problematizamos a chamada “visão consensual sobre a natureza da ciência”. Essa visão, que tem aparecido em muitas pesquisas recentes, considera que somente os aspectos não controversos dos debates sobre a natureza da ciência devam ser ensinados na educação básica. Com o objetivo de evidenciar o valor de controvérsias na educação, buscamos casos na história da cosmologia que parecem ter potencial para serem levados tanto para a formação inicial e continuada de professores, quanto para o ensino médio. Inicialmente, apresentamos várias influências complexas que atuaram durante o processo de criação e aceitação da teoria da expansão do universo, na primeira metade do século XX. Com base em duas visões antagônicas de filósofos da ciência sobre a mudança das teorias científicas, o racionalismo crítico de Lakatos e o anarquismo epistemológico de Feyerabend, criamos duas sínteses de obras sobre a história da cosmologia: uma reconstrução racional da história e uma história com maior espaço para a pluralidade de teorias e a presença de fatores usualmente considerados não racionais na ciência. Como forma de investigar a viabilidade de levar controvérsias para a educação básica, criamos uma sequência de ensino e aprendizagem estruturada a partir de um jogo, em que o objetivo geral foi gerar discussões sobre influências socioculturais sobre a ciência. Este tema é controverso, envolvendo tensões historiográficas (internalismo contra externalismo), filosóficas (racionalismo contra relativismo) e educacionais, já que educadores se mostraram preocupados com o risco de que ensinar ciências fazendo uso de uma história externalista, debatendo influências sociais sobre a ciência, poderia levar à desvalorização da ciência pelos estudantes. Nesse jogo, inspirado em estudos históricos mas também incluindo criações ficcionais, professor e alunos atuam como membros de uma organização de fomento à ciência e argumentam sobre o valor de teorias cosmológicas, no período entre 1914 a 1939. Para isso estudam tanto aspectos da história da cosmologia, como também da história política, cultural e econômica neste período. Com base na avaliação da sequência de ensino e aprendizagem em uma escola pública, argumentamos que é possível evitar o relativismo, desde que o professor esteja atento para esse risco. A maior parte dos argumentos dos estudantes mostrou que mesmo quando eles debatiam influências políticas sobre a ciência, erros, disputas de prioridade e até mesmo decisões irracionais de cientistas, mantinham a defesa de valores típicos da visão clássica de ciência como ideal viável a ser perseguido pela comunidade científica.

Palavras chave: natureza da ciência, cosmologia, jogo didático, controvérsias.

Abstract

BAGDONAS, Alexandre. Controversies regarding the nature of science on teaching and learning sequences about cosmology. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), University of São Paulo, São Paulo, 2015.

In this research we have performed studies on history of cosmology, aiming to stimulate discussions regarding controversial aspects of science, or about the so called “nature of science”. After a review of recent researches which seek subsidies of history and philosophy of science for science education, we present and problematize the so called “consensual view of the nature of science”. This view, which has been adopted by several researchers in the last decades, considers that only non controversial aspects of the debates about the nature of science should be taught in basic education. With the goal of highlighting the value of controversies in education, we have looked for cases on history of cosmology which seem to have potential to be taught both on teacher training courses and high school physics classes. Initially, we present several complex influences that were present during the process of creation and acceptance of the theory of the expansion of the universe, during the first half of 20th century. Based on antagonistic views of philosophers of science about changes on scientific theories, Lakatos' critical rationalism and Feyerabend's epistemological anarchism, we have created two synthesis of secondary sources on history of cosmology: a rational reconstruction of history and a history with more attention to the plurality of theories and the presence of influences on science that are usually considered not rational. In order to investigate the viability of teaching controversies on basic education, we have created a teaching and learning sequence structured by a didactic game, whose general goal is to promote discussions about sociocultural influences on science. This is a controversial issue, related to historiographic tensions (such as internalism against externalism), philosophical tensions (such as rationalism against relativism) and educational tensions, since educators have been concerned with the risk that teaching about external influences on science could lead students to devalue science. In this game, inspired by historical studies but also including fictional creations, the teacher and students play roles as members of a science funding agency and argue about the value of cosmological theories, in the period from 1914 to 1939. They study both aspects of history of cosmology, such as aspects of the political, cultural and economic history of this period. Based on the evaluation of this teaching and learning sequence in a public high school, we argue that it is possible to avoid relativism, if the teacher is aware about this risk. Most of the students arguments showed that even when they debated social influences on science, errors, priority disputes and even scientists' irrational decisions, they kept the defense of values that are typical of the classical view of science as a plausible ideal to be pursued by scientific community.

Keywords: nature of science, cosmology, didactic games, controversies.

Índice

Resumo.....	5
Abstract.....	6
Índice.....	8
Apresentação.....	10
1 Introdução.....	18
1.1 Física Moderna e Contemporânea na educação básica.....	19
1.2 História e Filosofia da Ciência na educação básica.....	25
1.3 A natureza da ciência.....	30
2 Controvérsias sobre a natureza da ciência.....	39
2.1 Um breve histórico dos ataques à razão e às ciências naturais.....	41
2.2 A ciência é uma construção social?.....	50
2.3 A tensão entre racionalismo e relativismo.....	55
2.4 A tensão entre internalismo e externalismo	58
2.5 O construtivismo social no ensino de ciências.....	65
2.6 A visão de ciência adotada nessa pesquisa.....	69
3 Histórias da cosmologia.....	73
3.1 Quem descobriu a expansão do universo?	73
3.2 A favor e contra o método.....	122
4 Ensinando cosmologia no ensino médio.....	137
4.1 A criação da sequência de ensino e aprendizagem.....	137
4.2 Tensões entre prescrições de historiadores e educadores.....	140
4.3 A sequência de ensino e aprendizagem produzida.....	149
4.4 Investigação de concepções dos alunos sobre a ciência.....	159
4.5 Limites e possibilidades do jogo COSMIC.....	180
5 Considerações finais.....	189
6 Referências.....	192
Anexos.....	216
1 Descrição detalhada das atividades da sequência de ensino e aprendizagem.....	216
1.1 Atividade 0	216
1.2 Atividade 1 – O que é cosmologia?.....	216
1.3 Atividade 2 – Relações entre ciência e sociedade.....	223
1.4 Atividade 3 – Jogo 1914 a 1924.....	226
1.5 Atividade 4 – Universo estático.....	232
1.6 Atividade 5 – Avaliação da Primeira Fase.....	239
1.7 Atividade 6 – Fase 2 do Jogo Cosmic.....	247
1.8 Atividade 7.....	254
1.9 Atividade 8.....	257
1.10 Atividade 9.....	259
2 Fontes utilizadas na produção dos cartões do jogo.....	266

Índice de figuras

Figura 1: O “verdadeiro método científico”	54
Figura 2: Velocidades radiais (em km/s) medidas por Slipher	81
Figura 3: Velocidades radiais (em km/s) medidas por Slipher até 1922.....	84
Figura 4: Relação velocidade – magnitude encontrada por Wirtz.....	88
Figura 5: Relação distância – velocidade apresentada por Silberstein.....	90
Figura 6: Falta de correlação velocidade-distância em aglomerados globulares (Lundmark) ..	92
Figura 7: Relação velocidade-distância para nebulosas espirais (Lundmark)	93
Figura 8: Comparação entre dados de Hubble (1929) e Lundmark (1924).....	95
Figura 9: Relação entre velocidade radial e distância para as nebulosas espirais (Lundmark) ..	96
Figura 10: Diagrama criado com base nos dados usados por Lemaître (1927).....	105
Figura 11: Diagrama criado por Hubble, propondo relação velocidade-distância linear.....	107
Figura 12: Modelos de universo em expansão apresentados por de Sitter (1930, p.213).....	110
Figura 13: Trecho da carta de Smart a Lemaître em 1931, apresentada por Block como evidência de pressão para o belga desistir de sua equação 24.....	113
Figura 14: Velocidades de recessão maiores que a velocidade da luz1.....	118

Índice de tabelas

Tabela1_Dissertações_HFC.....	27
Tabela2_Guerra_das_Ciências.....	50
Tabela3_Paradigmas_cosmologia.....	115
Tabela4_redshift.....	127
Tabela5_Temperatura_do_universo.....	130
Tabela6_atividades.....	150
Tabela7_Blog_questão_0.....	217
Tabela8_Blog_questão_1.....	219
Tabela9_Blog_questão_2.....	224
Tabela10_Votos_país_atividade3.....	227
Tabela11_Argumentos_atividade3.....	227
Tabela12_Blog_questão_3.....	233
Tabela13_Argumentos_atividade5.....	240
Tabela14_Votos_1A_fase1.....	243
Tabela15_Votos_1B_fase1.....	244
Tabela16_Votos_1C_fase1.....	246
Tabela17_Votos_país_atividade6.....	247
Tabela18_Argumentos_atividade6.....	248
Tabela19_Blog_questão_4.....	255
Tabela20_Blog_questão_5.....	258
Tabela21_Argumentos_atividade9.....	260
Tabela22_Votos_1A_fase2.....	263
Tabela23_Votos_1B_fase2.....	264
Tabela24_Votos_1C_fase2.....	265

Apresentação

Esta pesquisa investiga o ensino de cosmologia com enfoque histórico e filosófico. Venho investigando este tema desde 2008, em uma iniciação científica e uma dissertação de mestrado que buscaram discutir sobre a “natureza da ciência” a partir de estudos da história da cosmologia (Henrique 2011).¹

O termo “natureza da ciência” normalmente se refere “aos valores e assunções inerentes ao desenvolvimento do conhecimento científico” (Lederman 1992, p.331, tradução livre). No grupo de pesquisa coordenado pela professora Cibelle Silva, segui a tradição de boa parte dos pesquisadores interessados em estudos de episódios da história da ciência para ensinar aspectos da natureza da ciência (Silva 2006, Moura 2008, 2014).

Nos dois anos iniciais desta tese, busquei aprofundar os estudos históricos e epistemológicos realizados durante o mestrado. No campo epistemológico, interessei-me pelo embate entre racionalismo e relativismo, que marcou a relação entre os filósofos Imre Lakatos (1922-1974) e Paul Feyerabend (1924-1994), e também teve influência na comunidade de pesquisa em Ensino de Ciências, principalmente durante a chamada “Guerra das Ciências”, opondo cientistas de ciências exatas e humanas. No capítulo 2, argumentamos que estas tensões podem levar a discussões interessantes na formação de professores e na educação básica.

Já no campo da história das ciências, inicialmente a obra que foi mais influente nesta pesquisa foi o livro *Cosmology and Controversy* (Kragh 1996), que já havia sido a principal referência para estudos sobre relações entre ciência e religião em meio a controvérsia entre Big Bang e Estado Estacionário (Henrique 2011). Interessei-me principalmente por um tema abordado superficialmente por Kragh: as influências ideológicas sobre a ciência, particularmente no caso da cosmologia na URSS.

Este tema polêmico está diretamente relacionado às tensões envolvendo o construtivismo social da ciência: o quanto seria a ciência influenciada por seu contexto sócio-histórico?

Durante a Guerra Fria, o mundo se dividia em dois blocos ideológicos: o ocidente capitalista (cujos expoentes eram os Estados Unidos e a Europa Ocidental) e os países socialistas do oriente (URSS, Alemanha Oriental, China, entre outros). De modo geral, os valores associados à ideologia do partido comunista soviético, como marxismo, dialética e

¹ Até 2011 adotei Henrique como sobrenome para citações acadêmicas. O trabalho (Henrique 2011) é minha dissertação de mestrado, que aborda a controvérsia cosmológica entre as teorias do Big Bang e Estado Estacionário, nas décadas de 1950 e 1960, para fomentar discussões sobre relações entre ciência e religião na formação inicial de professores de ciências. Depois disso decidi adotar meu nome do meio, Bagdonas, como nome para citação nos trabalhos seguintes.

comunismo, eram vistos negativamente no ocidente. Já no bloco soviético, evidentemente, estes valores eram positivos e influenciaram fortemente o tipo de pesquisa realizada pelos cientistas soviéticos. Os astrônomos soviéticos deveriam servir ao partido fornecendo propaganda anticlerical e rejeitando os modelos cosmológicos “ocidentais”, como os de Lemaître e Gamow, que apontavam para uma criação do mundo. Estes modelos eram associados à visão da criação cristã e valores ocidentais que deviam ser erradicados.

Kragh (1996, 2012) argumentou que a influência ideológica sempre acontece na ciência, mas que ela teria sido intensa na URSS durante a Guerra Fria, quando a ciência tornou-se politizada e forçada a se adequar às doutrinas do Marxismo-leninismo. Para suportar esta tese, Kragh apresentou o discurso de políticos, como Andrei Zhdanov (1896– 1948), um político do alto escalão do partido comunista soviético, responsável pela fiscalização da cultura, o que ficou posteriormente conhecido como Doutrina de Zhdanov, ou *zhdanovshchina*. Em 1947 ele emitiu sua visão sobre a cosmologia ocidental, condenando-a como não condizente com o materialismo marxista:

Os cientistas reacionários Lemaître, Milne e outros fizeram uso do desvio espectral para o vermelho para fortalecer visões religiosas da estrutura do universo... Falseadores da ciência querem reviver o conto de fadas da origem do universo a partir do nada... Outra falha da “teoria” em questão consiste no fato de que ela nos traz para a atitude idealista de considerar que o universo é finito (Zhdanov 1947 citado em Kragh 1996, p. 260).

Segundo a descrição de Kragh, ainda que a cosmologia relativística não fosse vista como uma ciência burguesa na URSS, a aplicação de teorias físicas conhecidas localmente para o universo como um todo era vista com desconfiança, como não científica ou contrária ao materialismo dialético. Esta descrição me levou a questionar sobre o quanto seria a cosmologia ocidental também sujeita a influências ideológicas.

Em novembro de 2011, apresentei reflexões iniciais envolvendo influências ideológicas sobre a cosmologia no Encontro Nacional de Pesquisa em História da Ciência (ENAPEHC), que reuniu estudantes de pós graduação em Salvador (Bagdonas et al 2011). Com isso, recebi contribuições de diversos pesquisadores do LACIC – Laboratório de Ciência como Cultura, da UFBA, em particular de Thiago Hartz e Climério da Silva Neto. Passei a estudar outros historiadores que trataram do tema influências culturais, políticas e econômicas sobre a ciência no século XX.

Uma das principais obras que influenciaram esta tese foi o livro *Stalin's great science: the times and adventures of Soviet physicists* (Kojevnikov 2004). O autor, um físico e historiador da ciência russo, criticou obras sobre história da ciência soviética escritas durante

o período da Guerra Fria, por serem marcadamente influenciadas por estereótipos ideológicos. Segundo ele, historiadores ocidentais enfatizaram apenas os aspectos mais dogmáticos e prejudiciais da relação entre o materialismo dialético apoiado pelo Partido Comunista Soviético, tais como o caso de Trofim Lysenko e o banimento da genética mendeliana durante o governo de Stalin.

Esse caso isoladamente recebeu mais atenção do que todo o resto dos desenvolvimentos científicos soviéticos juntos, o que contribuiu para a criação de uma visão unilateral da ciência na URSS que vê as falhas e problemas ligados a influências perniciosas da política e ideologia, sem considerar as mesmas influências nos triunfos. Nas últimas décadas estudos da história, filosofia e sociologia das ciências têm criticado essas abordagens assimétricas, que recorrem às influências “externas” (sociais, políticas, econômicas e ideológicas) apenas para explicar as falhas científicas. Já para explicar os sucessos, só são considerados os fatores “internos”: teorias, experimentos, argumentos racionais e lógicos, de forma que aspectos ideológicos nunca são considerados na análise da produção do conhecimento aceito. Por isso, Kojevnikov (2004, p. xii) defende que sejam abandonados estes estereótipos historiográficos de forma a desenvolver uma visão mais equilibrada da ciência soviética, em seus contextos sociais, políticos e ideológicos.

O estudo sobre a URSS é um tema muito importante para entender a história do século XX. O surgimento da União Soviética com a Revolução Russa e o seu fim marcando o término da Guerra Fria foram eventos tão marcantes que levaram o historiador inglês Eric Hobsbawn a escolhê-los como marco inicial e final do “breve século XX”. Porém, estudos sobre ciência e tecnologia são raros entre autores que se dedicam a Estudos Russos, recebendo muito menos atenção que, por exemplo, a literatura ou a arte em geral. Para compreender a história do nosso século é essencial que também se compreenda o papel desempenhado pela ciência nesta história, já que “nenhum outro período foi mais penetrado pelas ciências naturais nem mais dependentes delas do que o século XX” (Hobsbawn 1995, p. 504). Ao mesmo tempo em que se deu muito valor a essa ciência, no século passado também se fortaleceu uma visão negativa sobre algumas de suas consequências. As ciências naturais tiveram papel determinante nas guerras, possibilitando a criação de armas cada vez mais destruidoras. Com a explosão das bombas atômicas sobre Hiroshima e Nagasaki e o início da Guerra Fria, o temor de uma guerra nuclear que poderia destruir toda a humanidade marcou a visão pública sobre a ciência.

Estudar como se deu o desenvolvimento científico na URSS tem grande potencial para se conduzir reflexões sobre a natureza da ciência, principalmente por que nesse período o regime político vigente era fundamentado no socialismo. São raros os trabalhos que se dedicam a episódios históricos em que a dimensão política e ideológica do trabalho científico possam ser claramente evidenciadas. Isso faz com que muitos estudantes e professores de ciências mantenham a visão da ciência como atividade neutra, algo que já foi questionado por muitos pensadores no século XX e que tem sido problematizado principalmente por educadores interessados em discutir relações entre ciência, tecnologia e sociedade (Strieder 2012).

Inúmeros são os temas propícios para essa abordagem que encontramos ao longo da história da ciência e da física em particular. Apenas para exemplificar, podemos mencionar o abandono e o retorno das concepções aristotélicas ao longo da idade média; a conflituosa relação das pesquisas de Galileu com a Inquisição e o rápido desenvolvimento da física nuclear durante e logo após a segunda guerra mundial.

Porém quase todos os estudos de história da ciência que buscam contribuições para o ensino tratam de cientistas que viveram em países da Europa Ocidental ou nos EUA, ou seja, em países capitalistas. Além disso, raramente abordam influências políticas e ideológicas tanto sobre a ciência, quanto sobre sua historiografia. O estudo da história da ciência soviética permite ricas análises sob perspectivas históricas e antropológicas, já que a URSS foi uma sociedade industrialmente avançada sob um regime socialista e, portanto, foi baseada em princípios econômicos, sociais e filosóficos radicalmente diferentes dos das demais civilizações industriais (Graham 1998, p.135). Como a URSS era uma nação que teve uma história cultural, política e econômica muito diferente da dos países da Europa Ocidental, estudos comparativos da ciência soviética podem ser muito interessantes para explorar a relevância de fatores sociais, políticos, econômicos e culturais sobre a prática dos cientistas.

Em julho de 2012 voltei a Salvador, na UFBA, para cursar uma disciplina ministrada por Alexei Kojevnikov,² sobre história da física no século XX a partir das obras de importantes historiadores das ciências que têm destacado influências sociais e culturais sobre a ciência, como Peter Galison, David Kaiser e Helge Kragh. Além de ser muito proveitosa para os estudos que vínhamos conduzindo no projeto de pesquisa, ter cursado essa disciplina também nos permitiu entrar em contato com o professor Alexei Kojevnikov e propor a realização de um estágio na University of British Columbia, entre agosto de 2013 e julho de 2014.

² FISB 98 - Newton, Einstein, Bohr: History and Philosophical Lessons of Modern Physics”, para os alunos do Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

A partir dos estudos de diversas fontes secundárias sobre a história da ciência soviética na primeira metade século XX, encontramos diferentes visões sobre as relações entre ciência e ideologia, nos diferentes casos estudados (Bagdonas et al. 2012a):

1. Uma visão predominantemente negativa da influência política sobre a ciência soviética, principalmente no período stalinista (Mikulak 1954, Nicolaidis 1990).

2. O reconhecimento da influência política sobre a ciência na URSS, mas negando a importância dessa influência política nos sucessos científicos, argumentando que sua importância foi menor quando comparada a fatores “internos” da ciência (Kragh 1996, Gorelik 2005 a, b).

3. Autores que buscam enfatizar os aspectos positivos decorrentes das relações entre a ideologia soviética e sua ciência, criticando o fato de que a maior parte das obras sobre a ciência soviética na Guerra Fria apresentaram apenas os aspectos mais dogmáticos e prejudiciais da relação entre o materialismo dialético apoiado pelo Partido Comunista Soviético e a ciência (Joravsky 1961, Graham 1966, 1993, 1998, Kojevnikov 2004).

Estas complexas tensões entre historiadores da ciência foram estudadas ao mesmo tempo em que participei da elaboração de sequências de ensino e aprendizagem, durante as reuniões do Grupo de Teoria e História do Conhecimento Científico e Escolar (TeHCo), composto por professores de física do Ensino Médio público da cidade de São Paulo e pesquisadores do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP). Este grupo é liderado pelo professor Ivã Gurgel, coorientador desta tese, e foi criado em 2011, participando do projeto “A Física Moderna no Ensino Médio e a Formação de Multiplicadores para a Rede Pública de Professores de Física”. Criamos uma sequência de ensino e aprendizagem sobre Relatividade Restrita, com foco na questão do Paradoxo dos Gêmeos (Nicolau 2014, Pietrocola *et al.* 2012)³. A partir de maio de 2012 o grupo se dividiu, de forma que alguns integrantes continuaram aperfeiçoando a sequência de ensino e aprendizagem sobre Relatividade, enquanto outros iniciaram a produção de uma nova sequência de ensino e aprendizagem sobre cosmologia.

Inicialmente, a criação da sequência de ensino e aprendizagem começou com uma proposta baseada nos estudos sobre a cosmologia na URSS. Além de trazer discussões sobre influências políticas na ciência, nosso interesse inicial era problematizar visões utilitaristas de ciência. É comum que se valorize a pertinência de certo saber principalmente em função dos

³ Projeto FAPESP, modalidade Ensino Público - proc. 08/55542-4 até abril de 2013. Coordenado pelo professor Maurício Pietrocola, o grupo criou entre 2008 e 2011 sequências didáticas sobre Relatividade, Mecânica Quântica e Física de Partículas, disponíveis em <http://www.nupic.fe.usp.br/Projetos%20e%20Materiais/curso-paradoxo-dos-gemeos>

benefícios práticos e imediatos permitidos por seu aprendizado. O ensino da cosmologia não pode ser justificado com argumentos utilitaristas, como a utilização prática no dia a dia, ou como forma de preparar o indivíduo para o mercado de trabalho.

Com o objetivo de problematizar visões utilitaristas da ciência, buscamos episódios da história da ciência na URSS em que debates sobre a utilidade do conhecimento foram travados. Imaginamos que as dificuldades enfrentadas pelos soviéticos durante guerras, perseguições políticas e na corrida armamentista nos permitiriam dar um cenário mais dramático e concreto para as discussões envolvendo o utilitarismo. Assim, o estudo sobre relações entre ciência e política na URSS permitiria conduzir debate sobre a viabilidade de se investigar questões tão abstratas como a cosmologia. Gostaríamos de explorar a tensão entre as pesquisas mais contemplativas e que são movidas pela curiosidade, contra as pesquisas com mais aplicações práticas e úteis para a sociedade a curto prazo.

No entanto, no processo de criação coletivo da sequência, acabamos percebendo que esta proposta inicial era demasiado complexa e bastante distante dos interesses da maioria dos alunos do ensino médio público paulistano, ainda mais com as condições atuais complicadas em que se encontra a educação básica. Com isso, a problematização do utilitarismo foi se tornando um objetivo secundário, e novas propostas surgiram em seu lugar.

Para justificar por que estudar um tema tão específico como ciência na URSS seria interessante para alunos do Ensino Médio, o grupo de pesquisa chegou à ideia de um jogo didático que permite ensinar cosmologia a partir de uma divisão histórica e geográfica. As fases do jogo equivalem à passagem do tempo, ao longo de diferentes períodos entre 1914 e 1939. Em cada fase, os alunos estudam a história da cosmologia em diferentes países, inserida em seu contexto sócio-histórico.

A criação desta sequência de ensino-aprendizagem se deu entre 2012 e 2013, sendo ministrada em aulas de Física do Ensino Médio pelo professor Vitor Machado, integrante do TeHCo, entre abril e junho de 2013.

No ano seguinte, na University of British Columbia, em Vancouver (Canadá), pude aprofundar meus estudos sobre referenciais do *Science Studies* e historiadores da ciência com ênfase cultural. Além disso, orientado por Alexei Kojevnikov, fiz uma pesquisa sobre o cosmólogo russo George Gamow (1904-1968). Esta escolha se deu pelo meu interesse sobre cosmologia soviética e pela limitação de não poder ler em russo. Como Gamow emigrou da URSS para os EUA em 1934, pude ler seus artigos, correspondência científica e livros de divulgação científica em inglês.

George Gamow escreveu mais de 20 livros de divulgação entre 1938 e 1965, popularizando áreas da ciência bem distantes de sua formação inicial, como físico nuclear. Alguns astrônomos, geólogos e biólogos criticaram seu modo de divulgar ciência, argumentando que ele deveria popularizar apenas teorias que já tivessem sido avaliadas por especialistas, pela publicação em periódicos científicos (Bagdonas 2014).

Desrespeitando estes conselhos, Gamow apresentou a ideia de que o universo foi quente e denso no passado, pela primeira vez, em seus textos de divulgação científica no fim da década de 1930 (Gamow 1938). Só no fim da década seguinte ele publicou artigos em periódicos científicos que o tornaram famoso como um dos criadores da teoria do Big Bang (Gamow 1946).

Com base no estudo dos livros de divulgação sobre cosmologia publicados por Gamow e em sua correspondência científica, investiguei as suas intenções com a popularização científica, argumentando que ele queria não só ensinar conceitos científicos para leigos, mas também esperava ser lido por cientistas, que nessa época consideravam a cosmologia extremamente especulativa. Gamow usou o humor para criticar teorias rivais e valorizar seu papel na história da ciência, aproveitando para incluir em livros de divulgação argumentos que não poderia publicar em artigos profissionais, revisados por pareceristas⁴ (Bagdonas 2013, 2014).

Voltando ao Brasil, terminei de analisar os dados de pesquisa coletados durante a intervenção didática em aulas de física do Ensino Médio, analisando as concepções de natureza da ciência dos estudantes.

No capítulo 2 detalhamos alguns aspectos controversos da natureza da ciência na educação básica, principalmente sobre a importância de influências políticas, culturais e sociais sobre a ciência. De um lado, os autores que podemos denominar mais “internalistas” defendem que estas influências têm importância menor quando comparadas com aspectos estritamente científicos, como experimentos, observações e suas interpretações baseadas em teorias. Já os autores com maior tendência ao “externalismo” defendem o oposto, ou argumentam que não é possível demarcar com segurança o que é externo ou interno, criticando a própria distinção entre “internalismo” e “externalismo”, ou entre contexto e conteúdo.

⁴Como esta pesquisa em história da ciência tornou-se consideravelmente distante dos assuntos que compuseram esta tese, optamos por publicá-la como um artigo separado, que será assinado por mim e por Alexei Kojevnikov. Alguns aspectos desta pesquisa foram incluídos na tese, principalmente na seção 3.2.4, sobre o triunfo do Big Bang sobre cosmologias alternativas.

Em seguida, no capítulo 3, apresentamos estudos da história da cosmologia no século XX, com ênfase nas tensões envolvendo influências políticas, sociais e culturais sobre a ciência. Apresentamos duas visões antagônicas de filósofos da ciência sobre a racionalidade dos processos de mudança científica: uma visão racionalista crítica defendida por Imre Lakatos e o anarquismo epistemológico de Paul Feyerabend. Com base nessa tensão de visões opostas da natureza da ciência, criamos duas sínteses de trabalhos sobre a história da cosmologia no século XX: primeiro uma reconstrução racional da história, privilegiando as observações astronômicas e argumentos físicos envolvidos em suas interpretações cosmológicas; depois uma história com maior espaço para a pluralidade de teorias e a presença de fatores usualmente considerados não racionais na descrição do processo de construção das teorias científicas, como disputas de prioridade por descobertas, influências do nacionalismo e da política na Europa no período posterior à Primeira Guerra Mundial.

Finalmente, no capítulo 4, apresentamos uma sequência de ensino e aprendizagem sobre história da cosmologia, criada para investigar as vantagens educacionais possíveis ao se debater na educação básica um aspecto controverso sobre a ciência: o quanto aspectos sociais, culturais e políticos influenciam a atividade científica. Para levar este debate a aulas de física do Ensino Médio, o jogo didático criado permite que os alunos investiguem a história da ciência no início do século XX, principalmente entre 1914 e 1939, refletindo e discutindo sobre possíveis relações entre a história política mundial e o desenvolvimento da cosmologia relativística.

1 Introdução

Esta pesquisa visa discutir a especificidade da cosmologia como ciência e como conteúdo escolar, mostrando quais questões de ordem histórica, filosófica e cultural são características desse corpo de conhecimento e quais delas têm potencial para serem trabalhadas na educação básica.

Argumentamos que como a cosmologia afetou e foi influenciada por uma variedade de fatores filosóficos, políticos, ideológicos e religiosos, trata-se de um tema particularmente interessante para motivar discussões não consensuais, controversas, sobre a neutralidade da ciência; discutir se ela reflete valores sociais, culturais ou políticos; e se esta possibilidade leva ou não a um relativismo a respeito do conhecimento científico.

Um dos temas mais estudados por pesquisadores de ensino de ciências recentemente é a chamada “natureza da ciência”. Argumenta-se que é preciso problematizar visões ingênuas, tais como a da ciência ser constituída de verdades imutáveis e convidar os estudantes a refletir sobre a ciência, vendo-a como uma construção humana limitada e provisória (Lederman 1992, 2007).

Por mais que estes pesquisadores reconheçam que não há uma única visão sobre a natureza da ciência, os mesmos consideram válido estabelecer uma lista de tópicos *consensuais* para serem ensinados aos professores de ciências, e que estes os ensinem a seus alunos (Hodson 1986, McCommas et al. 1998, Abd-El-Khalick e Lederman 2000, Gil Pérez et al 2001, Vázquez et al 2007). Reconhecendo o valor destas propostas que buscaram problematizar visões “deformadas” ou inadequadas sobre a natureza da ciência, consideramos essencial que isso seja feito valorizando a dúvida, o questionamento, o debate e a tomada de decisões de cada indivíduo sobre questões controversas.

Primeiramente apresentamos brevemente pesquisas sobre o ensino de cosmologia, física moderna e contemporânea (seção 1.1), e sobre o uso da história e filosofia da ciência na educação básica (seção 1.2). Em seguida faremos uma revisão do debate sobre a natureza da ciência no ensino com base em pesquisas em educação científica (seção 1.3), com foco nas críticas à chamada “visão consensual” da natureza da ciência, que busca eliminar controvérsias construindo consensos. Defendemos que, em vez de evitar aspectos controversos na educação básica, uma abordagem filosófica pluralista é mais adequada para formar cidadãos críticos.

1.1 Física Moderna e Contemporânea na educação básica

Uma das funções principais da pesquisa em ensino de ciências é a de propor inovações curriculares, mantendo a atualidade dos conteúdos ensinados na educação básica. Por isso, muitos pesquisadores têm defendido a inserção de tópicos da física moderna e contemporânea no currículo do Ensino Médio (Ostermann e Moreira 2000, Pereira e Ostermann 2009). Dentre estes, um número menor tem defendido a inserção da cosmologia contemporânea nas aulas de ciências, como forma de atualização do currículo escolar (Kantor 2001, Arthurury 2010, Aguiar 2010, Azevedo 2011, Henrique 2011, Skolimoski 2014).

Uma objeção comum a inovações curriculares que buscam aumentar a quantidade de conteúdos a serem ensinados na educação básica é a falta de tempo disponível. Nessa visão, muitas vezes se assume que primeiro é preciso ensinar a física clássica na ordem tradicional, para só depois ensinar outros conteúdos mais atuais.

Como toda seleção curricular, a escolha de quais seriam os tópicos mais importantes da física moderna e contemporânea para serem inseridos na educação básica envolve uma série de disputas sobre que tipo de visão de ciência se quer apresentar aos estudantes.

É possível, por exemplo, privilegiar o rigor conceitual, buscando novas abordagens para ensinar conceitos de física moderna e contemporânea de forma tradicional, o que é comum nos artigos escritos por físicos que não fazem parte da comunidade de pesquisa em ensino de ciências. Há também propostas que têm como objetivo aproximar cada vez mais o conhecimento escolar da pesquisa em física que está sendo realizada atualmente. Por exemplo, os pesquisadores que adotam a teoria da Transposição Didática como referencial teórico, consideram que só os “Saberes Sábios” consensuais podem se tornar “Saberes a Ensinar” (Brockington e Pietrocola 2005).

Já outras propostas para inserir a física moderna e contemporânea na educação elegem outras prioridades, tornando o conteúdo de física uma preocupação secundária. Por exemplo, temos várias pesquisas cujo objetivo principal é trazer discussões sobre relações entre ciência, tecnologia e sociedade, ou sobre a natureza da ciência a partir de diversos episódios da física moderna e contemporânea. Existe até mesmo a possibilidade de que tópicos da física contemporânea sejam abordados para problematizar a confiança depositada na ciência, defendendo teses “relativistas” que deixariam a maioria dos cientistas ofendidos.

Um dos principais argumentos utilizados por cientistas sobre a importância do ensino de ciências é a possibilidade de atrair jovens talentos para a área científica. Assim, assuntos como relatividade, mecânica quântica e cosmologia, que estão sempre presentes em obras de

divulgação científica por sua potencialidade de atrair a atenção da população em geral, são frequentemente os assuntos que mais motivam jovens a escolherem cursos universitários de física e, portanto, seriam assuntos preferenciais para serem discutidos na educação básica.

Porém, por mais que todo professor fique contente em saber que um de seus alunos gostou tanto de estudar física no ensino médio que acabou decidindo se tornar um cientista, este não é o principal objetivo do ensino médio no Brasil. Como são pouquíssimos os estudantes que continuarão seus estudos em uma universidade, a constituição brasileira estabeleceu a terminalidade no ensino médio, ou seja, sua função é fornecer uma educação não propedêutica, pensando na formação do cidadão comum.

Debatendo a questão “é possível ensinar a física moderna?” na educação básica, o físico francês Jean Marc Lévy-Leblond se confessa cético em relação à necessidade e possibilidade de se atualizar o currículo escolar. Considera que a plena dimensão cultural de um saber só é demonstrada no ensino se este for recolocado em seu contexto histórico e filosófico, o que não tem sido feito pela maioria dos professores de física, mesmo no ensino superior.

Assim, em vez de querer modernizar a todo custo os conteúdos específicos do ensino científico, parece-me muito mais urgente levar os alunos à compreensão do que é realmente ciência, de seus processos de trabalho, seus desafios epistemológicos, suas implicações sociais. A contribuição de disciplinas como a história, a arte e a filosofia é essencial em relação a este problema. O problema do ensino de ciências é sério demais para que fique entregue apenas às mãos dos próprios cientistas (Lévy-Leblond 2002, p. 72)

Em sua tese de doutorado, João Zanetic (1989) apresentou diversas críticas ao ensino de física tradicional que normalmente se restringe aos conteúdos da física clássica, com a total ausência dos desenvolvimentos posteriores ao início do século XX, como a relatividade e a mecânica quântica. Refletindo sobre atividades desenvolvidas em cursos de formação de professores de física no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, propôs um conjunto de atividades, leituras e inserções em cursos formativos, que “promova a superação destas deficiências e de seus reflexos no ensino de física em todos os níveis, particularmente no segundo grau da escola pública”. Com o auxílio destes elementos, acreditava que seria possível “levar para as salas de aula a física desenvolvida neste século, antes que ele acabe” (Zanetic 1989, p.5).

Zanetic defendeu que seja apresentada aos alunos uma visão da física que aproxime a “física escolar” dos mais recentes avanços construídos pelos físicos contemporâneos, com objetivo de mostrar que:

A física também é cultura. A física também tem seu romance intrincado e misterioso. Isto não significa a substituição da física escolar “formulista” por uma física “romanceada”. O que desejo é fornecer substância cultural para esses cálculos, para que essas fórmulas ganhem realidade científica e que se compreenda a interligação da física com a vida intelectual e social em geral. (...) Acredito que com o auxílio desses elementos culturais será possível levar para as salas de aula a física desenvolvida neste século, antes que ele acabe (Zanetic 1989, p.5).

Em sua tese de livre docência, Menezes (1988) apresentou várias abordagens possíveis para a inserção de aspectos da física moderna e contemporânea no ensino. Explorou relações entre física e cultura a partir de músicas como o samba *Tempo e Espaço*, do zoólogo e sambista boêmio Paulo Vanzolini, e abordou reflexões epistemológicas a partir dos estudos da cosmologia contemporânea. Também defendeu a importância de momentos na educação com uma visão menos contemplativa e mais prática, visando o entendimento da “física das coisas”: “o aprendizado da física quântica está se revelando necessário em diversos pontos de um programa de ensino médio, que desenvolve a física também como instrumento para os estudantes compreenderem os fatos de seu cotidiano, sejam fenômenos naturais ou processos tecnológicos” (Menezes e Hosoume 1997, p.282). Seguindo essa tendência, outros autores também defenderam a presença de tópicos de física moderna e contemporânea como forma de discutir implicações e transformações sociais, culturais e tecnológicas (Canato Jr. 2003, Valente 2009).

Discutindo a questão da seleção dos assuntos relevantes para serem introduzidos na educação básica, Zanetic (1989, p.17) apresenta na forma de questões uma série de fatores que podem servir de orientação:

- i. do conhecimento acumulado ao longo da história da humanidade o que deve ser selecionado para ser ensinado na escola?
- ii. essa seleção permite que um cidadão contemporâneo entenda melhor o universo em que vive no sentido de abarcar a sua localização no espaço e no tempo, seu papel na produção, o conhecimento do mundo físico, o funcionamento básico de seu corpo e de sua mente, as potencialidades de seu país, o funcionamento do Estado e as razões da organização social reinante e sua possível transformação?
- iii. essa seleção vai ser útil no seu trabalho de tal forma a torná-lo um trabalhador flexível e não apenas um mero apêndice da máquina?
- iv. esse conhecimento selecionado vai ajudá-lo a usufruir suas horas de lazer?
- v. esse conhecimento é útil no prosseguimento dos estudos?

Seguindo uma visão ampla sobre a importância de se atualizar o currículo escolar de física, nessa pesquisa buscamos, a partir de estudos da história da cosmologia no século XX, não só apresentar conteúdos mais atuais, mais próximos da pesquisa contemporânea em cosmologia, mas também introduzir discussões sobre a natureza da ciência que sejam particularmente relevantes para o cidadão comum.

Existem questões metacientíficas interessantes que podem ser discutidas a partir de qualquer episódio histórico, em qualquer aula de filosofia ou de ciências, independentemente do assunto estudado. Por exemplo, a problematização de visões empiristas e indutivistas da ciência pode ser realizada em estudos sobre Galileu, sobre a teoria da relatividade e mecânica quântica (Silveira e Peduzzi 2008), sobre a teoria das cores de Newton (Silva e Martins, R. 2003), sobre a óptica newtoniana (Moura 2008), em vários outros episódios da história da óptica (Forato 2009) ou em estudos da cosmologia do século XX (Henrique 2011).

A cosmologia é um assunto com grande potencialidade, por permitir que certas questões epistemológicas sejam inseridas nas aulas de ciências, tendo uma especificidade em relação a outros conteúdos científicos ensinados na educação básica. Seu estudo permite criar com naturalidade diálogos sobre a visão de mundo dos estudantes e sua relação com os resultados da ciência contemporânea.

Questões sobre a origem do universo, quando abordadas pela ciência, podem gerar conflitos não só com as visões de mundo de base religiosa, mas também com uma série de crenças e práticas culturais. Por exemplo, teorias criacionistas de Terra Jovem, em que a idade do universo seria da ordem de dezenas de milhares de anos, entra em conflito com diversas teorias científicas muito bem estabelecidas, provenientes de diferentes áreas do conhecimento, como física, geologia, biologia, astronomia e cosmologia. Isso os força a buscar estratégias ad hoc esdrúxulas para tornar sua fé compatível com resultados científicos contemporâneos, tais como a radiação de fundo de micro-ondas (Heaton 2009). Apesar disso, as visões de mundo dos estudantes raramente são discutidas nas aulas de ciências (Hanson & Redfors 2007, Falcão et al 2008, Henrique 2011, Azevedo 2011).

O ensino da cosmologia não pode ser justificado com argumentos utilitaristas, como a utilização prática no dia a dia, ou como forma de preparar o indivíduo para o mercado de trabalho. No entanto, a cosmologia é um tema que pode ser fascinante, permitindo a inserção de discussões a respeito das relações entre as ciências e visões de mundo na educação.

Por mais que a cosmologia seja uma das ciências com mais espaço na divulgação científica, por atrair muito a atenção dos não cientistas, ela ainda está muito pouco presente na educação básica, assim como na formação de professores.

A cosmologia relativística é uma área de pesquisa razoavelmente recente, já que os primeiros modelos cosmológicos baseados na relatividade geral surgiram em 1917. Pelo menos até a década de 1950, poucos cientistas se dedicavam a pesquisas nessa área, que ainda era vista como muito especulativa pela falta de observações astronômicas disponíveis para testar os diversos modelos que vinham sendo construídos. Outro fator que dificulta o ensino de cosmologia, até mesmo nos cursos universitários de Física, é a dificuldade matemática da teoria da relatividade geral, que exige muito treinamento específico para ser compreendida.

Em geral, na maioria das universidades brasileiras, os físicos e astrônomos só aprendem os pré-requisitos necessários para compreender os conceitos cosmológicos mais importantes, como a expansão do universo, o desvio espectral das galáxias, a nucleossíntese primordial ou a radiação de fundo de micro-ondas, em cursos do fim da graduação, ou até mesmo de pós-graduação em Astronomia, Cosmologia ou Física Teórica. A lógica dos pré-requisitos faz que raramente o cidadão comum, ou os jovens nos primeiros anos de cursos universitários, tenham contato com conceitos básicos de astronomia e cosmologia. Mesmo nos cursos de licenciatura, que deveriam preparar professores para a educação básica, há poucas disciplinas obrigatórias sobre astronomia e cosmologia (Bretones 1999, Kantor 2001, Langhi 2009, Aguiar 2010). Por isso, seguindo a lógica do ensino tradicional de física, que enfatiza o encadeamento lógico dos conteúdos vistos como pré-requisitos para os aprendizados posteriores, fica muito difícil pensar em inserir aspectos da cosmologia contemporânea na educação básica.

Porém, assim como no caso das pesquisas que buscam inserir aspectos da teoria da relatividade, mecânica quântica ou outros tópicos de física moderna e contemporânea, acreditamos que vale a pena buscar formas alternativas de ensinar, que levem em conta outros fatores além do encadeamento de pré-requisitos conceituais. Acreditamos que vale a pena perder parte do rigor do formalismo conceitual, arriscando com novas abordagens menos matemáticas e mais qualitativas.

Pelo menos desde a década de 1950 alguns dos cientistas que participavam da criação da cosmologia contemporânea têm se preocupado em ensinar qualitativamente, para não especialistas, os aspectos mais interessantes de sua área de pesquisa (Hoyle 1952, Gamow 1952, Bondi 1952). Posteriormente, a cosmologia tornou-se uma das ciências com mais

impacto sobre a população em geral, a partir de obras escritas por divulgadores da ciência profissionais, escritores de ficção científica (Asimov 1977) e também por cientistas que continuaram trabalhando com divulgação científica (Hawking 1988, Hawking 2001). Atualmente, diversos pesquisadores constataram que a cosmologia é um dos temas científicos considerados mais interessantes pela população em geral, inclusive por alunos da educação básica (Compiani 1996, Kantor 2001, Bazetto e Bretones 2011) e professores de física (Skolimoski 2014).

Recentemente, com a criação do LHC (Large Hadron Collider), no CERN, em Genebra, os físicos de partículas que receberam muito investimento para a construção de uma das máquinas mais caras já construídas pela humanidade, apelaram para a possibilidade de contribuírem com pesquisas em cosmologia como forma de justificar o emprego dessa verba.

Em 2008, a mídia brasileira deu muito destaque às pesquisas que estavam sendo criadas no LHC, dizendo que se procurava a “Partícula de Deus” ou que lá seriam recriadas as condições iniciais do universo. Isso incomodou o cosmólogo brasileiro Mário Novello, que publicou um artigo de jornal explicando que era sensacionalismo da mídia, ou uma distorção na divulgação criada pelos próprios cientistas do LHC:

A grande máquina LHC que o CERN finalmente decidiu construir vai gerar energias bastante elevadas, só atingidas pelo universo no passado remoto, quando o volume total do universo era bastante diminuto. Em suma, estaremos reproduzindo no LHC condições de energia semelhantes às que o nosso cosmos passou. Isso não significa que vamos reproduzir em laboratório as condições atribuídas ao Big Bang, e menos ainda recriar o estado do universo “em seu momento de criação”. Não há nenhuma argumentação científica sólida – a não ser uma extrapolação enquanto proposta de descrição do universo – capaz de identificar a existência de uma fase extremamente quente e condensada do universo com “seu começo”. Os cientistas não são deuses. No máximo, sacerdotes, alguns ansiosos demais por erigir um dogma e exibir-se como profeta de um mito científico de criação.⁵

Vemos assim que o ensino de aspectos básicos da cosmologia contemporânea é essencial para que o cidadão comum possa compreender notícias de jornal como essa, ou que possa se tornar um leitor crítico, capaz de desconfiar dos jornalistas que fazem matérias sensacionalistas de divulgação científica, ou até mesmo de questionar o valor atribuído pelos cientistas à sua área de pesquisa.

⁵ Mário Novello, 20 de julho de 2008, jornal *Estado de São Paulo*. Disponível em <http://www.estadao.com.br/noticias/suplementos,alarde-falso,208933,0.htm>, acesso em fevereiro de 2013.

Para isso, não é razoável exigir que todos devam entender, com rigor, certos conceitos físicos e matemáticos necessários para uma compreensão profunda de conceitos centrais do modelo cosmológico padrão, como os tensores da relatividade geral, utilizados nas equações de campo, o fator de escala nas equações de Friedmann, o desvio espectral para o vermelho das galáxias e a radiação de fundo de micro-ondas.

De qualquer forma, mesmo que alguém compreendesse esses conceitos profundamente, ainda assim faltariam mais conhecimentos para que essa pessoa pudesse ter uma postura crítica e reflexiva em relação à forma como a cosmologia contemporânea tem sido divulgada. Para isso é preciso também entender mais sobre o processo de criação e avaliação das teorias, vendo os cientistas como seres humanos, inseridos em seu contexto sócio-histórico.

Acreditamos que o ensino de ciências será mais rico se permitir aos estudantes aprenderem mais sobre as relações entre a ciência e a sociedade. Isso envolve compreender como se dá o processo de avaliação de artigos, os interesses políticos e econômicos envolvidos no financiamento das pesquisas, as motivações pessoais dos cientistas para defender certas teorias e outros fatores muitas vezes vistos como “externos” que frequentemente são excluídos tanto do ensino, quanto da história das ciências.

A maioria dos pesquisadores que defendem a inserção da cosmologia na educação básica, também argumentam que um enfoque histórico e filosófico é especialmente interessante para este tipo de abordagem (Arthury 2010, Henrique 2011, Azevedo 2011, Reis et al 2013, Skolimowski 2014).

A cosmologia é uma ciência especial e potencialmente problemática, porque questões filosóficas, ideológicas e às vezes até mesmo religiosas, não podem ser facilmente separadas das questões estritamente científicas. Concordamos com o historiador da ciência Helge Kragh (2011), que defender o ensino de cosmologia contemporânea deixando de lado estas questões problemáticas é apresentar uma visão distorcida desta fascinante ciência. Justamente por permitir a condução desse tipo de discussões, com uma abordagem histórico-filosófica, a cosmologia contemporânea deveria ter um papel proeminente na educação científica.

1.2 História e Filosofia da Ciência na educação básica

Inicialmente, para dar maior clareza aos objetivos e justificativas desta tese, vou apresentar um breve histórico das pesquisas que, como esta, buscaram subsídios em estudos da história, filosofia e sociologia da ciência para a educação. Nesse processo, pretendo deixar

mais claras as questões de investigação, principalmente para os leitores não familiarizados com o assunto.

Há muito tempo se argumenta que a história e a filosofia da ciência poderiam contribuir para a melhoria do ensino de ciências naturais. No fim do século XIX, o físico e filósofo alemão Ernst Mach (1838-1916) defendeu que para a compreensão de um conceito teórico é necessário que se compreenda o seu desenvolvimento histórico, ou seja, a compreensão é necessariamente histórica.

A investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de preconceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades. (Mach 1883 *apud* Matthews 1995, p.169).

Apesar disso, a presença efetiva de aspectos históricos nos currículos de ensino de ciência sempre foi pequena. A partir da década de 1970, com a criação de programas de Pós-Graduação, congressos e revistas científicas específicos da área de pesquisa em ensino de ciências no Brasil, o número de defensores da importância de se inserir aspectos da história e da filosofia das ciências no ensino de ciências naturais aumentou consideravelmente.

Na tabela 1, apresentamos as teses e dissertações da área de ensino de física consultadas a partir das palavras-chave “história da ciência” e “filosofia da ciência” no catálogo de dissertações e teses na área de Ensino de Física no período 1972-1992 (Salém e Kawamura 1992, 1996)⁶.

Além destas dissertações e teses, nesse período também foram defendidas duas teses de Livre-docência na Universidade de São Paulo que abordaram aspectos epistemológicos no ensino de física (Menezes 1988, Villani 1987).

⁶ Disponível em http://fep.if.usp.br/~profis/dissertacoes_teses.html, acesso em maio de 2013.

Orientador	Autor (Ano)	Nº M- mestrado D- doutorado	Instituição
Amélia Ampério Hamburger	AURANI, Katya (1985); ALBUQUERQUE, Ivone (1988); RODRIGUES, Idely (1988); ABRAMOF, Patrícia (1989); HIGA, Terezinha (1989); FREIRE JUNIOR, Olival (1990); MARDEGAN, Luiz (1991); MATTOS, Cristiano (1991)	8 M	Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Física e Faculdade de Educação
Luis Carlos de Menezes	MEDEIROS, Alexandre (1984); ZANETIC, João (1989); ANGOTTI, José (1991); DELIZOICOV NETO, Demétrio (1991)	3 D 1 M	
Manoel Robilotta	SOUZA FILHO, Osvaldo Melo (1987), OLIVEIRA, Maurício P. (1988)	2 M	
Alberto Villani	ROVIGATTI, Rodinei (1987)	1 M	
Antônio M. Figueiredo Neto	SILVA, Maria de Fátima (1989)	1 M	
José Carlos Sebe Bom Meihy	GOLDFARB, José Luiz (1991)	1 D	USP, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de História
Orientador	Autor (Ano)	Nº	Instituição
Sérgio Luiz de C. Fernandes	GEVANDSZNAJDER, Fernando (1987)	1 M	Fundação Getúlio Vargas – Instituto de Estudos Avançados em Educação
Zilahá Xavier de Almeida	SOUZA, Guaracira (1985)	1 M	
Joel Martins	NEVES, Marcos Cesar (1991)	1 D	Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação
Vera Maria F. Candau	FRANCO JUNIOR, Francisco (1988)	1 M	Pontifícia Universidade Católica – RJ
Arden Zylberstajn	BORGES, Regina Maria Rabello (1989)	1 M	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Faculdade de Educação
Terezinha V. Flores	SÁ, Luiz Fernando Nunes (1990)	1 M	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Educação

Tabela 1: Dissertações e teses brasileiras sobre história e/ ou filosofia da ciência e suas potencialidades para o ensino de física defendidas entre 1972 e 1992⁷.

A análise da tabela 1 nos mostra que a maioria dos pesquisadores que participaram desse movimento de defesa da inserção de aspectos da história e filosofia da ciência no ensino a

⁷ A tabela foi criada pela consulta dos catálogos criados por Salém e Kawamura (1992, 1996).

partir da década de 1980 foram orientadores e alunos do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP. Esse foi um dos primeiros programas desta área de pesquisa criado no Brasil. No total, nesse período encontramos 18 dissertações de mestrado e 5 teses de doutorado que trataram de história e/ ou filosofia da ciência no ensino. Destas 23 pesquisas, 16 (aproximadamente 70% do total) foram defendidas na Universidade de São Paulo; sendo 13 mestrados no Programa Interunidades em Ensino de Ciências e 3 doutorados no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação.

Em sua tese de Livre-docência, Roberto Nardi (2005) estudou a história da Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil. Entrevistou alguns dos autores que foram considerados por seus pares como importantes contribuidores para a origem da área. Eles apontaram como um fator importante para a consolidação dessa nova área a criação de congressos específicos de ensino de ciências, tais como:

O SNEF – *Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Sociedade Brasileira de Física – iniciado em 1970), o EDEQ – *Encontros e Debates sobre o Ensino de Química* (SBQ – 1980), o ENEQ – *Encontro Nacional de Ensino de Química* (SBQ – 1982), os diversos simpósios regionais (como o SSBEC – *Simpósio Sul Brasileiro de Ensino de Ciências*), as *Escolas de Verão para Professores de Prática de Ensino de Física, Química e Biologia* (iniciadas em 1990 na FEUSP), o EPEF – *Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (SBF – 1986), o EPEB – *Encontro “Perspectivas do Ensino de Biologia”* (FEUSP - 1982), as Reuniões Regionais da SBEnBio e o ENPEC – *Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Abrapec – 1997)(Nardi 2005, p.130).

Gradativamente a linha de pesquisa “História e Filosofia da Ciência” passou a ser constante nesses eventos. No terceiro volume do catálogo de teses e dissertações da área, Salém e Kawamura (2009) modificaram as 15 categorias criadas inicialmente. No caso da história e filosofia da ciência, a novidade foi o aparecimento de contribuições oriundas da Sociologia das ciências:

T5 – História, Filosofia e Sociologia da Ciência: Investigações, discussões ou propostas relativas a aspectos históricos, filosóficos ou sociológicos da ciência e suas implicações no ensino em diferentes níveis ou abordagens. Incluem-se aqui, particularmente, as concepções de ciência presentes em textos didáticos ou nos discursos de alunos e professores (Salém e Kawamura 2009, p.7).

Essa categoria incluiu 62 teses e dissertações, o que equivale a aproximadamente 10% das 618 teses e dissertações produzidas em toda a área entre 1996 e 2009.

Em 1988, o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* publicou um número especial dedicado a debater as contribuições da história e filosofia da ciência para o ensino de física, com a participação de físicos e pesquisadores em ensino de física (Robilotta 1988, Zanetic 1988, Zylbersztajn 1988), um filósofo (Abrantes 1988) e um historiador da ciência (Martins, R. 1988).

A partir da década de 1990, vários novos programas de Pós-Graduação em Ensino de Ciências foram criados em todo o país e a produção dessa área aumentou muito. Nesta década, diversos autores defenderam teses de doutorado em que se realizaram estudos sobre história ou filosofia da ciência buscando contribuições para a educação científica (por exemplo, Zanetic 1989, Angotti 1991, Delizoicov 1991, Neves 1991, Peduzzi 1998), de forma que posteriormente passaram a orientar alunos que aumentaram muito a produção desta linha de pesquisa. A área continuou recebendo contribuições também de historiadores e filósofos da ciência com interesse em educação⁸.

Com o grande aumento de grupos de pesquisa interessados nessa temática, um número cada vez maior de pesquisas tem criado subsídios para que estudos de historiadores da ciência sobre episódios históricos possam ser utilizados na educação básica para conduzir discussões epistemológicas. Um dos principais objetivos destas pesquisas é permitir que os alunos tenham acesso a uma visão mais ampla sobre o processo de construção das teorias científicas. Espera-se que os professores deixem de ver os conteúdos escolares de ciências na educação básica como produtos a serem transmitidos aos alunos, e se interessem pelo complexo processo de produção do conhecimento científico.

No âmbito das pesquisas internacionais da área de ensino de ciências, a importância atribuída à busca de contribuições da história, filosofia e sociologia das ciências também cresceu muito na década de 1990. O *International History, Philosophy, and Science Teaching Group* (IHPST), criado em 1987, tem organizado conferências bianuais para aumentar a colaboração entre as comunidades de cientistas, matemáticos, historiadores, filósofos, psicólogos, sociólogos e educadores da ciência⁹. Em 1992, foi criada a revista *Science & Education*, onde a maior parte dos membros deste grupo publica seus artigos sobre ensino de ciências com enfoque histórico ou filosófico.

⁸ Para um panorama da história da pesquisa em história e filosofia da ciência no Brasil e sua relação com a educação, ver Dias 2008 e Martins et al 2014.

⁹ <http://ihpst.net/about-us/>, acesso em maio de 2013.

Nessa nova comunidade de pesquisa internacional o estudo de episódios históricos passou a ser frequentemente justificado como uma forma de conduzir discussões sobre a chamada “natureza da ciência”.

1.3 A natureza da ciência¹⁰

O conceito de natureza da ciência é reconhecido como complexo e controverso pelos educadores que têm investigado este tema nas últimas décadas. Realizando reflexões após 25 anos como editor do periódico *Science & Education*, Michael Matthews lembrou que na década de 1980 o intenso debate entre construtivistas e realistas teve grande impacto sobre a pesquisa em ensino de ciências. O construtivismo psicológico, epistemológico e pedagógico era a teoria de maior influência no âmbito educacional e era “uma manifestação local da tendência mais ampla do construtivismo social, inspirada por Kuhn, relativista e idealista, muito influente na sociologia da ciência, história da ciência, Science studies e, em menor grau, na filosofia da ciência, nas décadas subsequentes à publicação da segunda edição da *Estrutura das revoluções científicas*”, em 1970”¹¹.

Em 1998, em uma edição especial do periódico *Science & Education* (volume 6, números 1 e 2, 1997), o construtivismo radical proposto pelo psicólogo Ernst von Glasersfeld, assim como teses do Programa Forte da Sociologia da Ciência foram criticadas pelos filósofos Wallis Suchting, Robert Nola, Mark Bickhard, Richard Grandy, Peter Slezak e Denis Phillips e pelo historiador da ciência Helge Kragh (Matthews 1998).

Estes debates influenciaram o próprio conceito de “Natureza da Ciência”. O biólogo e pesquisador em ensino de ciências Norman Lederman, que publicou alguns dos artigos de revisão bibliográfica sobre natureza da ciência com grande impacto na comunidade de pesquisa brasileira (Lederman 1992, 2007)¹², propôs que seria melhor distinguir o conceito “investigação científica” do de “natureza da ciência”, restringindo o último às bases epistemológicas da atividade científica (Lederman 2007, p. 835).

Outros educadores, principalmente os que fizeram parte do movimento de estudos sobre ciência, tecnologia e sociedade, discordaram desta postura, considerando que “boa parte do conhecimento científico, e, portanto, de considerações sobre seu status, validade e

¹⁰ Uma versão preliminar deste capítulo, escrita em 2013, foi publicada no dossiê da Revista Brasileira de História da Ciência (Bagdonas et al 2014).

¹¹ <http://ihpst.net/news/dec2014.pdf>, acesso em maio de 2015

¹² O Google acadêmico mostra 1810 citações de seu artigo (Lederman 1992). Destas, 102 estão em português, acesso em 12 de abril de 2015. Vital e Guerra (2014, p.242) demonstraram que os autores estrangeiros mais citados em dissertações de mestrado sobre natureza da ciência, defendidas em mestrados profissionais, são Michael Matthews, William McCommas e Norman Lederman.

confiabilidade estão intimamente ligadas ao design, condução e comunicação de atividades investigativas” (Hodson 2014, p. 911).

Lederman e colaboradores (2002) criaram métodos para avaliar as concepções de professores e alunos, dentre os quais o VNOS (Views of Nature of Science Questionnaire) foi um dos mais utilizados no Brasil, para avaliar as concepções de natureza da ciência de professores e estudantes brasileiros (como, por exemplo, Teixeira *et al.* 2009). Nos últimos anos, diversas pesquisas semelhantes foram realizadas, com questionários similares, ou adaptados a partir dos questionários criados pelo grupo de Norman Lederman (Porra *et al.* 2011, Durbano *et al.* 2013).

Em artigos de revisão da pesquisa em ensino sobre “natureza da ciência”, Lederman (1992, 2007), descreveu três principais linhas de pesquisa nos estudos dessa área:

1. Avaliação das concepções de estudantes e professores sobre a natureza da ciência;
2. Desenvolvimento, implementação e teste de propostas visando à melhoria das concepções de estudantes e professores sobre a natureza da ciência;
3. Investigações sobre as relações entre concepções de professores, prática pedagógica e concepções de estudantes.

Os pesquisadores da primeira linha de pesquisa concluíram que a maioria dos alunos e professores têm concepções consideradas inadequadas sobre a natureza da ciência. Em um artigo de revisão das pesquisas sobre concepções de ciência, algumas das “visões deformadas sobre o trabalho científico”, relatadas por Gil Pérez e colaboradores (2001, pp.129-134) foram:

1. Uma visão dogmática e fechada da ciência, que ignora os obstáculos enfrentados e erros cometidos ao longo do processo de construção das teorias. Seguindo essa visão, o ensino é conduzido como uma retórica de conclusões, buscando-se transmitir aos alunos conhecimentos já elaborados, reconstruídos racionalmente, sem discutir as limitações do conhecimento científico.
2. Uma concepção empírico-indutivista e ateorica, que destaca o papel “neutro” da observação e da experimentação, esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como das teorias disponíveis que orientam todo o processo;
3. Uma visão rígida, algorítmica, exata da prática científica, que se resumiria ao emprego de um suposto ‘método científico’, entendido como um conjunto de etapas que devem ser seguidas mecanicamente;

4. Uma visão exclusivamente analítica da ciência, que enfatiza a divisão dos estudos, o seu caráter limitado, simplificador. Porém, esquece os esforços posteriores de unificação e de construção de corpos coerentes de conhecimentos;
5. Um relativismo extremo, tanto metodológico (“tudo vale”, não há metodologias específicas no trabalho científico), como conceitual (não há uma realidade objetiva que permita assegurar a validade das construções científicas: a única base em que se apoia o conhecimento é o consenso da comunidade de investigadores nesse campo);
6. Uma visão individualista e elitista da ciência, em que o conhecimento científico é visto como a obra de gênios isolados, perdendo-se de vista a natureza cooperativa do trabalho científico;
7. Uma visão socialmente neutra da ciência, que diminui a importância das relações entre ciência, tecnologia e sociedade e ignora o contexto histórico e cultural em que se insere a atividade científica.

Na segunda linha de pesquisa apresentada por Lederman (1992, 2007), temos diversas pesquisas que elaboraram propostas para alterar concepções de ciência consideradas inadequadas, como as apresentadas na lista acima. Em geral, concluíram que mesmo quando as propostas curriculares tragam visões adequadas da natureza da ciência, e que os professores também tenham visões adequadas, não há garantia de que as visões inadequadas dos estudantes sejam alteradas. Em outras palavras, a concepção adequada dos professores sobre a natureza da ciência é uma condição *necessária*, mas não *suficiente* para que seus alunos tenham concepções adequadas. Com isso, a terceira linha de pesquisa mostrou-se particularmente importante. Além disso, também se concluiu que, para ter alguma chance de alterar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência, discussões *explícitas* são necessárias (Lederman 1992, 2007; Abd-El-Khalick e Lederman 2000).

Vilas Boas e colaboradores (2013) realizaram uma revisão bibliográfica da produção brasileira relacionada à pesquisa sobre inserção da história e filosofia da ciência (HFC) no ensino de ciências. Encontraram 698 artigos publicados em periódicos brasileiros¹³ entre 1996 e 2010. Decidiram analisar com maior detalhe 37 artigos que buscavam discutir a natureza da ciência. Concluíram que enquanto na década de 1970 havia discussões sobre a pertinência da inserção da HFC no ensino de ciências, nos últimos anos esse debate parece encerrado e a

¹³ Vilas Boas e colaboradores analisaram os seguintes periódicos: Ciência & Educação (C&E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), Pesquisa e Educação em Ciências (EPEC), Cadernos de Pesquisa (CdP), Química Nova na Escola (QNE) e Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC).

comunidade tem defendido que a história da ciência tem papel fundamental para promover discussões sobre a Natureza da Ciência.

Já Teixeira e colaboradores (2012) analisaram essa mesma produção relacionada ao uso didático de (HFC) no Ensino de Ciências, encontrando 160 artigos publicados nos periódicos mais tradicionais da área entre 1980 e 2011¹⁴. Porém, realizaram uma análise mais detalhada apenas dos artigos sobre pesquisa em Ensino de Física que investigaram intervenções didáticas em sala de aula, o que corresponde a somente 14 artigos (9%) do total. Dentre os artigos analisados a fundo, 7 (50%) discutiam a natureza da ciência. Vemos assim que boa parte dos pesquisadores brasileiros foi influenciada pelos debates da comunidade internacional sobre a natureza da ciência.

A seguir, apresentamos uma revisão de debates envolvendo o que ficou conhecido como “visão consensual sobre a natureza da ciência”, um consenso pragmático sobre questões epistemológicas criado por pesquisadores do ensino de ciências que busca contornar as dificuldades e divergências existentes entre as visões sobre a ciência de filósofos, sociólogos e historiadores da ciência. Debatemos algumas críticas a esta tendência, defendendo que controvérsias epistemológicas sejam abordadas na educação básica e apresentamos exemplos de possíveis abordagens a partir de estudos da história da cosmologia no século XX. Portanto, temos como objetivo defender a potencialidade do uso da história da ciência na educação científica, investigando particularmente como visões conflitantes sobre a natureza da ciência podem ser testadas, exploradas e ensinadas com o auxílio do estudo de casos históricos relevantes.

A tentativa de esboçar tópicos consensuais sobre a natureza da ciência tem sido objeto de investigação de um grande número de pesquisadores nos últimos anos. Diferentes grupos de pesquisa apresentaram sínteses convergentes elaboradas a partir do estudo de documentos curriculares internacionais e a partir da revisão bibliográfica de pesquisas em ensino de ciências. McComas e colaboradores (1998, p.513) apresentaram uma síntese de *aspectos consensuais sobre a natureza da ciência* elaborada a partir do estudo de documentos curriculares internacionais:

¹⁴ Teixeira e colaboradores (2012) analisaram somente os 5 primeiros periódicos analisados por Vilas Boas e colaboradores (ver nota 13), além da revista espanhola *Enseñanza de las Ciencias* (Enz).

O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter provisório;
 O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo;
 Não existe uma única maneira de se fazer ciência (portanto, não existe um método científico universal);
 A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais;
 Leis e teorias desempenham diferentes papéis na ciência, portanto os estudantes devem notar que as teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais;
 Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência;
 O novo conhecimento deve ser informado clara e abertamente;
 Os cientistas necessitam da preservação de registros precisos, revisão e replicabilidade;
 As observações são dependentes da teoria;
 Os cientistas são criativos;
 A história da ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário;
 A ciência é parte de tradições culturais e sociais;
 A ciência e a tecnologia se influenciam;
 As ideias científicas são afetadas pelo ambiente histórico e social¹⁵.

Listas semelhantes a essa foram apresentadas por diversos pesquisadores, defendendo que, embora muitos historiadores, filósofos e sociólogos da ciência concordem que não exista um consenso em relação a uma única *natureza da ciência*, essas discordâncias seriam irrelevantes para a educação básica (Harres 1999, Gil Perez *et al.* 2001, Lederman 2007, Moura 2008, Teixeira *et al.* 2009). Seguindo essa tendência, muitos pesquisadores têm adotado o que Irzik e Nola (2011) chamam de *visão consensual sobre a natureza da ciência*, que trata somente de aspectos não controversos com o intuito de serem discutidos no Ensino de Ciências.

De maneira geral, ao analisarmos os tópicos apresentados como síntese da “visão consensual da natureza da ciência” elaborados nas últimas décadas, notamos forte influência dos epistemólogos que se posicionaram contra o Positivismo Lógico (como Karl Popper, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Imre Lakatos e Paul Feyerabend). Os aspectos considerados “inadequados” são predominantemente associados a visões empiristas, indutivistas e positivistas, que foram amplamente criticadas por esses autores.

Ainda que de maneira geral todos eles concordem na crítica das visões ingênuas sobre a natureza da ciência, persistem diversas diferenças entre suas proposições. Responder a

¹⁵ Tradução de Moura 2008, comparada com o original.

questões como “o que é a ciência?” envolve tensões entre especialistas de diferentes áreas do conhecimento, como história, filosofia e sociologia das ciências, a psicologia, as visões dos próprios cientistas sobre sua prática e até mesmo as demandas dos cidadãos em geral sobre como a ciência deveria ser.

Alters (1997) analisou as concepções de 176 membros da associação de filosofia da ciência dos EUA, concluindo que há, pelo menos, onze visões diferentes sobre a natureza da ciência. Essa enorme variedade leva muitos autores a questionarem a pertinência de se buscar uma visão única sobre “A Ciência”. Seria mais sensato assumir que existem várias concepções sobre a natureza da ciência.

Outros filósofos também enfatizaram mais as discordâncias do que os consensos existentes entre estudiosos sobre a natureza da ciência:

O conceito de NdC¹⁶ parece pressupor: (a) que existe uma natureza da ciência para ser descoberta e ensinada aos estudantes; (b) que uma lista de tópicos pode descrever a natureza da ciência; e (c) que para uma disciplina ser considerada científica, cada um dos tópicos deve ser verdadeiro para essa disciplina. Na filosofia, essa é uma visão essencialista da ciência, em que se acredita que há uma essência da natureza ou um conjunto de critérios que descrevam todas as atividades e investigações que são consideradas científicas e somente elas. A maior parte dos filósofos da ciência e educadores que refletiram sobre essa questão considera que essa visão essencialista não pode ser sustentada (Eflin *et al.* 1999, p.108, tradução livre).

Estes filósofos da ciência defendem que apenas *pedagogicamente* o essencialismo sobre a natureza da ciência pode ser apropriado. Inicialmente seria aceitável uma visão de ciência única, mas que aos poucos, ao longo da vida escolar, os estudantes deveriam ter contato com visões cada vez mais complexas sobre as diferentes ciências. Portanto, estes autores defendem que a “natureza da ciência” não pode receber uma definição exata, precisa e definitiva (Eflin *et al.* 1999, Irzik e Nola 2011).

Dentre os diversos aspectos controversos debatidos entre filósofos, historiadores e sociólogos da ciência, há dois tópicos particularmente relevantes para educação científica:

1. A geração do conhecimento científico depende de compromissos teóricos e fatores sociais e culturais.
2. A verdade das teorias científicas é determinada por características do mundo que existem independentemente do cientista (Eflin *et al.* 1999, p.109).

¹⁶ NdC, ou Nature of Science (NOS, é uma sigla utilizada frequentemente para o termo “natureza da ciência”.

A maioria dos pesquisadores reconhece que a geração do conhecimento científico depende de questões teóricas e de fatores históricos e sociais, mas há uma grande discordância sobre a importância dessa influência “externa” quando comparada com a de fatores “internos”¹⁷, lógicos ou racionais. Tendo em vista estas duas grandes áreas sem consenso, eles apresentam uma série de tensões entre correntes filosóficas diferentes sobre as ciências, contrapondo o *racionalismo* ao *historicismo*, e o *realismo* ao *instrumentalismo*.

Tendo em vista essas controvérsias e a complexidade das questões levantadas, é bastante arriscado estabelecer uma suposta “concepção adequada de ciência” como se fosse a única visão correta.

Pesquisadores do Ensino de Ciências que apresentam listas de tópicos sobre a *visão consensual* da natureza da ciência têm sido prudentes, apresentando-as como um consenso pedagógico que não é absoluto, sujeito ao debate e que mudará com o tempo:

Uma revisão da literatura especializada sobre a NdC necessita ser realizada e ‘lida’ a partir de um ponto de vista que, assim como o conhecimento científico, as concepções sobre a NdC são necessariamente tentativas e históricas. Em outras palavras, devemos estar cientes que concepções da NdC adotadas atualmente por professores de ciências e organizações do ensino de ciências não são ‘inerentemente melhores’ do que, por exemplo, aquelas enfatizadas durante os anos de 1960. Foi somente com a vantagem da visão retrospectiva que tais comparações normativas puderam ser feitas. (Abd-El-Khalick e Lederman 2000, p.668, tradução livre)

Porém, apesar de os pesquisadores estarem cientes da necessidade de cautela em relação à imposição de uma visão “adequada” sobre a ciência, é preocupante que, com a divulgação destes trabalhos, essas frases cautelosas presentes nos artigos sejam esquecidas. Assim, encontraríamos professores utilizando a lista de aspectos “consensuais da natureza da ciência” como um novo conteúdo a ser ensinado nas aulas de ciências.

Reconhecendo o valor das diversas pesquisas realizadas nos últimos anos, concordamos com as críticas de Gürol Irzik e Robert Nola (2011) à tendência de se evitar controvérsias sobre a natureza da ciência no ensino. Estes autores afirmam que:

A chamada “visão consensual”, que devemos principalmente a Norman Lederman e seus colaboradores (Abd-El-Khalick 2004; Bell 2004; Cobern and Loving 2001; Flick and Lederman 2004; Hanuscin *et al.* 2006; Khishfe and Lederman 2006; Lederman 2004; McComas *et al.* 1998; McComas and Olson 1998; Osborne *et al.* 2003; Smith and

¹⁷ Há também divergências entre autores quanto aos fatores que podem ser considerados internos ou externos, conforme discutiremos na seção 2.4.

Scharmann 1999; Ziedler *et al.* 2002), busca contornar as dificuldades relacionadas ao ensino da natureza da ciência, apresentando apenas os aspectos menos controversos (Irzik e Nola, 2011, p.592, adaptado, tradução nossa).

A visão “consensual” da natureza da ciência foi adotada por vários pesquisadores brasileiros (como, por exemplo, Harres 1999, Moura 2008, Forato 2009, Teixeira et al. 2009, Henrique 2011, entre outros). A crítica de Irzik e Nola ao que chamaram de “visão consensual da natureza da ciência” pode ser resumida nos seguintes tópicos:

1. Essa postura mostra uma visão muito pobre da ciência, por exemplo, ao simplesmente afirmar que “não existe um método científico universal e atemporal”. Embora esta afirmação seja consensual, ao dizer apenas isso os professores deixariam de ilustrar as diferentes metodologias gerais utilizadas pelos cientistas em sua prática.

2. Mostra uma visão única de ciência, cega às diferenças entre as disciplinas, como entre a cosmologia, uma ciência baseada em observações astronômicas e modelos físicos, e a química e outras ciências empíricas, cujas teorias podem ser testadas em laboratórios.

3. Não ficam claras as relações entre certos itens apresentados nas listas “consensuais”, sendo que existem tensões entre alguns deles. Por exemplo, muitas vezes é apresentada como consensual a tese de que a observação científica é carregada de teoria (“theory-laden”) e que as interpretações de dados experimentais são influenciadas por fatores subjetivos. Mas isso torna a objetividade da ciência impossível? Os desdobramentos filosóficos da relação teoria e realidade não são desenvolvidos, limitando muito o próprio debate sobre a natureza da ciência (Irzik e Nola 2011).

O historiador da ciência Doulgas Allchin (2011, p. 562) também argumentou que “o próprio termo 'natureza da ciência' (principalmente por sua referência à 'natureza') tende a demonstrar uma essência inerente e universal”. Ela carrega em si a tensão: a NdC descreve a ciência como é, ou como deveria ser? Trata-se de uma visão descritiva ou normativa da ciência? Convidou educadores a abandonarem “a noção de que a NdC pode ser expressa por enunciados declarativos não ambíguos na forma 'a ciência é X'. Uma crítica semelhante foi feita por Clough (2007), que sugeriu que professores substituam os enunciados “consensuais” por perguntas sobre a natureza, de forma que os supostos consensos não sejam memorizados pelos estudantes, mas sim investigados nas aulas.

Michael Matthews (2012) também sugeriu que mude a terminologia e foco de pesquisa, abandonando o uso do termo “natureza da ciência” (NdC), que seria uma visão “essencialista

e focada na epistemologia”, substituindo-o pelo termo “características da ciência” (CdC), mais “relaxado, contextual e heterogêneo”.

Há uma forte concordância de que a ciência deve ser apresentada como uma construção humana e como um empreendimento complexo, de modo que devemos evitar uma visão da ciência rígida, não problematizada e não histórica (Gil Perez *et al.* 2001). Acreditamos que o mesmo pode ser argumentado em relação à postura dos educadores em relação às listas “consensuais” da natureza da ciência, que não podem ser apresentadas de forma dogmática aos estudantes. Sugerimos que seria mais rico substituir essas listas de consensos por tensões, deixando evidente que há debates não concluídos sobre estes assuntos. No capítulo seguinte vamos analisar com maior detalhe algumas destas tensões.

2 Controvérsias sobre a natureza da ciência

É fato bem conhecido que os filósofos nunca chegaram a formular uma posição consensual sobre a “natureza da ciência”, o que fez com que a maioria dos não especialistas em filosofia da ciência, inclusive a maioria dos cientistas, tenham perdido o interesse sobre esse assunto. Um exemplo típico é o do físico estadunidense Richard Feynman que, numa conferência para professores de ciência, explicou seu pouco interesse por definir “o que é a ciência”:

O que é a ciência? Vocês sabem todos o que ela é; evidentemente, pois que vocês a ensinam. (...) A ciência não é aquilo que os filósofos dizem sobre ela e ainda menos aquilo que é dito pelos manuais. O que é ela, então? Um poema, então, me veio à memória: “Uma centopeia vivia feliz. Até que um sapo malicioso lhe perguntou: 'Diga-me, você jamais se confunde de pata quando caminha?' Tomada de dúvida, a centopeia caiu num buraco, porque ela não sabia mais caminhar”. Eu fiz ciência toda a minha vida, sabendo perfeitamente o que ela era. Mas quanto a dizer a vocês como colocar um pé diante do outro (...) eu sou incapaz (Feynman 1988 citado em Videira 2006, p.32).

Quando pressionados a explicar por que a ciência é segura, ou por que devemos financiar as pesquisas científicas e não abordagens alternativas, os cientistas costumam recorrer ao sucesso das teorias científicas em prever fenômenos antes não conhecidos. Um caso exemplar considerado como grande sucesso científico foi a previsão de novos planetas no Sistema Solar a partir da gravitação newtoniana. A previsão da existência e da temperatura da radiação de fundo de micro-ondas, ainda que seja um tanto mais controversa, também tem sido utilizada como exemplo de grande sucesso científico¹⁸. Também são frequentemente citados como sucessos da ciência os desenvolvimentos técnicos causados por seu avanço, como a cura de doenças e o desenvolvimento de artefatos tecnológicos.

Essas justificativas são frágeis do ponto de vista epistemológico, o que fez com que ao longo do século XX as visões sobre a ciência dos filósofos, historiadores e sociólogos da ciência se distanciassem bastante da visão dos cientistas.

¹⁸ Veja por exemplo a tirinha disponível em <http://xkcd.com/54/>. Como forma de combater os críticos à ciência (chamados pejorativamente de “bitches”), é apresentada a previsão da temperatura da radiação de fundo de micro-ondas e seu bom acordo experimental com previsão teórica baseada no modelo padrão da cosmologia. Essa tirinha é muito popular entre físicos, tanto que pode ser encontrada até mesmo em camisetas a venda na internet.

Parece ser um fato incontestável que, a partir de fins da década de 1950, com as críticas que alguns dos mais famosos representantes da chamada Nova Filosofia da Ciência (Norwood Russell Hanson, Stephen Toulmin, Thomas Kuhn, Imre Lakatos e o próprio Feyerabend) dirigiram à concepção filosófica do Positivismo Lógico, quebrou-se definitivamente o encanto que a ideia de método científico exercia até então sobre cientistas, filósofos e mesmo sobre leigos. Durante 40 anos aproximadamente, a posição em favor da existência de um método científico, uma das pedras fundamentais sobre a qual se assentavam os diferentes positivismos (mas não apenas eles), entre os quais o Positivismo Lógico, foi dura e continuamente submetida a críticas de diferentes matizes. O movimento de oposição ao método científico foi tão intenso, que defendê-lo passou a representar uma posição conservadora e antiquada (Videira 2006, p.26).

A visão epistemológica normalmente associada à maioria dos cientistas foi criticada em diversos livros de divulgação sobre teorias epistemológicas no século XX; recebendo denominações como “visão de senso comum da ciência” (Chalmers 1993), segundo a qual o conhecimento científico seria provado, derivado rigorosamente a partir de dados experimentais de maneira objetiva, neutra e confiável; ou a “visão idealista da ciência” (Fourez 1995, p.252), segundo a qual: a ciência descobriria leis eternas, as “leis imutáveis da Natureza”, reencontrando uma espécie de “realidade em si”.

Nas últimas décadas a comunidade de ensino de ciências tem utilizado como referência as obras de epistemólogos que podem ser classificados como “pós-positivistas”, tais como Karl Popper, Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Imre Lakatos e Paul Feyerabend. Todos eles concordaram em sua crítica à indução e ao positivismo lógico.

Por outro lado, alguns cientistas têm se incomodado com certas teses metacientíficas (sobre as ciências) que buscam diminuir sua autoridade e valor. Muitos intelectuais humanistas criticaram visões otimistas do progresso científico e tecnológico como forma de melhorar a vida humana, principalmente após o impacto da ciência na produção de armas cada vez mais eficientes na Primeira e Segunda Guerra Mundial. Nas últimas décadas, a sociologia das ciências, a história social das ciências e tendências pós-modernas da filosofia se consolidaram como disciplinas, popularizando visões críticas sobre a ciência contemporânea, que levaram a uma “Guerra das Ciências” entre intelectuais humanistas e cientistas naturais.

2.1 *Um breve histórico dos ataques à razão e às ciências naturais*

É muito antiga a oposição entre visões de mundo naturalistas, típicas de cientistas naturais, técnicos e engenheiros; e visões de mundo humanistas, típicas de historiadores, escritores e artistas. Desde o século XVII existem movimentos anticientíficos, como a tradição romântica que valorizava a subjetividade e a intuição, se contrapondo à objetividade e racionalidade fria da ciência.

Um exemplo emblemático é o desapontamento de poetas como Keats e Goethe com as teorias físicas contemporâneas a eles, principalmente a óptica newtoniana. O alemão Johann Wolfgang von Goethe, no livro *Doutrina das cores*, criticou os métodos utilizados por Newton, como as experiências envolvendo prismas e lentes em salas escuras e não a partir da observação da natureza ao ar livre (Reis *et al.* 2006, p.74). Em sua forma diferente de estudar a formação de cores, ele privilegiou o processo *subjetivo* de formação de imagens pelo olho e pela consciência humana, e não a partir de um estudo da luz como objeto, num processo que excluiria a participação do sujeito.

No poema *Lamia*, o inglês John Keats (1795-1821) lamentou que o arco-íris teria sido desvendado pelos estudos de Newton:

“Havia um formidável arco-íris no céu de outrora:
Vimos a sua trama, a textura; ele agora
Consta do catálogo das coisas vulgares.
Filosofia, a asa de um anjo vais cortar,
Conquistar os mistérios com régua e traço,
Esvaziar a mina de gnomos, o ar do feitiço –
Desvendar o arco-íris (...)” (Keats 1820 *apud* Zanetic 2005, p.53).

A idealização newtoniana, com suas “insípidas massas pontuais”, foi o alvo da reação romântica de autores como Keats e Goethe, mas até o século XX outros autores como Marcuse, Husserl, Tillich e outros realizaram versões semelhantes dessa mesma acusação (Matthews 1995, p.185). Estes debates envolvendo a visão de mundo de intelectuais sempre ocorreram, continuamente, desde o século XVII (Kragh 1998). Eles também tiveram importância na constituição do currículo da educação básica.

Vamos agora apresentar brevemente um desses debates que ocorria na Alemanha, no fim do século XIX, documentado no ensaio *Sobre a instrução nos clássicos e as ciências* (Mach 1896). Ernst Mach defendeu uma educação com maior espaço para a matemática e ciências naturais, comparando seus benefícios com os da educação até então vigente, que dava mais

atenção aos estudos clássicos, de grego e latim. Ele nos pareceu interessante não só porque situa historicamente as tensões entre cientistas naturais e intelectuais humanistas, mas também reapresenta para a comunidade de pesquisa em ensino de ciências as ricas sugestões desse autor, que permanecem extremamente adequadas para a educação contemporânea, ainda que tenham sido escritas há mais de um século.

O conhecimento dos clássicos foi introduzido pela Igreja Romana, quando o latim se tornou a língua erudita mais importante, falada por todos os estudiosos na Europa Ocidental desde a era Cristã até o Renascimento. Ao ser difundido nas Universidades, o latim tornou-se a língua internacional da cultura: até o século XVII foi a língua da diplomacia, até o século XVIII a língua da ciência. Além disso, tinha sido e continuava sendo a língua da Igreja (Souza 2009, p.76). Quando o latim perdeu sua posição de língua universal, o ensino das línguas, cultura e literatura clássicas passou a ser questionado.

No fim do século XIX Mach analisou alguns argumentos que eram utilizados a favor do ensino de latim e grego para a população em geral, como a possibilidade de entender a origem e o significado das palavras de origem latina a partir de estudos de etimologia. Ele argumenta que esse tipo de habilidade seria necessário apenas para os profissionais que lidam diretamente com o conhecimento de civilizações antigas, tais como os historiadores, teólogos, filólogos e demais interessados, como o próprio Mach era, em literatura clássica.

Mas de qualquer maneira, apesar de se posicionar contra o ensino de latim e grego obrigatório para todos os estudantes na educação básica, Mach (1896, p.347) reconhece o valor do estudo dos clássicos para que se encontre os tesouros literários da antiguidade, entrando em contato com diferentes visões de mundo e obtendo prazer intelectual ao conhecer grandes obras como a *Ilíada* e os diálogos platônicos. Também seria importante conhecer outras culturas para evitar o dogmatismo de quem só conhece sua própria cultura, buscando ver, sempre que possível, as questões de diversos pontos de vista.

Porém, Mach argumenta que esse tipo de benefício pode ser atingido a partir do estudo da cultura, literatura, artes e filosofia de quaisquer outras civilizações, e não somente a partir de estudos greco-romanos. Reconhece o valor histórico da obra de autores como Aristóteles e Platão, mas tece críticas ao modo como conduziam a ciência e filosofia, a partir de seu ponto de vista marcado pelo Positivismo:

Não existem outras nações e outras literaturas a partir das quais teríamos o que aprender? A natureza não é ela mesma nossa primeira professora? Nossos modelos mais elevados terão que ser sempre os Gregos, com seu provincianismo da mente, ao dividir o mundo em “Gregos e bárbaros”, com suas superstições, seu eterno questionamento aos oráculos? Aristóteles com sua incapacidade de aprender a partir dos fatos, com sua “ciência de palavras”; Platão com seus diálogos pesados e intermináveis, com sua dialética estéril, às vezes até mesmo infantil – eles são insuperáveis? (Mach 1896, p.349, tradução).

Mach defende que, para nós modernos, os gregos e romanos sejam objeto de estudos históricos e arqueológicos, assim como as demais civilizações antigas. Dessa maneira o estudo dos clássicos poderia contribuir muito para a instrução histórica, que não deveria se resumir a nomes e datas a serem memorizados, junto com dinastias e guerras, mas sim um contato com outras visões de mundo. Esse tipo de ensino da história das civilizações poderia então envolver o estudo de línguas, mas não apenas isso, deveria envolver também o ensino de matemática e ciências naturais.

Portanto, Mach defendeu o alargamento da visão de mundo, incluindo dimensões estéticas ou até mesmo poéticas, possíveis através do ensino de ciências. Por exemplo, ao se conhecer que o homem não é o centro do universo, que a Terra gira ao redor do Sol com uma enorme velocidade através do espaço vazio, ou que as estrelas são formadas pelos mesmos elementos químicos encontrados na Terra. Dessa forma, mesmo reconhecendo a importância prática do conhecimento científico, via a “utilidade” da ciência física como apenas “um produto colateral do voo do intelecto produzido pela ciência” (Mach 1896, p.351).

Mach também defendia que a compreensão dos conhecimentos científicos seria muito enriquecida a partir de uma investigação histórica de seu desenvolvimento. Uma objeção frequente a quaisquer inovações curriculares, dentre elas a proposta de inserção da história e filosofia da ciência na educação básica, é que já há muito que se ensinar e o currículo já está suficientemente repleto de conteúdos. Mach defendia uma diminuição do currículo de física de sua época, propondo que ao se ensinar menos, seria possível aprender mais:

Creio que a quantidade de matéria necessária para uma educação de valor (...) é muito pequena (...) Não conheço nada mais deplorável do que as pobres criaturas que aprenderam além do que deviam (...) O que elas conseguiram foi uma teia de pensamentos frágeis demais para fornecer uma base sólida, porém complicados o bastante para gerar confusão (Mach, 1896, p.366, tradução de Matthews 1995, p.169).

Ao longo do século XX continuou o debate entre os defensores de uma educação mais humanista, voltada para a transmissão do legado cultural da humanidade às futuras gerações, e de uma educação mais prática e técnica, com especial atenção às ciências naturais.

A dicotomia entre a “cultura científica” e a “cultura humanista” foi lamentada pelo físico e romancista britânico Charles P. Snow em uma influente palestra, em Cambridge, em 1959, posteriormente publicada em forma de livro (Snow 1959). Essa obra teve bastante repercussão, gerando uma polêmica ainda importante em nossa época. Snow teceu críticas às imagens distorcidas que “intelectuais humanistas” e “cientistas” fariam uns dos outros. Enquanto os primeiros muitas vezes até se vangloriam de saber pouco e não ter interesse por ciências, os últimos, além de saber pouco sobre artes e literatura, não teriam interesse em refletir nem mesmo sobre as dimensões das questões éticas e humanas relacionadas à ciência.

Na década de 1970, com a Guerra do Vietnã, crescia a quantidade de intelectuais humanistas com uma visão crítica do ideal de progresso pautado no desenvolvimento econômico, o que frequentemente os levava a uma visão negativa sobre as ciências exatas, principalmente por seu uso nas guerras. Para o historiador da ciência estadunidense Gerald Holton, nesse período havia três principais grupos de não cientistas interessados nas discussões sobre a ciência:

1) um pequeno mas vigoroso grupo de filósofos profissionais; 2) estudantes e outros leigos que acreditam, acertadamente, que poucas questões são mais práticas ou urgentes hoje do que a forma pela qual o conhecimento pode ser obtido de forma fidedigna e quais seriam os limites das certezas; e 3) críticos da cultura, inclusive os neorromânticos, os remanescentes do movimento de contracultura, e um pequeno grupo de cientistas “marginais” e ex-estudantes de ciências que, desencantados com a política e o desempenho do meio científico oficial, interessam-se pelos elos ideológicos entre conhecimento, poder e valores (Holton 1979, p.84).

Holton classificou, inspirado no filósofo alemão Friedrich Nietzsche (1844-1900), os autores engajados em debates metacientíficos¹⁹ em dois grupos: os “neodionisíacos”, nome dado em alusão a Dionísio, o deus romano do vinho, e os “apolíneos”, já que Apolo, o Sol na mitologia grega, é normalmente associado à razão e à luz. Fazendo uma analogia, ele apresentou os cientistas como pressionados entre esses dois grupos, que seriam como um martelo e uma bigorna. O primeiro grupo, a “bigorna dos neodionisíacos”, segue uma tradição

¹⁹ Nesta pesquisa os termos “sobre as ciências”, “metacientífico” e “natureza da ciência” serão utilizados como sinônimos. O termo “natureza da ciência” tornou-se comum para descrever os debates *sobre* as ciências a partir da década de 1990. Em obras mais antigas, esse termo não aparecia.

“que é longa e por vezes brilhante” de autores como o poeta inglês William Blake, o escritor alemão Johann Goethe e dos filósofos Rousseau e Nietzsche.

Com todas as diferenças existentes entre eles, concordam em sua desconfiança ou desprezo pela realidade convencional e em sua convicção de que as consequências que fluem da ciência e da tecnologia são preponderantemente malignas. A metodologia não é seu interesse principal; eles se consideram principalmente como críticos sociais e culturais. Mas gostariam de “ampliar o espectro” do que é considerado como uma condição preliminar das outras modificações que desejam. Tendem a celebrar elementos que não veem na ciência – o que é privado, pessoal e, em certos casos, até mesmo o místico. Sua capacidade é elevada e a atração exercida pela sua prosa nervosa é grande (Holton 1979, p.86).

O grupo rival, o “martelo dos neoapolíneos”, também teria uma longa tradição, marcada por nomes como o filósofo inglês Bertrand Russell; os filósofos do Círculo de Viena, como Otto Neurath, e de outros filósofos que por mais que tenham criticado o Positivismo Lógico, continuaram defensores da razão instrumental ou objetiva, como Karl Popper e Imre Lakatos.

Esse grupo defende exatamente o oposto: que nos limitemos apenas ao aspecto lógico e matemático da ciência, nos seus produtos, nos frutos finais dos sucessos memoráveis, em lugar do tumulto pelo qual esses resultados são obtidos, a limitar o significado da racionalidade para que ela se ocupe principalmente de afirmações cuja objetividade parece garantida pelo consenso da ciência pública (Ibidem, p.86).

Para os defensores dessa espécie de razão, o que estaria em jogo seria o futuro da civilização. É preciso defender a ciência e a racionalidade sitiadas pelos bárbaros no portão.

2.1.1 A Guerra das Ciências

Essa disputa teve um novo capítulo na década de 1990, na chamada “Guerra das ciências”. Alguns críticos do relativismo acusaram os intelectuais humanistas de terem abalado as bases da cultura civilizada ocidental, ao questionarem os valores racionais defendidos pelos cientistas naturais. Acusaram sociólogos, historiadores e filósofos da ciência de defenderem teses absurdas por falta de conhecimento específico a respeito de ciência. Estes autores teriam realizado generalizações indevidas, extrapolando os limites de aplicabilidade das teorias científicas.

Um dos marcos da “Guerra das Ciências” foi um artigo publicado na renomada revista *Nature*, em que os físicos T. Theoharis e M. Psimopoulos (1987) lamentaram profundamente o crescimento de visões negativas sobre a ciência, culpando Karl Popper, Imre Lakatos, Thomas Kuhn e Paul Feyerabend²⁰ por defender teses que diminuem a autoridade científica,

²⁰ Feyerabend foi acusado de ser o “pior inimigo da ciência” pelos físicos Theoharis & Psimopoulos (1987), que culpavam Karl Popper, Thomas Kuhn e Imre Lakatos por popularizarem visões críticas à ciência. A revista

tais como “as teorias científicas não podem ser provadas”; “os cientistas, às vezes, ignoram evidências que possam contrariar suas teses”; ou “influências políticas podem ser mais importantes que argumentos racionais no desenvolvimento da ciência”. Teses como estas irritaram muitos cientistas profissionais, mas têm sido apresentadas por pesquisadores de ensino de ciências como “consensos sobre a natureza da ciência” que devem ser ensinados na educação básica.

Em 1996, o físico estadunidense Alan Sokal, especialista em mecânica estatística e professor da Universidade de Nova Iorque, submeteu o artigo “Atravessando as Fronteiras: em Direção a uma Hermenêutica Transformativa da Gravidade Quântica” (Sokal 1996a) à revista *Social Text* como parte de um experimento. Este foi explicado posteriormente (Sokal 1996b), quando o físico admitiu que teria feito uma experiência com os autores dos chamados estudos culturais da ciência, escolhendo uma revista estadunidense cujos editores pareceriam receptivos a discursos críticos à ciência contemporânea. Em um novo artigo submetido à revista *Social Text*, Sokal tentou justificar por que fez essa “brincadeira” com os sociólogos da ciência, mas seu segundo texto não foi aceito para publicação, sendo publicado em outra revista (Sokal 1996 c).

Neste artigo, Sokal explicou que por estar incomodado com a popularização de discursos críticos à ciência entre intelectuais humanistas, ele tinha a intenção de melhorar a qualidade do diálogo entre as chamadas “duas culturas”: a dos intelectuais humanistas e dos cientistas naturais. Para isso, submeteu a uma revista com liderança em estudos culturais da ciência “uma mistura de verdades, meias-verdades, um quarto de verdades, falsidades, inferências inválidas e sentenças sintaticamente corretas, mas carentes de qualquer sentido” (Ibidem). Ele teria feito uso de apelos à retórica e autoridade, especulações, analogias forçadas e absurdas, provocando confusão para mostrar que os sociólogos da ciência contemporâneos não produzem trabalhos confiáveis.

O experimento de Sokal gerou uma série de debates, sendo comentado tanto por cientistas naturais quando por sociólogos e intelectuais humanistas²¹. Alguns cientistas naturais apoiaram a iniciativa do físico, acreditando que sua “brincadeira” teria denunciado a fragilidade das teses dos sociólogos e filósofos relativistas e pós-modernos que vinham criticando a objetividade da ciência. Como exemplo dessa postura, temos Steven Weinberg,

Scientific American publicou em maio de 1993 uma entrevista com Feyerabend em que ele se defende das acusações de ser “anticientífico”.

²¹ Uma cronologia dos debates envolvendo o chamado “Caso Sokal”, que inclui artigos nos jornais *Folha de São Paulo* e *Le Monde* está disponível em <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/index.html>, acesso em maio de 2013.

um físico teórico, ganhador do prêmio Nobel em 1979 pelas contribuições dadas à unificação da força nuclear fraca com a interação eletromagnética, que comentou a “fraude de Sokal” em agosto de 1996. Ele se mostrou incomodado particularmente com a generalização indevida de resultados da física teórica do século XX, como a relatividade geral e a mecânica quântica, para outras áreas totalmente exteriores aos limites de aplicabilidade destas teorias. Criticou não só os autores “pós-modernos” utilizados por Sokal em sua fraude (sociólogos, historiadores, e filósofos da ciência que acreditam que as leis da natureza sejam construções sociais), mas também intelectuais que associam a ciência ao machismo, racismo, colonialismo, militarismo ou capitalismo, assim como os criacionistas e outros “entusiastas religiosos”, os “mais perigosos adversários da ciência”²².

Outros autores, que comentaram o “caso Sokal” e apoiaram a iniciativa do físico, estenderam a crítica aos “intelectuais engajados de esquerda”, mostrando que havia certa associação entre os sociólogos críticos à ciência e a esquerda política, ou até mesmo ao marxismo ou comunismo; assim como uma associação entre os físicos e cientistas naturais ao conservadorismo político. O economista e diplomata Roberto Campos (1917-2001), que foi senador, deputado federal e ministro do planejamento do governo Castelo Branco, comentou o caso Sokal como um ataque à esquerda política, mostrando alguns problemas decorrentes das más influências políticas e sociais sobre a ciência:

O que doeu para burro (não é jogo de palavras...) é que a revista “Social Text”, que hospedara essa brincadeira, havia conquistado certa reputação de seriedade na linha culturalista de esquerda. Tornara-se uma espécie de último refúgio intelectual dos resíduos de um radicalismo acadêmico que ainda floresce em áreas menos iluminadas das chamadas “ciências sociais”. Há muito tempo, os cientistas das disciplinas “duras” vêm sentindo crescente desgosto com o facilitário, a parolagem e as pretensões intelectuais dessa turma “engajada”. Ninguém se esquece do que aconteceu nos tempos áureos do socialismo de Stalin. Nessa época, a teoria da relatividade era ciência “burguesa” e “judaica”; a cibernética era banida por motivos parecidos (o que atrasou enormemente a tecnologia soviética) e a genética mendeliana dava Gulag ou pior (porque contrariava o suposto socialista da “hereditariedade dos traços adquiridos”).²³

A associação de Roberto Campos entre construtivismo social e o stalinismo nos parece um tanto exagerada, mesmo que muitos autores deste movimento fossem críticos ao capitalismo. O próprio Alan Sokal escreveu na *Folha de São Paulo* criticando o artigo de Roberto Campos por ter, contra sua vontade, o recrutado “para sua cruzada ideológica

²² *The New York Review of Books*, Volume XLIII, No. 13, pp 11-15, 8 de Agosto, 1996, disponível em <http://www.physics.nyu.edu/sokal/weinberg.html>, acesso em maio de 2013.

²³ Roberto Campos, economista e diplomata, *Folha de São Paulo*, 22 setembro de 1996, disponível em <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/folha.html#campos>, acesso em maio de 2013.

direitista”.²⁴ O físico estadunidense se diz um adepto da esquerda que não quis ridicularizá-la, mas sim fortalecê-la através da crítica construtiva. Para ele, o meio acadêmico estaria cada vez mais voltado para si mesmo, de forma que ideias inicialmente frutíferas e libertadoras como o feminismo e o multiculturalismo acabaram se transformando num novo escolasticismo confuso e difícil de compreender, especialmente na corrente pós-moderna.

Os editores da revista *Social Text* condenaram a postura do físico, argumentando que, ao realizar a fraude, Sokal não teria sido ético e que seu experimento não serviu para nada. O periódico não trabalhava através da revisão por pares, típica da maioria das revistas científicas. Segundo seus editores, a *Social Text* seria um periódico de artigos de opinião política sem pareceristas, dando espaço para produções inovadoras e valorizando uma multiplicidade de critérios editoriais para a aceitação de publicações. Eles consideraram o artigo de Sokal mais como uma “tentativa esforçada de um cientista profissional de encontrar na filosofia pós-moderna algum tipo de afirmação para desenvolvimentos em seu próprio terreno”²⁵.

Outros historiadores e filósofos acusaram Sokal de ter construído um espantalho como adversário intelectual, uma caricatura exagerada que não faz jus às obras de autores que ele denomina relativistas, como Thomas Kuhn e Paul Feyerabend²⁶. Também foram frequentes críticas à dicotomia exagerada da oposição entre “relativistas” e “defensores da razão”. Analisando as diferenças entre os diversos autores citados por Sokal como “pós-modernos”, o filósofo brasileiro Bento Prado Jr. considerou os textos criticados como uma espécie de “samba do crioulo doido”. Ainda que tenha considerado até engraçado o estilo agressivo da crítica do físico aos discursos obscuros de certos filósofos, achou a visão epistemológica defendida por Sokal muito pobre e pouco profunda:

Numa palavra, este livro põe em ridículo, muitas vezes com razão, um uso obscuro da linguagem por parte de filósofos. De fato, águas turvas podem dar ilusão de profundidade. No caso deste livro, ao contrário, as águas claras não escondem seu fundo raso. Os autores queriam jogar um paralelepípedo no ventilador e acabaram botando fogo num rojão que deu chabu. Mas ganharam os 15 minutos de notoriedade que a sociedade do espetáculo garante democraticamente a todo mundo.²⁷

²⁴ Alan Sokal, *Folha de São Paulo*, 06 de outubro de 1996, disponível em <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/folha.html#sokal>, acesso em maio de 2013.

²⁵ Editorial da *Social Text* escrito por Bruce Robbins e Andrew Ross em resposta a Sokal, disponível em http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/SocialText_reply_LF.pdf, acesso em maio de 2013.

²⁶ Jesus de Paula Assis, filósofo, *Folha de São Paulo*, 6 de outubro de 1996. Disponível em <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/folha.html#assis>, acesso em maio de 2013.

²⁷ Bento Prado Jr., filósofo, *Folha de São Paulo*, 09 de maio de 1998. <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/folha.html#prado>, acesso em maio de 2013.

A visão epistemológica de Sokal também foi criticada como “uma visão empirista e indutivista por vezes quase ingênua”, recusando, por exemplo, a tese da subdeterminação das teorias pelos dados empíricos. Para contrapor essa tese, Greca e Freire Jr. (2004, p.346) apresentam uma série de exemplos na história da ciência em que havia diversas teorias diferentes para explicar os mesmos dados experimentais.

O filósofo francês Jacques Derrida, um dos autores citados por Sokal em sua paródia, foi convidado pelo jornal Francês *Le Monde* a comentar o caso:

Tudo isso é triste, não é mesmo? Primeiro, para o pobre Sokal. O seu nome está associado a um conto do vigário (“the Sokal's hoax” o embuste Sokal, como se diz nos Estados Unidos) e não a trabalhos científicos. Triste também porque a oportunidade de uma reflexão séria parece desperdiçada, ao menos num espaço amplamente público, que merece melhor destino²⁸.

Derrida não se diz nem relativista, nem crítico do Iluminismo ou da razão, argumentando que esse debate sobre as imagens de ciência veiculadas nos discursos é muito interessante, mas que uma análise séria desse assunto exige inevitavelmente uma série de leituras difíceis:

Tais debates têm uma história complexa: bibliotecas de trabalhos epistemológicos! Antes de opor os “eruditos” aos outros, eles dividem o próprio campo científico. E o do pensamento filosófico. Embora por vezes me divirta, levo a sério os sintomas de uma campanha, ou mesmo de uma caça, em que os cavaleiros mal treinados certas vezes têm dificuldades de identificar a presa. E, antes de tudo, o próprio terreno²⁹.

Finalmente, apresentamos na tabela 2 a forma dicotômica e simplificadora com que o debate sobre as influências sociais sobre a ciência tem sido frequentemente apresentado. Nas seções seguintes vamos problematizar e complexificar essa visão, buscando formas mais ricas e interessantes de se travar discussões sobre esse assunto nas aulas de ciências.

²⁸ Jacques Derrida, filósofo, *Folha de São Paulo*, 19 de abril de 1998. Disponível em <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/folha.html#derrida>, acesso em maio de 2013.

²⁹ Jacques Derrida, filósofo, *Folha de São Paulo*, 19 de abril de 1998. Disponível em <http://www.physics.nyu.edu/faculty/sokal/folha.html#derrida>, acesso em maio de 2013.

Cientistas naturais	Intelectuais “pós-modernos”
Ciência objetiva, neutra, livre de deformações causadas por influências ideológicas.	Ciência é uma construção social fortemente influenciada por fatores ideológicos.
Não há verdades absolutas, mas a ciência progride e chega a resultados cada vez mais próximos da realidade.	Não existem verdades universais. Toda teoria é avaliada em seu contexto histórico.
A ciência é mais confiável do que outras formas de conhecimento.	A ciência não é neutra. Todas as formas de conhecimento são igualmente confiáveis.
Se não pudermos confiar na ciência, as bases da civilização ocidental serão destruídas.	É preciso criticar a racionalidade científica, para que não seja mais utilizada como instrumento de dominação.

Tabela 2: Visões estereotipadas da Guerra das Ciências

Acreditamos que apesar de se tratar de um debate bastante complexo e controverso, a questão da relevância de influências sociais sobre a ciência é um tema atual e essencial para a formação de cidadãos críticos, aptos a lidarem com um mundo cada vez mais carregado de informações conflitantes. O ensino de ciência atual não pode mais apenas fornecer informações ou depositar conteúdos sobre os estudantes. Precisa prepará-los para a difícil tarefa de selecionar o que é mais importante e avaliar a confiabilidade de diferentes fontes de conhecimento, o que envolve necessariamente ter uma visão crítica sobre as diferentes representações da ciência contemporânea.

2.2 A ciência é uma construção social?

1. Não existe algo como Método Científico.
2. A ciência moderna vive somente em seu tempo e para o seu tempo; ela parece muito mais especulação na bolsa de valores do que uma busca pela verdade sobre a natureza.
3. Conhecimento novo não é ciência até que seja socializado.
4. Uma realidade independente no sentido físico comum não pode ser atribuída aos fenômenos nem às agências de observação.
5. A base conceitual da física é uma invenção livre da mente humana.
6. Os cientistas não encontram ordem na natureza, eles a colocam lá.
7. A ciência não merece a reputação que conquistou tão amplamente... a de ser completamente objetiva.
8. A imagem do cientista como uma pessoa de mente aberta, alguém que pesa as evidências a favor de algo e contrárias a algo, é conversa fiada.
9. A física moderna baseia-se em alguns atos de fé intrínsecos.
10. A comunidade científica é tolerante para com histórias bem insubstanciais.

11. Em qualquer momento histórico, o que se passa por explicações científicas aceitáveis tem tanto determinantes sociais quanto funções sociais.

A lista de afirmações sobre a ciência apresentada acima soa como um conjunto de teses que seriam defendidas por “construtivistas sociais radicais”, o lado direito na disputa epistemológica apresentada na tabela 2.

Para os pesquisadores do ensino de ciências, essa lista também soa muito familiar. Tirando a ênfase da atenção para alguns dos termos mais enfáticos ou informais, com marca de oralidade, essa lista é muito semelhante a outras que têm aparecido com grande frequência nas pesquisas que apresentam tópicos “consensuais” sobre a natureza da ciência.

No entanto, a lista acima foi elaborada como parte de uma brincadeira feita pelo sociólogo da ciência Steven Shapin (1999). Na verdade, esta lista contém uma série de citações feitas por cientistas naturais renomados como o químico James Conant, os físicos Niels Bohr e Albert Einstein, e os biólogos Lewis Wolpert e Richard Lewontin. Mais do que uma bem humorada “fraude”, que poderia ser vista como uma resposta à fraude de Sokal, essa brincadeira nos mostra que a visão dicotômica dos cientistas naturais como defensores da objetividade e da racionalidade, contra os sociólogos irracionalistas e politicamente engajados, precisa ser problematizada.

Os cientistas naturais têm uma grande variedade de visões diferentes sobre teses metacientíficas, frequentemente muito mais complexas do que a caricatura das visões que costumam ser atribuídas a eles pelos “soldados” da Guerra das Ciências.

Gil Perez e colaboradores (2001) defendem que devemos combater as visões deformadas sobre a ciência:

Essas concepções empírico-indutivistas da ciência afetam os próprios cientistas - pois, como explica Mosterín (1990), seria ingênuo pensar que “estão sempre conscientes dos métodos que usam nas suas investigações” - assim como, logicamente, os próprios estudantes (Gaskell, 1992; Pomeroy, 1993; Roth e Roychondhury, 1994; Solomon, Duveen e Scott, 1994; Abrams e Wanderse, 1995; Traver, 1996; Roth e Lucas, 1997; Désautels e Larochelle, 1998b). Convém assinalar que esta ideia, que atribui a essência da atividade científica à experimentação, coincide com a de “descoberta” científica, transmitida, por exemplo, pelas histórias em quadrinhos, pelo cinema e, em geral, pelos meios de comunicação, imprensa, revistas, televisão (Lakin e Wellington, 1994). Dito de outra maneira, parece que a visão dos professores - ou a que é proporcionada pelos livros de textos (Selley, 1989; Stinner, 1992) - não é muito diferente, no que se refere ao papel atribuído à experiência, daquilo que temos denominado de imagem “ingênua” da ciência, socialmente difundida e aceita (Gil Perez *et al.* 2001, p.129, grifo nosso).

Embora consideremos importantes as críticas às visões epistemológicas ingênuas difundidas na divulgação científica e concordemos que eventualmente se pode encontrar algum cientista defendendo essas visões, associá-las aos cientistas naturais de maneira generalizada é um preconceito que deve ser combatido. Da mesma maneira, rejeitamos as críticas ingênuas ao “Programa Forte da Sociologia da Ciência” como um conjunto de visões absurdas e radicais, que devem ser proibidas no contexto da educação científica³⁰. Como apontou Gerald Holton (1979, p.102), o que parece estar em jogo são as bases da civilização. Os “neoapolíneos” se apresentam como soldados defensores das muralhas da razão, contendo hordas de bárbaros “neodionisíacos”.

O papel “neutro” da observação e da experimentação e a defesa da existência de um método científico rígido e imutável têm sido apontados como visões deformadas da ciência por educadores de ciências nos últimos anos, normalmente associando essas visões à influência do Positivismo Lógico na consolidação da “visão empírico-indutivista” (Gil Perez *et al.* 2001). Contudo, embora de fato seja possível encontrar cientistas naturais cujas visões de ciência sejam próximas a essa caricatura do Positivismo Lógico, há também muitos cientistas que foram muito críticos à proposta de filósofos de elaborar um método para obter o conhecimento seguro. Algumas das primeiras críticas feitas ao método científico são devidas a cientistas, que criticaram os filósofos justamente por terem transformado regras de conduta em princípios metodológicos com as seguintes características: universalidade, rigidez, fixidez, eternidade e infalibilidade (Videira 2006).

Alguns exemplos de cientistas com visões muito diferentes dessa “visão empírico-indutivista” foram: Ludwig Boltzmann (1844-1906) defendendo o pluralismo no fim do século XIX (Ribeiro e Videira 2004); Albert Einstein (1879-1955) defendendo os axiomas como “invenções livres do intelecto humano” (Einstein 1933 *apud* Holton 1979) e a importância da imaginação na criação de teorias físicas (Gurgel 2006); e Niels Bohr (1885-1962) com sua defesa da importância de argumentos filosóficos nos debates entre ele, Einstein, Werner Heisenberg (1901-1976) e muitos outros cientistas no processo de criação da teoria Quântica (Pessoa Jr. 2003).

O próprio Steven Shapin não se diz um militante dos estudos culturais das ciências, na “Guerra das Ciências”. Ele se apresenta como “uma testemunha interessada nas hostilidades vigentes” (Shapin 1999, p.99). Ele recebeu treinamento em genética, mas se especializou como historiador e sociólogo da ciência, tendo estudado principalmente sobre a ciência no

³⁰Algumas destas posições serão detalhadas na seção 2.5. Ver Slezak 1994.

século XVII. Trabalhou na universidade de Edimburgo, na Escócia, onde surgiu na década de 1970 um grupo de sociólogos da ciência, como David Bloor e Barry Barnes, que ficaram conhecidos pela defesa de visões relativistas, baseadas no *construtivismo social*.

Esse grupo de autores estava no centro dos ataques da “Guerra das ciências”. O chamado “Programa Forte da Sociologia da Ciência” recebeu diversas críticas oriundas de cientistas naturais, e também de pesquisadores do ensino de ciências interessados nas contribuições da história, filosofia e sociologia da ciência para a educação (Slezak 1994, Kragh 1998). Steven Shapin aparece entre os criticados, junto com outros autores como Bruno Latour, Andrew Pickering, Harry Collins, Trevor Pinch e Simon Schaffer.

Com sua brincadeira, Shapin nos permite realizar reflexões mais complexas sobre as disputas entre cientistas naturais e sociólogos sobre teses metacientíficas:

Essa não é só uma brincadeira dessas que se fazem em festas - um truque para virar a mesa ou para fazer pingue-pongue intelectual embora assim parecesse, se eu parasse por aqui. O que quero argumentar aqui é algo substancial, interessante e potencialmente construtivo: praticamente todas as afirmações acerca da natureza da ciência que vêm dando ocasião às reações violentas por parte de alguns recentes Defensores da Ciência foram expressas, de maneira intermitente mas frequente, pelos próprios cientistas: por muitos cientistas em muitas disciplinas, ao longo de muitos anos e em muitos contextos (Shapin 1999, p.6).

Em sua visão, as teses críticas à ciência defendidas por determinados sociólogos não seriam um problema em si mesmas, já que muitos cientistas já haviam defendido teses parecidas, sem gerar grandes comoções ou sofrerem ataques por estarem questionando a confiabilidade da ciência. O problema estaria em *quem* realiza esse tipo de crítica, ou seja, quando afirmações desse tipo vinham de fora da comunidade científica:

Estamos agora, ao que parece, no terreno conhecido da vida cotidiana: permite-se que membros de uma família digam algo sobre assuntos familiares que aqueles que são de fora daquela família não têm permissão de dizer. Não se trata apenas de uma questão de verdade ou precisão; trata-se de uma questão de decoro. Certos tipos de descrição serão ouvidos como crítica injustificada se forem feitos por aqueles que são considerados como desprovidos dos direitos morais ou intelectuais para fazê-los (Idem, p.7).

Recentemente, a tese de Shapin pareceu corroborada por um fenômeno que aconteceu nas redes sociais, como Twitter. Diversos cientistas naturais tiveram um “surto de honestidade” e passaram a divulgar um lado menos politicamente correto da atividade científica. No Twitter, criaram a hashtag *#overlyhonestmethods* (métodos honestos demais, em inglês) e começaram

a postar mensagens revelando detalhes cotidianos, que nunca aparecem nas publicações científicas: erros, ações impensadas, tentativas sem explicação que acabam funcionando e razões psicológicas para o uso de jargões como forma de tornar o discurso científico impenetrável para não especialistas, o que curiosamente também foi uma acusação de Sokal aos intelectuais pós-modernos, sem considerar que os cientistas frequentemente costumam fazer o mesmo.

Da mesma maneira, o site PhD comics, muito popular entre estudantes de ciências naturais, frequentemente explora o humor presente na tensão entre visões mais idealizadas, próximas da visão “politicamente correta” da ciência e de visões mais realistas, que enfatizam as influências políticas e econômicas sobre a ciência, como na tirinha abaixo:

Figura 1: O “verdadeiro método científico”³¹

Porém, por mais que essas versões humorísticas da ciência revelem que os cientistas não ficam tão incomodados em admitir que há influências psicológicas e sociais sobre sua atividade cotidiana, no processo de criação das teorias, o mesmo não se pode dizer sobre as críticas mais severas sobre a confiabilidade da ciência como um todo, de seus resultados em longo prazo e do processo de avaliação conjunta das teorias realizado pela comunidade científica.

Nas próximas seções vamos apresentar brevemente algumas tensões que permearam a “Guerra das ciências”. Inicialmente discutiremos a tensão entre relativismo e racionalismo (seção 2.3), central no diálogo entre os filósofos Imre Lakatos, um racionalista crítico, e Paul Feyerabend, um relativista cultural. Como eles eram muito amigos e tiveram constantes

³¹ Fonte: <http://www.phdcomics.com/comics/archive.php?comiciid=761>, tradução livre, retirado de Henrique 2011.

discussões sobre esse assunto, além de serem autores com forte influência sobre a pesquisa em ensino de ciências, consideramos que a tensão entre suas visões sobre a ciência pode levar a discussões metacientíficas muito interessantes para a educação básica. Em seguida discutiremos como essa tensão influenciou estudos de história das ciências, com ênfase nos debates envolvendo internalismo e externalismo (seção 2.4).

2.3 A tensão entre racionalismo e relativismo

O filósofo alemão Hans Reichenbach (1891-1953), que fez parte do movimento que ficou conhecido como Positivismo Lógico, utilizou uma distinção entre dois contextos da prática científica: o *contexto da descoberta*, no qual a influência de fatores sociais, psicológicos, econômicos e culturais seria maior, e o *contexto de justificativa*, onde a influência de fatores externos seria minimizada, prevalecendo os aspectos lógicos e epistemológicos. Uma posição notadamente *racionalista*, mais comum entre cientistas naturais, tende a atribuir maior valor ao *contexto da justificação*, argumentando que as influências não exclusivamente racionais teriam menor importância por só acontecerem no *contexto da descoberta*.

O filósofo austríaco Karl Popper (1902-1994) mantém traços da tradição positivista: a valorização do contexto da justificação e o logicismo, garantindo a racionalidade da ciência (Zanetic 2009, p.102). Trata-se de uma posição que não busca descrever a prática científica como ela *costuma ser*, mas sim de prescrever como a ciência *deveria ser*³². Popper incorporou à sua descrição da ciência fatores que são normalmente considerados não racionais, como as crenças pessoais, a imaginação, a especulação e a criatividade dos cientistas, mas considerou que eles só seriam mais efetivos no contexto de descoberta, tendo sua importância minimizada no contexto da justificação.

Os filósofos Imre Lakatos (1922-1974) e Paul Feyerabend (1924-1994) estudaram na década de 1950 em Londres, onde foram orientados em seus estudos por Karl Popper, que lecionava na *London School of Economics*. Ambos concordavam com sua crítica ao indutivismo e viram com simpatia o falsificacionismo popperiano (Feyerabend 1996, p.97).

³² O historiador da ciência Roberto Martins (1999, p.6-7) descreve três tipos de abordagens possíveis sobre a natureza da ciência:

a) Abordagem empírica, envolvendo questões como: o que tem sido a ciência?
b) Abordagem normativa, ou axiológica: o que deve ser a ciência? Como deveria ser a ciência para beneficiar a humanidade ou para permitir um melhor conhecimento da natureza?
c) Abordagem analítica: o que poderia, ou não, ser a ciência? Quais concepções de ciência já existiram? Quais concepções de ciência que se pode inventar?

Enquanto a primeira seria adotada por historiadores e sociólogos da ciência, *descrevendo* a prática científica, as duas últimas seriam tratadas pela filosofia da ciência, *prescrevendo* atitudes consideradas mais adequadas para os cientistas em sua prática futura.

Posteriormente, Feyerabend ficaria conhecido como um dos mais famosos defensores do relativismo, distanciando-se radicalmente da visão racionalista de Popper. Seu livro mais famoso, *Contra o Método* (1975), mostra sua visão crítica tanto da obra de Popper, quanto do racionalismo crítico de Lakatos. Sua postura epistemológica ficou conhecida como “anarquismo epistemológico” ou “pluralismo metodológico”.

No prefácio do livro, ele conta que sua ideia era criar um debate com seu colega Imre Lakatos. O livro *Contra o método* seria a primeira parte de um livro sobre o anarquismo, em que Feyerabend atacaria a posição racionalista, enquanto Lakatos reformularia essa posição, para defendê-la.

Juntas, as duas partes deviam retratar nossos longos debates em torno desse tema — debates que tiveram início em 1964, prosseguiram em cartas, aulas, chamadas telefônicas, artigos, até quase o último dia de vida de Imre, e se transformaram em parte de minha rotina diária. A origem do ensaio explica o seu estilo: trata-se de uma carta, longa e muito íntima, escrita para Imre e cada frase perversa que contém foi escrita antecipando frase ainda mais ferina de meu companheiro (Feyerabend 1975, p.1)

Imre Lakatos morreu antes que sua resposta à provocação de Feyerabend pudesse ser publicada. Porém, a partir do conjunto de sua obra, pode-se imaginar o que ele teria escrito. Isso foi feito pelo filósofo Matteo Motterlini, que estudou as correspondências entre os dois amigos, assim como suas obras e escreveu o livro “A favor e contra o método” (Lakatos *et al.* 1999).

2.3.1 A favor e contra o método

Na introdução do livro, o editor Motterlini inventou um diálogo fictício entre Feyerabend e Lakatos, com diversas notas de rodapé indicando onde em suas obras as falas podem ser encontradas. Ainda que evidentemente a leitura desse resumo não substitua os ganhos que se pode ter lendo as obras completas destes dois autores, consideramos esse diálogo³³ (*Ibidem*, pp.1-18) especialmente interessante para apresentar algumas das tensões envolvidas nas propostas conflitantes destes dois amigos.

Feyerabend inicia o diálogo condenando a tentativa de Lakatos de salvar os conceitos de “progresso” e “razão” nas ciências. Lakatos defende sua proposta como um aperfeiçoamento do racionalismo crítico de Popper, baseada em conjuntos de teorias denominados por ele de *programas de pesquisa*, que podem ser avaliados durante períodos longos quando comparados

³³ A introdução do livro, que contém o diálogo fictício entre Lakatos e Feyerabend, está disponível online, <http://www.cresa.eu/publicazione/for-and-against-method/>, acesso em junho de 2015.

com programas rivais, a partir de critérios racionais. Um programa de pesquisa é *progressivo* se novas teorias fizerem previsões ousadas, e ainda mais se elas forem confirmadas. O programa de pesquisa é *degenerativo* quando é caracterizado por teorias fabricadas só para acomodar os fatos já conhecidos, sem fazer novas previsões, ou sem que estas sejam corroboradas (Lakatos 1970; 1971).

Uma objeção interessante é apresentada por Feyerabend na forma de questão: quanto tempo é preciso esperar para se decidir se um programa de pesquisa é *degenerativo* ou *progressivo*? Quando um cientista decide continuar trabalhando em certo programa de pesquisa, mesmo que haja evidências experimentais sendo interpretadas como falseamentos desse programa e apoiando programas rivais, podemos considerar que sua postura é irracional? Em certo momento um programa pode parecer degenerativo, mas após certo tempo pode-se descobrir que na verdade ele não deveria ser abandonado porque logo propiciaria muitos avanços (Feyerabend 1970, p.215).

Lakatos se defende dizendo que sua proposta não é normativa, ele não pretende dizer aos cientistas o que eles devem fazer, apenas quer poder julgar os programas de pesquisa do passado. Feyerabend não aceita esse contra-argumento, dizendo que inevitavelmente essas regras metodológicas que se obtêm a partir do estudo da história da ciência serão interpretadas como um “código de honestidade intelectual”, ou seja, prescrições a serem seguidas pelos cientistas. Caso contrário, os padrões metodológicos seriam meros ornamentos verbais, lembranças dos tempos felizes em que seria possível fazer parte de uma atividade complexa e tantas vezes catastrófica como a ciência, seguindo regras simples e “racionais”. Assim, o racionalismo crítico de Lakatos seria uma versão de “anarquismo epistemológico” disfarçado (Ibidem, p.216).

Enquanto Lakatos defendia a existência de critérios racionais e objetivos para a escolha entre programas de pesquisa, Feyerabend se colocava como um “relativista cultural”, dizendo que só existem critérios psicológicos e sociais. Criticava a diferenciação da ciência nos contextos da *descoberta* e da *justificativa*, pois esta divisão seria artificial e infrutífera (Feyerabend 1975, p.207). Para ele, os defensores de uma visão única e coerente para a ciência costumam dizer: a ciência pode ser complexa, mas ainda é racional. Mas o que querem dizer por racional? Uma possibilidade válida é a tese *nominalista*³⁴, segundo a qual “racional” seria apenas um nome único dado para uma série de procedimentos diferentes.

³⁴ O nominalismo é uma das formas de oposição ao realismo. Na filosofia medieval, o realismo era a tese de que os universais (“árvore”, “cadeira”, “homem”) existem antes das coisas particulares, tese esta que estava associada à filosofia de Platão. Para os nominalistas, os universais são meros nomes (Pessoa Jr. 2003, p.99).

A ideia de que a racionalidade seria um procedimento geral presente em todas as atividades científicas não se sustenta. Ou a racionalidade é definida de maneira muito estreita, classificando como irracional, por exemplo, as artes e boa parte das ciências, ou é definida de uma forma muito abrangente, classificando como racionais não só toda a ciência, mas também a corte amorosa, a comédia ou as lutas de cachorros (Feyerabend 1975, p.329).

Lakatos não concorda, e diz que considera racional que um cientista assuma o risco de dedicar seu tempo a um programa de pesquisa que parece ser degenerativo. Mas que não se deve dar tanta liberdade para esse tipo de programa, como Feyerabend propõe em seu “anarquismo epistemológico”, ao celebrar uma pluralidade de teorias concorrentes, um oceano de diferentes possibilidades. Para Lakatos, “os editores das publicações científicas deviam recusar-se a publicar os textos que em geral contêm quer reasserções solenes da sua posição, quer absorções da contrainsurgência ou até de programas rivais por recurso a ajustamentos linguísticos *ad hoc*. As fundações de investigação deviam, também, recusar as suas verbas” (Lakatos 1971, p.39).

2.4 A tensão entre *internalismo* e *externalismo*

Em 1931, de 29 de junho a 3 de julho, ocorreu em Londres o *II International Congress of the History of Science and Technology* (II ICHST), registrado no livro *Science at the crossroads*, criado a partir dos textos preparados pela delegação soviética que compareceu a esse congresso. O historiador da ciência Joseph Needham, na qualidade de um dos poucos remanescentes daquele congresso, escreveu o prefácio da reedição desse livro feita por ocasião do XIII ICHST, realizado em Moscou em agosto de 1971. Nesse prefácio, Needham lamenta que “seria impossível num prefácio como este ignorar o trágico fato do desaparecimento de muitos dos cientistas [soviéticos] nos anos seguintes a esse congresso, conforme o terrível princípio de que todas as revoluções devoram seus próprios filhos” (Bukharin *et al.* 1971, ix).

Um dos membros da delegação soviética que foi morto em 1936, no início dos expurgos stalinistas, foi o físico soviético Boris Hessen (1893-1936), que apresentou o trabalho “As raízes sociais e econômicas do Principia de Newton”. O autor utilizou “o método do materialismo dialético e a concepção do processo histórico criada por Marx, para uma análise da gênese e do desenvolvimento do trabalho de Newton em conexão com o período no qual ele viveu e trabalhou” (Hessen 1931). Esse artigo é considerado um dos pioneiros no desenvolvimento das interpretações externalistas e marxistas da ciência. Segundo o físico

britânico John Desmond Bernal (1901-1971), o artigo de Hessen forneceu “o ponto de partida para uma nova avaliação da história da ciência” (Bernal 1939 *apud* Zanetic 1984). Ele estava no congresso junto com outros jovens britânicos, como o matemático G. H Hardy, o geneticista J. B. S. Haldane e o embriologista Joseph Needham, que constituíram um grupo interessado em mostrar a influência de necessidades econômicas e sociais sobre a ciência (Ibidem, p.35). Além de Bernal e Needham, J. G. Crowther, Hyman Levy, Robert K. Merton, Stephen Toulmin, J. R. Ravetz e muitos outros autores consideraram o trabalho de Hessen importante para o desenvolvimento de uma nova interpretação dos estudos sobre a ciência (Graham 1985, p.705; Freire Jr. 1995, p.54).

Em 1939, Bernal publicou o livro “Função social da ciência”, um estudo amplo que analisa diversos aspectos das relações entre ciência e sociedade ao longo da história, desde o nascimento da ciência moderna e sua relação com o comércio, até os desenvolvimentos científicos contemporâneos a ele, como a relação entre ciência e Guerra após a Primeira Guerra Mundial e a Crise mundial do capitalismo em 1929:

Os eventos dos últimos anos levaram a um exame crítico da função da ciência na sociedade. Costumava-se acreditar que os resultados das investigações científicas levariam a uma melhoria progressiva das condições de vida; mas primeiro a Guerra e depois a crise econômica mostraram que a ciência pode ser igualmente utilizada para propósitos destrutivos e esbanjadores, e vozes se levantaram exigindo o fim da pesquisa científica como o único modo de preservar uma civilização tolerável (Bernal 1939, p. xiii, tradução livre)

Segundo o historiador Eric Hobsbawn, o livro de Bernal foi muito influente nessa época. A esquerda política, que tinha um compromisso ideológico com a ciência, o racionalismo e o progresso, era ridicularizada por conservadores políticos através da criação de um novo termo: o “cientificismo” (Hobsbawn 1995, p.525).

O sociólogo estadunidense Robert Merton (1910-2003) foi um dos pioneiros nos estudos sobre sociologia da ciência. Sua obra “Ciência, Tecnologia e Sociedade na Inglaterra do Século 17”, publicada em 1938, analisou a institucionalização da ciência nesse período e as influências da ética puritana sobre esse processo. Merton notou que boa parte dos fundadores da Royal Society de Londres eram puritanos, sugerindo que o próprio *ethos* puritano tinha diversos pontos de concordância com a ciência nascente.

Com base nesses estudos, Merton concluiu que a ciência em geral possui certo conjunto de normas éticas, muito semelhantes às normas puritanas, que favoreceriam a produção de “conhecimento certificado”. Em um artigo de 1942, Merton apontou quatro normas:

- i) “universalismo”, a aceitação ou rejeição de enunciados científicos não deve depender das circunstâncias pessoais ou sociais do cientista;
- ii) “comunalidade”, os avanços científicos são produtos de colaboração social e assim devem ser acessíveis a toda comunidade;
- iii) “desinteresse”, a atividade do cientista não deve visar ao interesse próprio, como acontece excepcionalmente em casos de fraude;
- iv) “ceticismo organizado”, o cientista deve suspender temporariamente suas opiniões e juízos de valores, e duvidar de tudo³⁵.

Entre a Segunda Guerra Mundial e o fim da Guerra Fria foi comum se classificar as pesquisas realizadas por historiadores da ciência como “internalistas” ou “externalistas”. As primeiras abordariam a ciência de um ponto de vista exclusivamente epistemológico, comparando as teorias entre si, explorando sua consistência interna, desvendando a lógica da descoberta, interpretando o papel desempenhado pelos grandes nomes da ciência durante os episódios revolucionários em que estavam envolvidos. Por outro lado, as análises externalistas estudariam o desenvolvimento da ciência tentando desvendar as influências sociais sobre ela, isto é, como as necessidades sociais de diferentes épocas poderiam afetar a temática e, eventualmente, o conteúdo das teorias científicas que dominavam a cena nesses diferentes períodos históricos³⁶.

Esse tipo de divisão não é exclusivo da história da ciência. Em praticamente todas as produções culturais, como a filosofia, história, arte e literatura, pode se encontrar uma oposição semelhante.

Grosso modo, há, de um lado, os que sustentam que, para compreender a literatura ou a filosofia, basta ler os textos. Para os defensores desse fetichismo do texto autonomizado que floresceu na França com a semiologia e que refloresce hoje em todos os lugares do mundo com o que se chama de pós-modernismo, o texto é o alfa e o ômega e nada mais há para ser conhecido, quer se trate de um texto filosófico, de um código jurídico ou de um poema, a não ser a letra do texto. Esquematizo um pouco, mas bem pouco. Em

³⁵ Merton (1973), citado por Pessoa Jr. (1993). Ver também Merton 2013, p.185-198. No *funcionalismo*, corrente da sociologia na qual se inserem os estudos de Merton, a ênfase dos estudos recai sobre como as instituições canalizam as motivações dos cientistas, através de um sistema de comunicação, recompensa e distribuição de verbas.

³⁶ Boa parte da seção 2.4 foi baseada nas notas de aula da disciplina “FMT405, Evolução dos Conceitos da Física”, ministrada pelo professor João Zanetic no Instituto de Física da USP, entre 1978 e 2012.

oposição, outra tradição, frequentemente representada por pessoas que se filiam ao marxismo, quer relacionar o texto ao contexto e propõe-se a interpretar as obras colocando-as em relação com o mundo social ou o mundo econômico. Há toda sorte de exemplos dessa oposição, e remeto os interessados ao meu livro *Les règles de l'art* [As regras da arte], no qual evoco de modo mais preciso as diferentes correntes e referências bibliográficas de apoio (Bourdieu 1997, p.19).

O historiador da ciência Alexandre Koyré (1892-1964), de origem russa, estudava a origem da mecânica na década de 1930, quando Hessen publicou seu artigo sobre Newton. Sua obra mais famosa desse período, *Estudos Galilaicos*, apresentava uma nova imagem de um Galileu muito pouco experimental, ao contrário da imagem de “pai da física experimental” normalmente associada ao nome do físico italiano.

Koyré não buscou quaisquer condicionamentos sociais em seus estudos, estando muito mais interessado em estudar mudanças conceituais, como a substituição do espaço aristotélico concreto pelo espaço abstrato da geometria euclidiana no processo de matematização da ciência. Na década de 1930 ele não citou Hessen em seus estudos, mas criticou a visão de que a ciência de Galileu tenha sido influenciada por questões práticas, que fosse uma “ciência de engenheiros” (Freire Jr. 1995, p.54). Nessa época a historiografia materialista era frequentemente vista como uma forma agressiva de desvalorizar a ciência ao revelar suas origens práticas e mundanas, as preocupações materiais dos cientistas em busca da solução de problemas tecnológicos, em vez de uma busca desinteressada pela verdade (Shapin 1992, p.339).

No fim da década de 1950 e no início da década de 1960 um “internalismo” autoconsciente ou um ecletismo moderado eram as posturas vistas como mais adequadas para os historiadores da ciência. Alexandre Koyré teve um papel importante nesse debate, quando se mudou para os EUA e suas obras tornaram-se conhecidas em diversas universidades estadunidenses (Ibidem, p.342). Se Hessen havia sido poupado das críticas de Koyré na década de 1930, posteriormente ele foi criticado diretamente, junto com “marxistas e semi-marxistas” na obra *Estudos Newtonianos*, publicada em 1964 (Freire Jr. 1995, p.54)

Na década de 1960 o livro *A estrutura das revoluções científicas* (Kuhn 1962) tornou-se um marco de um novo movimento que ficou conhecido como “Nova Filosofia da Ciência”. Autores como Kuhn, Toulmin e Feyerabend passaram a dar mais importância para aspectos não puramente racionais sobre a ciência. A distância entre o ideal lógico de ciência defendido

pelos Positivistas Lógicos e a prática real da ciência exposta pelos estudos de história da ciência levou a um novo movimento nos estudos metacientíficos.

Em sua “metodologia dos programas de investigação” Lakatos propôs que as reconstruções racionais da história da ciência fossem complementadas por teorias *externas* empíricas, ou seja, baseadas em estudos da história da ciência, para explicar os fatores residuais não racionais. Como exemplos de casos históricos em que fatores irracionais foram importantes na história da ciência, ele cita o desaparecimento da genética mendeliana na Rússia soviética na década de 50 e o descrédito que atingiu certas escolas de pesquisa das diferenças raciais genéticas nos países anglo-saxônicos na década de 60 (Lakatos 1971, p.35).

Para ele por mais que a história da ciência seja sempre mais rica que a sua reconstrução racional, a história interna é primária, de forma que a história externa teria uma importância secundária. Os problemas mais importantes da história externa seriam definidos pela história interna:

Seja qual for o problema que o historiador da ciência pretende resolver, é-lhe necessário em primeiro lugar reconstruir a parte concernente do desenvolvimento do conhecimento científico objetivo, isto é a parte concernente da “história interna”. (...) o que para ele constitui a história interna depende da sua filosofia, quer ele esteja ou não ciente disso. (...) [A]o construir a história interna, o historiador será muito seletivo: omitirá tudo o que é irracional à luz da sua teoria da racionalidade. Mas esta seleção normativa ainda não permite uma reconstrução racional completamente livre. (...) A história interna não é simplesmente uma *seleção* de fatos metodologicamente interpretados: ela pode ser ocasionalmente a sua *versão radicalmente melhorada* (Lakatos 1971, p.41).

Imre Lakatos, influenciado pela epistemologia popperiana, utilizava concepções diferentes de história “interna” e “externa”, tendo debatido o assunto com Thomas Kuhn. Em 1965, ocorreu em Londres o Colóquio Internacional sobre Filosofia da Ciência. Thomas Kuhn forneceu o texto inicial do debate, recebendo respostas de Karl Popper, Imre Lakatos e Paul Feyerabend, entre outros (Lakatos e Musgrave 1970).

Segundo Steven Shapin historiadores da ciência em geral não aceitaram o conceito de Lakatos de “reconstruir racionalmente” a história, preferindo abordagens que busquem entender a profundidade e complexidade da história “real”. Na década de 1960, a tensão sobre a importância de influências sociais sobre a ciência era considerada muito importante para os jovens interessados em história da ciência. Os estudantes eram iniciados em seus estudos sobre história e sociologia das ciências aprendendo sobre essas duas tendências opostas e se esperava que se afiliassem ao “externalismo” ou ao “internalismo”. Os artigos que revisavam

a produção destas áreas obrigavam o uso dessas categorias como estruturas para exposição (Shapin 1992, p.333).

Atualmente, a maioria dos historiadores da ciência considera que a tensão entre “externalismo” e “internalismo” foi superada, sendo um sinal de maturidade da pesquisa nesse campo o fato de que as referências a “interno e externo” são cada vez menos comuns. A partir da década de 1980 quem continuasse usando estes termos estaria se traindo, mostrando ser um iniciante, amador, alguém de fora da comunidade ou desatualizado (*Ibidem*, p.333).

A maioria das obras atuais em história e sociologia da ciência assume que os extremos “internalista” e “externalista” devem ser evitados. O historiador da ciência estadunidense Charles Gillispie considerou, em 1991, “a distinção entre abordagens internas e externas” uma “esquizofrenia passageira” (Gillispie 1991 *apud* Shapin 1992, p.345).

Por exemplo, o sociólogo francês Bourdieu defende que “para compreender uma produção cultural (literatura, ciência etc.) não basta referir-se ao conteúdo textual dessa produção, tampouco referir-se ao contexto social contentando-se em estabelecer uma relação direta entre o texto e o contexto” (Bourdieu 1997, p.20). Considera um “erro do curto-circuito” fazer uma relação direta entre produções artísticas, culturais e científicas e manifestações sociais, como relacionar um poema a uma greve. Criou o conceito de *campo* como uma forma de fazer uma ligação intermediária entre estes extremos. Os campos, literário, artístico, jurídico ou científico, seriam mundos sociais relativamente autônomos, que obedecem a leis específicas.

É preciso escapar à alternativa da “ciência pura”, totalmente livre de qualquer necessidade social, e da “ciência escrava”, sujeita a todas as demandas político-econômicas. O campo científico é um mundo social e, como tal, faz imposições, solicitações etc., que são, no entanto, relativamente independentes das pressões do mundo social global que o envolve. De fato, as pressões externas, sejam de que natureza forem, só se exercem por intermédio do campo, são mediatizadas pela lógica do campo. Uma das manifestações mais visíveis da autonomia do campo é sua capacidade de refratar, retraduzindo sob uma forma específica as pressões ou as demandas externas (Bourdieu 1997, p.21)

Porém, por mais que muitos dos interessados em debates metacientíficos estejam cansados da polêmica entre “internalismo” e “externalismo”, reconhecendo que estes extremos da ciência pura e do determinismo social devam ser evitados, a tensão sobre a importância atribuída às influências sócio-históricas sobre a prática científica continua

aparecendo, sem que as palavras “externalismo” ou “internalismo” sejam empregadas (Shapin 1992).

Em 2000, o historiador da ciência Roberto de Andrade Martins analisou as tendências recentes nos estudos de história da ciência e se posicionou criticando a tendência dominante da abordagem sociológica: “neste final de século, os historiadores da ciência dão uma atenção cada vez maior a aspectos sociológicos da ciência e interpretam as atividades dos cientistas como uma luta para obter poder e reconhecimento” (Martins, R. 2000, p.45).

Por mais que, em sua opinião, a análise de influências sociais e culturais sobre a ciência seja interessante, ele acusa os defensores desse tipo de abordagem de estarem adotando uma postura dogmática, proibindo ou menosprezando as abordagens mais “internalistas”³⁷ ou conceituais:

A abordagem sociológica da história da ciência é atualmente, sem dúvida, a tendência mais forte na área. Essa abordagem não se considera uma dentre muitas abordagens, mas vê a si própria como a única abordagem válida. De acordo com os defensores dessa abordagem, interpretações psicológicas são inaceitáveis; análises conceituais são tolas; a epistemologia deveria ser substituída pela análise social da prática científica (epistemologia social); a ciência não tem nenhuma dignidade nem valor específico; a dinâmica social pode ser descrita e compreendida sem qualquer referência a distinções relativas a valores epistêmicos (Idem, p.48).

Conforme vimos na seção 2.1.1, durante a “Guerra das ciências” não foram só os cientistas naturais que se incomodaram com propostas relativistas radicais dos autores do Programa Forte da Sociologia da Ciência. Esse programa recebeu críticas de filósofos da ciência não relativistas, e também de diversos historiadores da ciência. Roberto Martins considera que a maior parte dos historiadores e sociólogos da ciência, mesmo que não diretamente adeptos desse programa, estejam assumindo que “as crenças científicas devam ser explicadas apenas por forças sociais, e que não se deve fazer qualquer referência ao” mundo real” ou às categorias de verdadeiro/falso, racional/ irracional etc. na análise da ciência” (Martins, R. 2000, p.49).

Acreditamos que essa acusação de toda uma área de pesquisa, a sociologia da ciência, como dogmática é uma generalização indevida. Os autores do *Science Studies* não defendiam um determinismo social, nem que abordagens sociológicas são as únicas possíveis. Pelo contrário, o essa abordagem se caracterizou pela defesa de que se estreitem os laços entre as

³⁷ Roberto Martins não fez uso dos termos “internalista” ou “externalista” em seu artigo, preferindo utilizar os termos “conceitual” ou “sociológico”. No entanto nota-se que o debate é o mesmo: a importância atribuída a influências sociais sobre a ciência.

diferentes disciplinas das chamadas ciências humanas de modo a “produzir uma imagem mais adequada, fiel ou mesmo verdadeira da ciência” (Videira e Machado 2013, p. 148).

Martins considera que, com o crescente interesse no uso da história da ciência na educação, existirá uma demanda por mais trabalhos que abordem aspectos conceituais da ciência, enfraquecendo essa tendência sociológica hegemônica (Martins, R. 2000, p.47). Porém, acreditamos que estudos históricos com abordagem social e cultural também podem trazer contribuições importantes para a educação científica. Vamos aprofundar esse tema envolvendo discussões metacientíficas no ensino de ciências na próxima seção.

2.5 O construtivismo social no ensino de ciências

No âmbito do Ensino de Ciências, existem intensos debates sobre como trazer as controvérsias sobre a racionalidade da ciência para as salas de aula. A partir da década de 1990 alguns pesquisadores, tendo como base epistemológica uma defesa do Realismo, criticaram o chamado “construtivismo social” no ensino de ciências, normalmente associado a visões antirrealistas da ciência (Matthews 1994; Nola 1997; Barra 1998; Pietrocola 1999; Laburú e Silva 2000; Nola e Irzik 2005).

Peter Slezak (1994a, b) criticou o “Programa Forte da Sociologia da Ciência” no periódico *Science & Education*, dedicado a trazer contribuições da história, filosofia e sociologia das ciências para a educação. Mencionou como representantes deste movimento Bruno Latour, Steve Woolgar, Trevor Pinch, Harry Collins, David Bloor e Steven Shapin, entre outros.

Slezak apresentou alguns argumentos lógicos contra a teoria do construtivismo social. Um deles é o seguinte: a partir do mesmo contexto social, costumam surgir diversas teorias diferentes. Então como poderiam ser exclusivamente sociais as causas destas diferentes teorias?

Uma crítica semelhante foi apresentada pelos filósofos Robert Nola e Gürol Irzik (2005, p.334), tomando como exemplo a tese de Paul Forman (1971) sobre a influência de intelectuais alemães críticos à razão e às ciências no abandono da causalidade na mecânica quântica, durante o período da República de Weimar. O *interesse* de uma dúzia de físicos alemães nas teses neorromânticas após a derrota alemã na Primeira Guerra Mundial não nos permite, segundo Nola e Irzik (2005, p.335), concluir que essa foi a causa de sua *crença* na não causalidade da mecânica quântica. Outros cientistas, em ambientes sociais e culturais

completamente diferentes, como Rutherford, na Nova Zelândia, também teriam apoiado o abandono da causalidade.

Outro argumento comum dos críticos do Programa Forte é o uso que os sociólogos da ciência têm feito da tese de Duhem-Quine:

Nenhuma proposição pode ser refutada individualmente por nenhuma evidência pois, qualquer que seja a evidência, é sempre possível fazer ajustes no restante do sistema, de modo a evitar o falseamento (Martins, R. 2000, p.51)

Esta tese foi formulada a partir das obras do físico e filósofo da ciência francês Pierre Duhem (1861-1916) e do lógico e filósofo analítico estadunidense Willard Quine (1908–2000). Portanto, ela não se fundamentou nem em pesquisas históricas, nem em pesquisas sociológicas “e não pode ser substituída por nenhuma generalização histórica ou sociológica” (Martins, R. 2000, p.51). Além disso, se aceitarmos seu conteúdo como verdadeiro, isso não favorece a escolha de fatores sociais para a escolha entre teorias diferentes. A tese de Duhem-Quine é neutra em relação à relevância de influências sociais sobre a ciência (Slezak 1994, p.284).

Irzik e Nola (2005, p.325) também criticaram a importância exagerada que tem se atribuído às influências sociais sobre a ciência nos últimos anos. Defendem uma visão realista e racionalista da ciência, recusando a visão de que as influências sociais possam atingir os conteúdos científicos. Apoiam os estudos da sociologia do conhecimento científico mais antigos, realizados por autores como Robert Merton, mas criticaram o chamado “Programa Forte”, citando autores como Barry Barnes e David Bloor.

Slezak (1994a) defendeu que na educação científica seria importante diferenciar as influências sociais inconscientes e inevitáveis sobre a ciência, das manipulações fraudulentas propositalmente, o que exige que se leve em conta não só as influências sociais sobre as teorias científicas, mas também o seu conteúdo cognitivo. Os critérios meramente sociológicos para aceitação das teorias implicariam que se a maioria da população aceitar que, por exemplo, as teorias raciais presentes no *Mein Kampf* sejam adequadas, então essa teoria deveria ser ensinada nas escolas (idem, p.271). Defende que a educação seja diferente de doutrinação e propaganda, o que só seria possível se abandonarmos as propostas do *construtivismo social* radical.

Consideramos que este argumento é mais um exemplo de confusão gerada nos debates envolvendo a Guerra das Ciências, em que se critica uma caricatura exagerada e deturpada da posição adversária. Nenhum construtivista social defendeu que devemos aceitar a opinião da

maioria da população para tomar decisões. Pelo contrário, a comunidade de sociólogos da ciência defende que eles são uma comunidade de pesquisadores que também tem autoridade para opinar sobre questões sócio-científicas.

O historiador da ciência Helge Kragh apoiou a proposta de Slezak quatro anos depois, no mesmo periódico (Kragh 1998). Defendeu que se a educação científica seguir os conselhos dados pelos construtivistas sociais radicais, então aconteceria o fim da Física. Porém limitou suas críticas a essas versões extremas do construtivismo social, mantendo sua defesa no valor das contribuições para a educação de estudos culturais e sociais sobre as ciências.

Pietrocola (1999) defende que seria importante fortalecer a dimensão ontológica do conhecimento, valorizando a relação entre o conteúdo ensinado e a realidade diária dos estudantes, de modo a promover um mínimo sentimento de realidade. Caso contrário, haveria um fortalecimento do relativismo e a ciência perderia espaço para outras atividades supostamente mais interessantes ou mais práticas, tais como religião e astrologia, ou informática e economia.

André Ferrer e Ryder (2014) também criticaram aspectos da visão consensual da natureza da ciência por sua tendência ao fomentar o relativismo, como por exemplo, o enunciado de McCommas e colaboradores (1998, p.281): “A ciência tem um elemento subjetivo. Em outras palavras, ideias e observações em ciência são ‘dependentes de teorias’”. Para eles, esse enunciado dá a impressão equivocada de que a ciência é subjetiva, carregada de aspectos idiossincráticos. A mesma ressalva foi apresentada por Teixeira e colaboradores (2009, p. 535) que consideram importante diferenciar “o envolvimento dos sujeitos e, logo, de fatores subjetivos na construção do conhecimento” da afirmação que o conhecimento, em si mesmo, é subjetivo”. Para estes autores a objetividade seria um valor possível, que se busca evitando vieses de forma, almejando a imparcialidade.

Uma ressalva semelhante também foi apontada por El-Hani e colaboradores (2004, p.274), em um trabalho que adotou a visão consensual da Natureza da Ciência e investigou concepções de estudantes brasileiros utilizando o questionário VNOS, desenvolvido por Lederman e colaboradores (2002). Apesar disso, explicitaram seu desacordo com McComas et al. (1998), que “incluem numa visão desejável sobre a natureza da ciência as ideias de que a ciência é parte de tradições sociais e culturais, e as ideias científicas são afetadas por seu meio social e histórico” e Gil et al. (2001), que “consideram uma visão socialmente neutra da ciência uma das deformações que podem ser encontradas em uma concepção epistemológica inadequada”, uma vez que “o universalismo tem defensores vigorosos no cenário atual das

controvérsias epistemológicas, não sendo possível furtar-se à conclusão de que os debates sobre universalismo, multiculturalismo, relativismo etc. estão em aberto.”³⁸ Portanto, em sua investigação de concepções de natureza da ciência de estudantes, consideraram adequadas tanto as visões de estudantes que defenderam influências sociais sobre a ciência, quanto defesas do universalismo.

Por outro lado, alguns pesquisadores defendem que o *construtivismo social* e formas moderadas e críticas de *relativismo* podem trazer contribuições para a educação científica.

Ileana Greca e Olival Freire (2004) argumentam que os elementos provenientes das análises de autores dessa tendência pós-moderna poderiam fornecer uma imagem mais rica e realista da ciência contemporânea, e que para evitar tendências irracionais seria melhor discuti-las nas salas de aula, em vez de simplesmente ignorá-las ou mesmo rejeitá-las. Para isso analisam obras do sociólogo da ciência português Boaventura Santos, trazendo suas possíveis contribuições para o ensino. Também buscam na história social das ciências, contribuições de autores como Daniel Kevles, David Kaiser e do brasileiro Carlos Ziller.

Alguns orientandos do prof. João Zanetic, que defenderam dissertações de mestrado no Programa Interunidades em Ensino de Ciências pela USP, também trouxeram contribuições de alguns autores conhecidos como “relativistas” para o ensino de ciências. Todos tiveram em comum a visão freireana de que tudo merece ser problematizado, inclusive nossa confiança na ciência contemporânea.

Alexandre Custódio Pinto (2003) explorou algumas perspectivas educacionais oriundas da epistemologia de Paul Feyerabend, concebendo a educação científica como iniciação em uma tradição cultural. Valorizou os debates entre teorias concorrentes, abordando o problema do movimento da Terra, os argumentos envolvidos na superação do Geocentrismo pelo Heliocentrismo e até mesmo controvérsias atuais na ciência, apresentando e discutindo a teoria da Mecânica Relacional do físico brasileiro André Assis.

Marcília Barcelos (2008) apresentou uma reflexão crítica sobre a formação de pesquisadores em física, partindo dos estudos sociais sobre a ciência realizados por Bruno Latour. Sua proposta pretende estimular discussões metacientíficas nos cursos de bacharelado, a partir do estudo histórico da relação massa energia, $E=mc^2$, buscando favorecer a formação de um futuro pesquisador crítico, autônomo e consciente, que reflita sua prática, seus objetivos e os impactos de sua atividade.

³⁸Para mais detalhes sobre debates envolvendo multiculturalismo e visões de mundo, ver El Hani e Mortimer 2007.

Adalberto Oliveira (2011) criticou o cientificismo presente em muitas obras de ficção científica, que tentam convencer seus leitores a adorar a ciência, persuadindo-os a venerá-la, em uma devoção submissa. Com base nos estudos de autores como Paulo Freire, Mikhail Bakhtin, Lev Vygotsky, Thomas Kuhn e Paul Feyerabend, defendeu a ficção científica como uma forma de apresentar e *discutir* os mitos culturais que recheiam nosso imaginário, influenciando nossas concepções de ciência e tecnologia. Em vez de apresentar a ficção científica “como uma sereia que seduz o jovem a afundar-se ainda mais no mar tecno-científico”, Adalberto e Zanetic defendem que “a ciência não seja apresentada apenas como algo que liberta e apraz, pois que ela também aprisiona e oprime” (Oliveira 2011, p.24).

Leandro Daros Gama (2011) utilizou o conceito de “caixa preta” como apresentado pelo sociólogo Bruno Latour para defender a problematização da autoridade da ciência na educação básica. Entre seus estudos de caso, está o questionamento da autoridade atribuída ao modelo padrão da cosmologia, defendendo que haja espaço para teorias alternativas.

Vázquez e Manassero (1999) defenderam o construtivismo social como uma postura moderada adequada para a educação científica, intermediária entre o relativismo e o positivismo. Defendem que a natureza da ciência é um constructo social e historicamente dialético, resultante de uma série de tensões entre polos opostos, tais como provisório/definitivo, revisável/estável, realista/instrumentalista, objetiva/ subjetiva, pública/privada, irreprodutível/replicável, exata/probabilística, humanística/idealista, contextualizada/neutra, única/múltipla, holística/parcial, amoral/moral, empírica/teórica, criativa/algoritmizada, simples/complexa, verificável/falseável, aberta/fechada, parcial/imparcial, indutiva/hipotética, falível/dogmática, acumulativa/evolucionista, coletiva/individual, formal/parcimoniosa. Além disso, incluíram como fontes para estudos sobre a natureza da ciência, autores polêmicos, como Bruno Latour, David Bloor e Barry Barnes. Na década seguinte Vázquez e colaboradores (2007) publicaram diversos artigos, muito semelhantes, nos quais defendem a inclusão de aspectos sociológicos no ensino sobre a natureza da ciência.

2.6 A visão de ciência adotada nessa pesquisa

Assim como alguns pesquisadores interessados em como estudos de história, filosofia e sociologia das ciências podem fornecer subsídios para a educação básica, defendemos que aspectos controversos sobre a ciência, ou sobre o que tem sido chamado “natureza da ciência”, não devem ser evitados na educação básica.

Diversos pesquisadores defendem que aspectos supostamente “consensuais”, apresentados nas listas elaboradas em influentes artigos de revisão bibliográfica sobre natureza da ciência (como, por exemplo, McCommas *et al* 1998, El-Hani 2006, Lederman 2007) deveriam ser debatidos na formação de professores, explicitando as diferentes posições filosóficas conflitantes entre si sobre questões controversas, como a neutralidade e objetividade da ciência, critérios de demarcação entre ciência e não-ciência e o realismo científico (Eflin *et al* 1999, Clough 2007, Vázquez *et al* 2007, Rozentaliski *et al.* 2012, Matthews 2012, Rozentaliski & Porto 2013, Noronha 2014, Bagdonas *et al.* 2014, Martins e Ryder 2014)³⁹

Isso pode ser feito de forma gradual, desde aspectos mais simples e menos controversos na educação infantil, até os aspectos mais complexos na formação de professores (Vázquez *et al.* 2007, Abd-El-Khalick 2012). Mesmo neste caso é importante ter objetivos modestos ao ensinar sobre natureza, ou características da ciência já que o objetivo da educação científica não é treinar estudantes e professores de ciências para serem historiadores, sociólogos e filósofos da ciência profissionais (Matthews 2012).

Aceitamos os argumentos apresentados contra o Programa Forte da Sociologia das Ciências e suas contribuições para a educação, considerando que qualquer forma de *determinismo social* ou *relativismo radical* deva ser problematizada. Concordamos parcialmente com a crítica de Roberto Martins (2000) contra a hegemonia de abordagens sociológicas na história da ciência. Por defendermos uma postura pluralista e problematizadora, rejeitamos abordagens dogmáticas que dificultem o surgimento de abordagens diferentes, que possam dialogar entre si a partir de críticas construtivas. Portanto, isso também nos leva a rejeitar as propostas que visam banir quaisquer contribuições da sociologia da ciência ou da história social para as discussões metacientíficas.

Buscamos argumentar nesta pesquisa que visões relativistas moderadas podem trazer contribuições muito interessantes à educação científica, inspirados nas obras de autores como Paul Feyerabend, Steven Shapin e outros historiadores da ciência que dão grande ênfase à história social e cultural, como Paul Forman, Daniel Kevles e Alexei Kojevnikov.

Os defensores do racionalismo frequentemente consideram que abordagens relativistas poderiam ser perigosas para os jovens iniciantes, como sugeriu o historiador da ciência

³⁹ Há discordâncias entre estes autores sobre quais questões controversas devam ser debatidas na educação básica. Por exemplo, Eflin *et al* 1999, p.174 ao contrário dos demais autores citados, consideram que o debate sobre realismo científico deveria ser evitado na educação básica por ser excessivamente complicado, até para os filósofos que trabalham nele. Por isso, defendem que uma visão realista ingênua é a mais adequada para o ensino de ciências.

Stephen G. Brush em seu artigo “A história deveria ser proibida para menores de idade?” (Brush 1974). Quando se ensina ciência, normalmente os professores querem que seus alunos vejam os cientistas como seres humanos, mas que respeitem os padrões de imparcialidade, rigor lógico e verificação experimental das hipóteses. Espera-se que o cientista evite teorizações excessivas sobre fenômenos novos ou não explicados, baseadas em preconceitos metafísicos, místicos ou teológicos (Brush 1974, p.1164). Nessa visão o contato com teorias descartadas ou com visões críticas da ciência contemporânea poderia ser subversivo, induzindo os estudantes a aceitarem ideias atualmente consideradas ultrapassadas, ou desanimá-los por destruir sua confiança na autoridade da ciência.

Porém, para Brush, a postura de proibir a história da ciência para “menores de idade” só deveria ser adotada por professores que desejem “doutrinar seus estudantes no papel tradicional do cientista como um investigador neutro” (Ibidem, p.1170). Para isso, seria legítimo até mesmo usar uma história fictícia (ou whig) para ilustrar as teses sobre o método científico. Contudo, Brush defende que essa postura deve ser evitada, defendendo a importância de se apresentar uma visão de ciência mais próxima da história “real” para os estudantes:

Por outro lado, aqueles professores, que desejam neutralizar o dogmatismo dos textos didáticos e transmitir algum entendimento da ciência como uma atividade que não pode estar divorciada de considerações metafísicas ou estéticas, podem encontrar algum estímulo na história da ciência (Brush 1974, p.1171, tradução livre).

Concordando com Brush, Adalberto Oliveira (2011, p.73) considera que essa visão cautelosa, que busca esconder a história da ciência dos estudantes jovens “confunde história com histeria, e parte de uma visão deturpada e muito pessimista do ser humano, legitimando uma distorção/invasão cultural ao manipular-lhe a reflexão e, portanto, a práxis”.

Diversos cientistas também têm apresentado, como membros internos dessa comunidade, visões críticas da ciência. Condenaram, por exemplo, a burocratização, a presença de modismos, a falta de estímulo para a imaginação e criatividade nas pesquisas, as falhas do sistema de revisão por pares, o crescimento de uma visão comercial e capitalista da ciência que levaria a distorções éticas e intelectuais, e muitos outros males (Shapin 1999).

Acreditamos que cada professor pode fazer uso de diferentes tipos de história da ciência, dependendo de seus objetivos pedagógicos. Na formação de cientistas, quando se quer a publicação do maior número de artigos com o menor tempo de formação possível, estimulando a produtividade e economia de recursos investidos, o uso de uma reconstrução

racional da história da ciência parece ser a melhor opção. O mesmo vale para a educação básica, se pensarmos num ensino propedêutico que avalia a qualidade do ensino pela quantidade de conteúdo assimilada pelos alunos no menor tempo possível. Por outro lado, se pudermos nos dar ao luxo de permitir aos nossos futuros cientistas terem um pouco mais de tempo para refletir criticamente sobre sua área de estudo; ou quisermos formar cidadãos que possam analisar a ciência contemporânea de forma crítica, reconhecendo seu valor e os perigos oriundos da confiança cega em sua autoridade, então uma pluralidade de abordagens historiográficas e filosóficas lhes devem ser apresentadas.

As histórias com ênfase mais internalista são indicadas para o professor que privilegia o aprendizado de conteúdos científicos, ou nos episódios em que as influências sociais não tenham sido muito importantes, nem permitam realizar discussões metacientíficas interessantes. Já as histórias da ciência que dão mais ênfase a possíveis influências recíprocas entre teorias científicas e seu contexto sócio-histórico podem ser particularmente interessantes para discutir relações entre ciência, tecnologia e sociedade⁴⁰.

Acreditamos que sendo a ciência uma produção humana tão complexa e diversificada não nos cabe assumir, a princípio, que fatores sociais, culturais, políticos e econômicos sejam sempre mais ou menos importantes que fatores experimentais, lógicos ou racionais. Cada caso deve ser analisado separadamente, tanto no âmbito dos estudos de sociologia, história ou filosofia da ciência, quanto nas discussões metacientíficas no contexto da educação. Para isso, é essencial a colaboração entre educadores, pesquisadores da área de ensino de ciências, historiadores, sociólogos e filósofos da ciência na produção de textos, materiais didáticos e sequências didáticas que possam ser utilizados na formação de professores de ciências e em aulas do ensino médio e fundamental.

⁴⁰ Um exemplo interessante de abordagens diferentes da história da teoria da relatividade restrita e suas contribuições para diferentes visões do ensino de física foi apresentado por Noronha e Gurgel (2012).

3 Histórias da cosmologia

Neste capítulo vamos discutir alguns aspectos da natureza da ciência a partir de estudos da história da cosmologia no século XX, com ênfase no período entre 1914 e 1945. Inicialmente, apresentamos uma crítica à visão empirista da cosmologia, bastante comum em obras de divulgação científica. A partir da história dos modelos cosmológicos criados entre as décadas de 1910 até 1930, problematizamos a tese de que Hubble descobriu a expansão do universo, criando sua teoria por indução a partir de dados observacionais (seção 3.1). Em seguida, a partir da tensão entre o racionalismo crítico de Imre Lakatos e o anarquismo epistemológico de Paul Feyerabend (seção 3.2), apresentamos duas visões antagônicas da história da cosmologia na primeira metade do século XX.

3.1 Quem descobriu a expansão do universo?

A maior parte dos livros e obras de divulgação científica que resume os principais resultados do século XX apresenta ênfase sobre o desvio espectral para o vermelho e a radiação de fundo de micro-ondas, duas observações astronômicas que foram interpretadas como evidências a favor da teoria atualmente aceita pela maior parte da comunidade científica: a teoria do Big Bang, ou o chamado *modelo padrão da cosmologia*⁴¹.

Uma analogia comum, que aparece como forma de facilitar a compreensão do conceito de expansão do universo, é de um balão sendo inflado para simular um universo bidimensional. Esta analogia foi proposta em 1933 por Arthur Eddington em seu livro “A expansão do universo”:

Imagine as nebulosas embebidas na superfície de um balão de borracha que está sendo inflado. Para modelar o universo vamos representar o espaço esférico por esse balão de borracha. Nossas três dimensões de comprimento, largura e profundidade devem ficar todas na superfície do balão, mas só há lugar para duas, então o modelo precisa sacrificar uma delas. Isso não tem muita importância. Imagine as galáxias embebidas na borracha. Agora deixe o balão ser inflado continuamente. Esse é o universo em expansão (Eddington 1933, p.66, tradução livre).

Em geral, o desvio espectral para o vermelho das galáxias é apresentado por estes autores como uma observação que confirmou a teoria do Big Bang, como se fosse lógico que se o universo está em expansão, então no passado tudo deveria estar contraído em um só ponto. Por mais que esse argumento faça sentido, essa não é a única visão possível. Houve não só

⁴¹ O termo Big Bang foi inventado por Fred Hoyle, um astrofísico britânico que não gostava dessa teoria e trabalhou em teorias alternativas, sem um começo no tempo (Kragh 2014).

várias interpretações possíveis para o desvio espectral, que nos levam a modelos estáticos ou em expansão, como também diferentes modelos de universo que foram construídos aceitando a expansão do universo, como a teoria do Big Bang e a teoria do Estado Estacionário.

A radiação de fundo de micro-ondas, descoberta em 1965, é frequentemente apresentada na divulgação científica como o golpe definitivo nas cosmologias alternativas, como o Estado Estacionário. Essa descoberta deu o prêmio Nobel de 1978 para Penzias e Wilson, os engenheiros que detectaram a radiação de micro-ondas sem saber que ela tinha alguma coisa a ver com modelos cosmológicos. Posteriormente, em 2006, outro prêmio Nobel foi dado a John C. Mather e George F. Smoot, líderes do grupo de pesquisa que criou o satélite COBE⁴², medindo com precisão muito maior a radiação de fundo de micro-ondas, confirmando mais uma vez o modelo padrão da cosmologia e teoria do “estrondão”.

No documentário “Poeira das estrelas”⁴³, a descrição feita por Marcelo Gleiser do processo de descoberta da expansão do universo ilustra o que se faz na maioria dos materiais de divulgação científica, com pouco cuidado em relação à história da ciência: é atribuída a Hubble a descoberta da expansão do universo.

Em 1929, um astrônomo americano demonstrou que Einstein estava errado: que o universo não era estático, que ele está em expansão, crescendo cada vez mais. Esse astrônomo se chamava Edwin Hubble. Um telescópio foi fundamental para isso.

Este trecho ilustra a tradição dos livros sobre cosmologia que enfatizam as observações (e não as teorias) (Kragh 2011, p.344). Rocha (2012) analisou trechos semelhantes de obras de divulgação como a revista *Super Interessante*, salientando que quando se diz que as observações de Hubble permitiram constatar a expansão do universo não se diferencia *observação* de *inferência*, induzindo visões ingênuas sobre a natureza da ciência. Na maioria destas obras de divulgação é atribuída a Hubble a descoberta da expansão do universo, mostrando que a proposta teórica de Einstein com sua “constante cosmológica” estava errada. Alguns documentários, como *Lost Horizons, Big Bang* (Al-Khalili 2008), podem até nos levar a pensar que Hubble teria visto as galáxias se afastando com seu telescópio.

No entanto, não é possível observar diretamente o afastamento das galáxias nem se pode medir diretamente as velocidades de afastamento, a partir da medida de distância percorrida e do tempo de movimento. Os cálculos das velocidades de recessão são uma interpretação de observações de desvios para o vermelho do espectro das nebulosas.

⁴² Sigla que quer dizer Cosmic Background Explorer (Explorador do Fundo Cósmico).

⁴³ Documentário exibido pela rede Globo, no programa Fantástico, cujo texto está disponível em <http://fantastico.globo.com/Jornalismo/FANT/0,,MUL696005-15605,00-COMO+FOI+QUE+TUDO+COMECOU.html>

O próprio Hubble se mostrou relutante em interpretar estes desvios espectrais como evidência da expansão do universo. Na seção 3.1.1 vamos discutir o conceito de “descoberta” na ciência, mostrando como discussões interessantes sobre a natureza da ciência podem ser conduzidas a partir da questão: “Quem descobriu a expansão do universo?”.

Não só na divulgação científica, mas também em enciclopédias e em grande parte dos livros sobre cosmologia se atribui a Hubble a *descoberta* do universo em expansão. A relação entre velocidade de recessão das galáxias e sua distância ($V = H \cdot d$) ficou conhecida como *lei de Hubble*, onde H é a *constante de Hubble*. O inverso desta constante ($1/H$), que tem dimensões de tempo e pode ser utilizado em discussões envolvendo a idade do universo, é o *tempo de Hubble*.

O termo “epônimo” quer dizer “Que dá seu nome”. Assim a *eponímia* é o processo que ocorre quando é dado o nome de um cientista para constantes (de Avogadro, de Stefan-Boltzmann etc.); leis (de Kepler, de Newton, de Gauss, de Mendel, Hooke etc.); equações (de Boltzmann, de Maxwell, de Schrödinger etc.); unidades de medida (volt, ampère, coulomb, newton etc.) ou até mesmo para partes do corpo (trompas de Falópio, complexo de Golgi, trompa de Eustáquio etc.).

Como a originalidade é uma das maiores virtudes valorizadas em um trabalho científico, quase todo cientista almeja ser reconhecido por dar contribuições aos avanços da ciência. O sistema de premiação dos trabalhos científicos, que envolve o financiamento de pesquisa e premiação por contribuições extraordinárias, como o Prêmio Nobel, privilegia a primazia. Isso gera uma forte competição entre os cientistas, pois ao mesmo tempo em que buscam contribuir coletivamente para o avanço das pesquisas, também esperam reconhecimento pessoal a partir de suas contribuições. Por isso, a *eponímia* é uma das maiores honras que um cientista pode receber.

O sociólogo estadunidense Robert Merton publicou em 1957 um estudo sobre disputas de prioridade na ciência ocidental, mostrando que elas sempre foram frequentes, desde o Renascimento até o século XX, na física, química, matemática, astronomia, psicologia e ciências sociais. Casos de condutas mais desapegadas, quando cientistas deixaram de defender seu próprio mérito e atribuíram a prioridade a algum de seus rivais, seriam muito raros. Uma exceção teria sido a de Darwin e Wallace, que tentaram dar crédito um ao outro pela prioridade nas teorias de evolução das espécies que formularam independentemente (Merton 1957, p.637).

Buscando uma explicação para o fato de que essas disputas sejam tão frequentes ao longo de toda a história, Merton rejeitou uma hipótese que inicialmente parece ser plausível: a de que seria da natureza humana a vontade egoísta de obter fama e reconhecimento. Nessa visão seria esperado que entre os cientistas sempre se encontrasse muitos indivíduos agressivos e competitivos.

Para Merton, que descreveu o que hoje é chamado de “ethos da ciência”⁴⁴, as explicações centradas nas características individuais dos cientistas seriam menos importantes do que as baseadas em estudos das instituições científicas, ou seja, de seu comportamento social, influenciado por normas de conduta estabelecidas pela comunidade científica. Dentre estas normas, está a valorização da humildade entre os cientistas, que devem buscar contribuições para o avanço da ciência publicando seus resultados para que outros o auxiliem num processo colaborativo. O cientista que perde tempo defendendo sua prioridade ou atacando os seus rivais é frequentemente malvisto, sendo o culto à personalidade visto como um defeito de caráter.

Existe então uma tensão nas normas socialmente estabelecidas na comunidade científica: a valorização da originalidade gera competição tanto entre indivíduos, quanto entre nações, pela primazia no estabelecimento de resultados inovadores. Por outro lado, são valorizados a humildade e comportamento colaborativo dos cientistas. Por isso, frequentemente não é o próprio cientista que se engaja nas disputas de prioridade, mas sim seus compatriotas: amigos, admiradores e às vezes até mesmo historiadores da ciência⁴⁵ tinham interesse em defender a relevância das contribuições científicas de sua nação.

Em um estudo de livros e manuais didáticos estrangeiros (franceses, ingleses, alemães e russos) utilizados no ensino de física no Brasil, Rouxinol (2007) percebeu marcas de nacionalismo, tais como a valorização dos feitos dos cientistas da nação, assim como uma falta de neutralidade ao lidar com disputas de prioridade.

Até hoje, a ideologia do *universalismo* da ciência, em que a ciência é vista como essencialmente internacional, é muito forte entre os cientistas. Porém, ao mesmo tempo, é comum que a ciência seja vista como forma de obter prestígio nacional.

Nos casos de disputas de prioridade mais acirradas, acontecem às vezes alguns excessos, como a invenção de dados experimentais falsos para verificar teorias, ataque às contribuições

⁴⁴ Apresentado na seção 2.4, p.62.

⁴⁵ Contudo, como veremos adiante, a historiografia da ciência contemporânea se distanciou destes objetivos, perdendo o interesse por apontar os “pais”, “descobridores” ou criadores individuais das teorias científicas.

rivais buscando evitar que elas sejam divulgadas, ou a realização de plágio, ocultando as contribuições recebidas por outros no processo de criação⁴⁶.

Entretanto, o extremo oposto também pode ser um problema que, por mais que tenha sido apontado por Merton há mais de meio século, permanece muito atual:

A divulgação indispensável da pesquisa pode, no entanto, se converter numa coceira para publicar que, por sua vez, torna-se agravada pela tendência, em muitas instituições acadêmicas, de transformar um grande número de publicações em uma medida estabelecida de sucesso científico ou acadêmico (Merton 1957, p.655, tradução livre).

Nas próximas seções vamos analisar as disputas de prioridade envolvendo a descoberta da expansão do universo, apresentando alguns dos possíveis candidatos a “descobridor” do universo em expansão e da relação linear entre os desvios espectrais para o vermelho e distância (a chamada relação *redshift-distância*).⁴⁷ Porém, antes disso pode ser interessante uma reflexão sobre o conceito de descoberta nas ciências.

3.1.1 O que é uma descoberta?

O que é uma descoberta? Há vários sentidos para essa palavra. Alguns deles foram discutidos por Kragh e Smith (2003, p.143):

1. Descoberta empírica de fenômenos nunca antes observados. Exemplos: o pulsar descoberto pela astrônoma britânica Jocelyn Bell em 1957 e a radiação de fundo de micro-ondas, descoberta pelos físicos estadunidenses Arno Penzias e Robert Wilson em 1965⁴⁸.

2. Descoberta empírica a partir de uma série de observações que permite estabelecer relações entre objetos. Exemplos: o Diagrama H-R, que relaciona características de estrelas e foi proposto independentemente pelo astrônomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung e pelo estadunidense Henry Norris Russell.

⁴⁶ Por exemplo, entre os séculos XVII e XIX alguns cientistas optaram por publicar seus resultados parciais na forma de anagramas, para garantir sua prioridade em uma possível disputa futura e ao mesmo tempo evitar que possam ser superados por rivais, que poderiam partir dos resultados parciais e chegar antes a eventuais descobertas importantes (Merton 1957). Por mais que todas essas práticas sejam condenadas pela comunidade científica, estudos detalhados das biografias dos cientistas mostram que essas práticas sempre foram muito comuns. Quando eventualmente algum cientista escondesse resultados parciais, que poderiam ajudar o avanço das pesquisas num processo colaborativo, este seria malvisto segundo as normas tácitas, estabelecidas informalmente na comunidade científica.

⁴⁷ O termo redshift, oriundo do inglês, quer dizer “desvio espectral para o vermelho”. Já blueshift quer dizer “desvio espectral para o azul”.

⁴⁸ Para mais detalhes sobre a descoberta da radiação de fundo de micro-ondas, ver a narrativa histórica criada por Blair Williams e colaboradores, disponível em <http://www.storybehindthescience.org/pdf/cmb.pdf>, além de Henrique 2011, p.107.

3. Descoberta ou inovação teórica. Exemplos: as órbitas elípticas dos planetas, propostas por Johannes Kepler (1571-1630); a previsão da existência de Netuno a partir de perturbações na órbita de Urano, feita pelo matemático francês Urbain Le Verrier⁴⁹.

Para Thomas Kuhn, o modo como normalmente se usa o termo “descoberta” induz a erros sobre como ocorre o processo de criação de teorias científicas. Quando se diz que alguém descobriu algo em certa data temos a impressão de um acontecimento pontual e individual, mas isso raramente acontece na história da ciência. Em geral, a descoberta de um novo fenômeno é um processo complexo, que envolve reconhecer tanto *que* algo ocorre quanto *o que* ele é:

Muitas descobertas científicas, em particular as mais interessantes e importantes, não são o tipo de evento sobre os quais é apropriado perguntar “onde?” e, sobretudo, “quem?”. Mesmo que todos os dados concebíveis estivessem à disposição, tais questões com frequência não teriam resposta. O fato de persistirmos em fazê-las é, todavia, sintomático de uma inadequação fundamental em nossa imagem da descoberta (Kuhn 1977, p.184).

Em um artigo de 1962, republicado posteriormente em 1977 no livro *A tensão essencial*, Kuhn apresentou três episódios históricos normalmente tidos como descobertas pontuais: a do oxigênio (normalmente atribuída a Priestley, Scheele e Lavoisier), do planeta Urano (atribuída a William Herschel) e dos raios-X (atribuída a Röntgen). A partir de um estudo histórico mais detalhado, Kuhn argumentou que os três “começaram com o isolamento experimental ou observacional de uma anomalia, ou seja, com a insuficiência da natureza para confirmar integralmente as expectativas” (Kuhn 1977, p. 191). Porém, em seguida é preciso reorganizar essa anomalia segundo uma nova visão. Para isso são necessárias novas observações e reflexões contínuas, ensinando outros cientistas a ver as mesmas situações com outros olhos, o que quase sempre leva um período mais ou menos prolongado.

As descobertas têm uma história íntima que lhes é própria, assim como uma pré-história e uma pós-história. Além disso, nesse intervalo de história íntima, delimitado um tanto vagamente, não há um momento ou um dia específico que o historiador pode identificar como o ponto preciso em que a descoberta foi realizada, por mais completos que sejam seus dados. Em geral, quando vários indivíduos estão envolvidos, é impossível até mesmo identificar qualquer um deles, inequivocamente como o descobridor (Kuhn 1977, p.192).

⁴⁹ Para mais detalhes sobre a descoberta de Netuno, ver a narrativa histórica criada por Blair Williams e colaboradores, disponível em <http://www.storybehindthescience.org/pdf/neptune.pdf>.

Para os historiadores da ciência Helge Kragh e Robert Smith (2003), a descoberta da expansão do universo é um episódio histórico em que esse modelo de Kuhn se aplica adequadamente. Hubble não descobriu a expansão do universo ao publicar seu famoso artigo de 1929. Para entender melhor como se deu esse complexo processo de criação, consolidação e aceitação da teoria da expansão do universo, vamos analisar as contribuições de diversos físicos e astrônomos, assim como os argumentos que têm sido feitos por historiadores e cientistas interessados em discutir a questão “quem descobriu a expansão do universo?”.

3.1.2 Vesto Slipher

Desde o início do século XX, Vesto M. Slipher (1875-1969), astrônomo estadunidense que trabalhava no Observatório Lowell, em Flagstaff, Arizona, estudava o espectro da luz vinda de estrelas e nebulosas, que eram corpos cuja natureza estava sendo investigada. Enquanto alguns achavam que as nebulosas seriam corpos relativamente pequenos, fazendo parte do conjunto local de estrelas, outros consideravam que elas seriam conjuntos maiores de estrelas, o que hoje chamamos de “galáxia”⁵⁰.

O diretor do observatório, Percival Lowell (1855-1916) estava interessado em estudos sobre o Sistema Solar, liderando os pesquisadores na busca por observações para explicar a origem dos planetas. Para isso, Slipher vinha observando a nebulosa de Andrômeda desde 1909 (Smith 1979, p.133).

Em 1913 Slipher observou algo que considerou inesperado: o desvio espectral da nebulosa de Andrômeda era muito grande. As linhas espectrais referentes a cada elemento químico do espectro de Andrômeda tinham um valor de comprimento de onda diferente do valor para essas linhas espectrais quando medidos na Terra. O desvio espectral para o vermelho ou para o azul é definido pela seguinte fórmula:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

onde λ é o comprimento de onda referente à linha espectral observada no corpo astronômico, e λ_0 é o comprimento de onda desta mesma linha espectral observada em um laboratório, no nosso planeta.

Em 1868 o astrônomo inglês William Huggins (1824-1910) havia observado o desvio espectral da estrela Sirius. Interpretando esse desvio espectral como devido ao efeito Doppler,

⁵⁰ Para mais detalhes sobre a história do conceito de galáxia ver Smith 1982. Há também pesquisas sobre sua importância no ensino de ciências (Bagdonas et al. 2009, Andrade e Bagdonas 2010).

isso implicaria que a estrela estaria se afastando da Terra. Para baixas velocidades, é possível mostrar que os desvios espectrais para o vermelho (z) estão relacionados linearmente com a velocidade de recessão dos corpos (v): $z = v/c$. Assim, com base no desvio espectral medido por Huggins, era possível interpretar que a estrela Sirius se afasta da Terra com uma velocidade de cerca de 50 km/s (Smith 1982, p.17).

Diversos astrônomos já haviam observado desvios espectrais de corpos celestes, quando Slipher decidiu investigar o espectro de Andrômeda. Em 1913 ele publicou o artigo “A velocidade radial da nebulosa de Andrômeda”, no qual interpretou o desvio espectral para o azul medido para Andrômeda como devido ao efeito Doppler. A nebulosa de Andrômeda estaria se aproximando do sistema solar com uma velocidade de aproximadamente 300 km/s, a maior velocidade já observada para corpos astronômicos até então. Esse valor tão alto, muito maior do que as velocidades medidas até então para estrelas, animou Slipher, que considerou promissor continuar buscando desvios espectrais para outras nebulosas (Slipher 1913).

Alguns astrônomos se entusiasmaram com seu trabalho. John A. Miller disse: “Parece que você encontrou uma mina de ouro e que trabalhando com cuidado pode fazer uma contribuição tão significativa quanto a feita por Kepler, mas de um modo completamente diferente” (Miller 1913 *apud* Smith 1979, p.135). Já outros astrônomos permaneceram céticos, imaginando que velocidades tão altas de aproximação das nebulosas mostrariam que havia algum problema, seja nas observações, seja na interpretação das mesmas como causadas pelo efeito Doppler.

Em 1915, o jovem Edwin Hubble passou a se dedicar à astronomia, devido ao seu gosto pessoal e também, possivelmente, à inspiração obtida ao ver o reconhecimento que Slipher recebeu por suas descobertas (Christianson 1995, p.97). No mesmo ano, Slipher apresentou a medida de velocidades radiais de 25 nebulosas, sendo quase todas devido a desvios espectrais para o vermelho, apresentadas na figura abaixo:

TABLE I.
RADIAL VELOCITIES OF TWENTY-FIVE SPIRAL NEBULÆ.

Nebula.	Vel.	Nebula.	Vel.
N.G.C. 221	— 300 km.	N.G.C. 4526	+ 580 km.
224	— 300	4565	+1100
598	— 260	4594	+1100
1023	+ 300	4649	+1090
1068	+1100	4736	+ 290
2683	+ 400	4826	+ 150
3031	— 30	5005	+ 900
3115	+ 600	5055	+ 450
3379	+ 780	5194	+ 270
3521	+ 730	5236	+ 500
3623	+ 800	5866	+ 650
3627	+ 650	7331	+ 500
4258	+ 500		

Figura 2: Velocidades radiais (em km/s) medidas por Slipher até 1917.⁵¹

Supondo que nosso planeta não se encontra num local privilegiado do cosmo, é plausível pensar que ao observar os espectros de tais nebulosas, algumas delas se afastariam, enquanto outras se aproximariam. É de se esperar também que a distribuição angular de nebulosas que se afastam e que se aproximam seria isotrópica, isto é, igual em todas as direções. Entretanto não foi isso que Slipher observou. Viu que somente quatro corpos (atualmente conhecidos como NGC 221, 224, 598 e 3031) tinham desvios para o azul e os demais tinham desvios para o vermelho.

Em 1924 o inglês Herbert Dingle publicou o livro “Astrofísica moderna”, em que apresentou algumas teorias atuais sobre a origem das nebulosas e aglomerados globulares, criadas pelo astrônomo inglês James Jeans. Dingle tentou explicar o afastamento das nebulosas evidenciado pelos desvios espectrais medidos por Slipher⁵², mas considerava que por enquanto só havia especulações teóricas, sem nenhuma observação decisiva para embasá-las (Dingle 1924, p.399).

Para Fred Hoyle, um importante cosmólogo britânico, Slipher deveria ser considerado o descobridor da expansão do universo. Como a organização do observatório Lowell era mais fraca do que a de Mount Wilson, isso fez com que ele perdesse a disputa de prioridade com Hubble (Hoyle 1996 *apud* Kragh e Smith 2003, p.144).

⁵¹Fonte: Slipher (1917, p.405).NGC 224 é a nebulosa de Andrômeda, que atualmente é denominada “galáxia de Andrômeda”, ou M31.

⁵² Para Dingle, os desvios espectrais poderiam indicar uma velocidade de recessão causada por um princípio ainda desconhecido de repulsão, ou velocidade causada pela inércia, resultante de um movimento ocorrido durante os estágios primordiais de formação das nebulosas espirais. Os desvios espectrais para o vermelho seriam então “the legacy of a huge disruption, in the childhood of matter, of a single parent mass” (Dingle 1924, p.399). Porém, segundo Kragh (2008, p.9). Dingle não levou essa sugestão a sério e em todo o resto do livro mostra uma visão de universo eterno.

Para o astrônomo Laird A. Thompson “para permanecer viva, a comunidade de cosmologia precisa reconhecer e premiar com citações apropriadas os pioneiros que levaram o campo de pesquisa adiante. Vesto Slipher está nesse grupo e suas contribuições precisam ser reconhecidas” (Thompson 2011, p.4).

O físico do estado sólido irlandês Cormac O’Raifeartaigh considera que a relação velocidade-distância, hoje chamada “lei de Hubble”, deveria ser chamada lei de Hubble-Slipher. O próprio Hubble teria escrito em uma carta a de Sitter: “Eu obtive uma relação velocidade/distância para as nebulosas utilizando suas velocidades e as minhas distâncias” (Hubble 1953 *apud* Raifeartaigh 2012, p.8). Segundo Raifeartaigh, é curioso notar que posteriormente as medidas de distância de Hubble passaram por diversas revisões, como a feita por Baade em 1952 (Smith 1982, p.160; Kragh 1996, p.274), enquanto as medidas de desvios espectrais de Slipher permaneceram sem grandes alterações ou revisões ao longo do século.

Porém, como veremos adiante, a expansão do universo não surgiu apenas de estudos de redshift. Para sua consolidação, também foram importantes estudos teóricos sobre cosmologia relativística e estudos observacionais sobre distâncias das nebulosas.

3.1.3 Willem de Sitter

Com a criação da teoria da relatividade geral no fim da década de 1910 surgiram os primeiros modelos cosmológicos relativísticos, sendo o primeiro deles criado por Albert Einstein (1879-1955) em 1917. Ele explorou os resultados das equações de campo para o universo como um todo. Nessa época, o espaço era normalmente visto como estático. Porém a solução das equações de campo encontrada por Einstein era instável: todos os corpos teriam a tendência de se juntar em um ponto só, criando um colapso gravitacional do universo. Para resolver esse problema, Einstein introduziu em suas equações um fator chamado *constante cosmológica*, que representa um tipo de repulsão, equilibrando a atração gravitacional e permitindo a existência de um universo estático, em equilíbrio (Einstein 1917, Soares 2012).

Como em 1917 estava acontecendo a Primeira Guerra Mundial, a relatividade geral não ficou muito conhecida fora da Alemanha. No entanto, uma vez que a Holanda se manteve neutra durante a guerra, Willem de Sitter (1872-1934), um matemático, físico e astrônomo holandês, pode manter contato com Einstein e agiu como um diplomata, divulgando a relatividade geral para os países de língua inglesa. Além de ser holandês, de Sitter tinha prestígio na comunidade científica da época e fazia parte da *Royal Society de Londres* (Kragh 1996, p.11).

Albert Einstein publicou seu famoso modelo de universo com a constante cosmológica em 1917, acreditando que sua solução seria a única possível. Contudo, no mesmo ano de Sitter publicou outra solução para as equações de Einstein (de Sitter 1917).

Como Einstein, de Sitter supôs que o universo seria *estático* e *isotrópico*, ou seja, igual em todas as direções observadas. Então encontrou três soluções para as equações de campo gravitacional da relatividade geral (de Sitter 1917, p.32).

1. A primeira, que denominou “solução A”, era a já encontrada por Einstein (1917), com $\lambda = 1/R^2$, onde R é o raio de curvatura do universo.

2. A segunda, que denominou “solução B”, com densidade nula e constante cosmológica $\lambda = 3/R^2$, hoje é conhecida como modelo de universo de W. de Sitter.

3. A terceira, a “solução C”, com densidade e constante cosmológica nulas.

De Sitter tinha amplo conhecimento sobre astronomia e logo se interessou em analisar os modelos cosmológicos relativísticos com base em observações astronômicas. Ele estudou um sistema composto por uma partícula orbitando uma massa central (por exemplo, uma estrela), nos modelos A e B, fez estimativas para o raio de curvatura do espaço, com base na densidade e paralaxe das estrelas, obtendo valores da ordem de um bilhão de unidades astronômicas (Herrera 2002, p.64)

A característica mais marcante do modelo de W. de Sitter, que fez com que os astrônomos se interessassem por cosmologia, é que em seu modelo, por mais que a densidade seja nula, “se houver mais de uma partícula material elas não poderiam ficar em repouso, e se o universo inteiro estivesse preenchido homogeneamente com matéria uma partícula não poderia estar em repouso sem pressão interna ou atrito” (de Sitter 1917, p.48, tradução livre).

Portanto, no modelo de W. de Sitter, quando corpos de prova estivessem presentes, eles se espalhariam com uma velocidade proporcional à distância. Esse fenômeno ficou conhecido como *efeito de Sitter*. No entanto, ele não interpretou esse efeito como se os corpos estivessem *realmente* se afastando por causa da expansão do espaço (Kragh 1996, p.12).

Para ele isso era um resultado particular da métrica do espaço-tempo descrevendo esse tipo de universo. Ele escreveu: “as linhas espectrais de várias nebulosas distantes devem, portanto, ser sistematicamente desviadas em direção ao vermelho, dando origem a uma velocidade radial positiva” (de Sitter 1917, p.26, tradução livre). Trata-se de uma solução estática, em que o significado físico do desvio espectral era bastante obscuro (Blanchard 2001, p.238). Willem de Sitter também manteve tanto a constante cosmológica, quanto a imposição de que o universo deveria ser estático. Apesar do estranho “efeito de Sitter” indicar

que as galáxias podiam estar se afastando, ele utilizou o termo “velocidade fictícia”, indicando que não adotava uma concepção realista para esse afastamento.

Em 1923, Arthur Eddington divulgou no livro *A teoria matemática da relatividade* (1923, p.161) as observações de velocidades radiais de nebulosas feitas por Slipher. Considerava um dos problemas mais interessantes da astronomia contemporânea entender a causa das altas velocidades radiais medidas, além da explicação de porque havia muito mais velocidades de afastamento do que de aproximação. Ele sugeriu que o modelo de W. de Sitter deveria ser estudado como forma de explicar esse fenômeno.

RADIAL VELOCITIES OF SPIRAL NEBULAE							
+ indicates receding, - approaching							
N. G. C.	R. A.	Dec.	Rad. Vel.	N. G. C.	R. A.	Dec.	Rad. Vel.
	<i>h m</i>	<i>° ' "</i>	km. per sec.		<i>h m</i>	<i>° ' "</i>	km. per sec.
221	0 38	+40 26	- 300	4151*	12 6	+39 51	+ 980
224*	0 38	+40 50	- 300	4214	12 12	+36 46	+ 300
278†	0 47	+47 7	+ 650	4258	12 15	+47 45	+ 500
404	1 5	+35 17	- 25	4382†	12 21	+18 38	+ 500
584†	1 27	- 7 17	+1800	4449	12 24	+44 32	+ 200
598*	1 29	+30 15	- 260	4472	12 25	+ 8 27	+ 850
936	2 24	- 1 31	+1300	4486†	12 27	+12 50	+ 800
1023	2 35	+38 43	+ 300	4526	12 30	+ 8 9	+ 580
1068*	2 39	- 0 21	+1120	4565†	12 32	+26 26	+1100
2683	8 48	+33 43	+ 400	4594*	12 36	-11 11	+1100
2841†	9 16	+51 19	+ 600	4649	12 40	+12 0	+1090
3031	9 49	+69 27	- 30	4736	12 47	+41 33	+ 290
3034	9 49	+70 5	+ 290	4826	12 53	+22 7	+ 150
3115†	10 1	- 7 20	+ 600	5005	13 7	+37 29	+ 900
3368	10 42	+12 14	+ 940	5055	13 12	+42 37	+ 450
3379*	10 43	+13 0	+ 780	5194	13 26	+47 36	+ 270
3489†	10 56	+14 20	+ 600	5195†	13 27	+47 41	+ 240
3521	11 2	+ 0 24	+ 730	5236†	13 32	-29 27	+ 500
3623	11 15	+13 32	+ 800	5866	15 4	+56 4	+ 650
3627	11 16	+13 26	+ 650	7331	22 33	+33 23	+ 500
4111†	12 3	+43 31	+ 800				

Figura 3: Velocidades radiais (em km/s) medidas por Slipher até 1922⁵³

Analisando a figura acima vemos que Slipher mediu o desvio do espectro de 41 corpos cuja distância era conhecida, tendo encontrado 36 desvios espectrais para o vermelho (positivos) e somente 5 desvios para o azul (negativos), de corpos mais próximos.

Eddington também discutiu o “efeito de Sitter” (Eddington 1923, p.161). Mostrou que uma partícula observada a uma distância r do observador pareceria afastar-se com o tempo, com uma aceleração dada por:

$$a = \frac{\Lambda c^2 r}{3}$$

Nessa equação c é a velocidade da luz e Λ é a constante cosmológica. Para Eddington o modelo de W. de Sitter poderia dar uma explicação para o movimento de recessão das galáxias observado por Slipher, já que em seu modelo havia essa tendência de espalhamento de partículas e o desvio espectral para o vermelho.

⁵³Fonte: Eddington (1923, p.162).

Posteriormente, foi possível demonstrar que o modelo criado por de Sitter pode ser visto não só como estático, mas também como dinâmico, dependendo da escolha do sistema de coordenadas (Ellis 1990, p.100). Atualmente, a solução de W. de Sitter é conhecida entre cosmólogos como um modelo em expansão cujo fator de escala aumenta exponencialmente.

Por isso, o astrofísico Martin Harwit considera que de Sitter foi o descobridor da expansão do universo, por ter achado esse modelo teoricamente e ter apresentado os desvios espectrais de Slipher como suporte a sua proposta (Harwit 1981 *apud* Kragh e Smith 2003, p.145).

No entanto, concordamos com os historiadores da ciência que consideram *anacrônico* sustentar que de Sitter descobriu a expansão do universo (Herrera 2002, p.68, Kragh e Smith 2003, p.145). O próprio de Sitter considerava seu modelo estático e não utilizou os desvios espectrais para o vermelho para explicar a expansão *do espaço*, que é diferente do movimento de corpos *no espaço*.

3.1.4 Cornelius Lanczos e Hermann Weyl

A partir de 1920, vários autores fizeram investigações teóricas dos modelos cosmológicos relativísticos, analisando as soluções de Einstein (A) e de W. de Sitter (B), investigando principalmente o chamado “efeito de Sitter”.

O matemático húngaro Cornelius Lanczos (1893-1974) e o alemão Hermann Weyl (1885-1955) publicaram artigos apresentando o modelo cosmológico de W. de Sitter de modo matematicamente diferente em 1922 e 1923, respectivamente. Segundo Lanczos “é interessante observar como a mesma geometria possa receber interpretações físicas bem diferentes dependendo da escolha do sistema de coordenadas” (Lanczos 1922 *apud* North 1965, p.112). O alemão considerou que sua solução seria melhor que a encontrada por Lanczos por não conter um começo no tempo, o que ficou conhecido como “singularidade” (Kragh 1996, p.26). Lemaître em 1925 e Robertson em 1928 fariam a mesma reinterpretação do modelo de W. de Sitter, mudando o sistema de coordenadas. Nessa reinterpretação do modelo de W. de Sitter, Weyl chegou à expressão $z = \tan(r/R)$, que para pequenos valores pode ser aproximada para $z \sim r/R$, ou seja, uma relação linear entre o desvio espectral para o vermelho (z) e a distância (r) (Smith 1982, p.179).

Hermann Weyl também fez outra importante contribuição à cosmologia relativística: o chamado *princípio de Weyl*. Esse princípio teve uma formulação inicial feita por Weyl em

1923 e foi sendo discutido e reformulado até a década seguinte⁵⁴. Em 1933, Milne e Robertson discutiram a relação entre o chamado *princípio Cosmológico* e o *princípio de Weyl*.

Milne formulou o *princípio Cosmológico*⁵⁵ como uma extensão do primeiro postulado da teoria da relatividade restrita, segundo o qual as leis da física devem ser as mesmas para todos os observadores em referenciais inerciais.

Não só as leis da natureza, mas também todos os eventos que ocorrem na natureza, o próprio universo, devem parecer o mesmo para todos os observadores, não importa em que lugar estejam, dado que seus referenciais espaciais e suas escalas temporais estejam orientados da mesma maneira em relação aos eventos observados (Milne 1933, p.4 citado em Kragh 1996, p.62).

Na revisão da cosmologia relativística publicada por Robertson (1933), o *princípio de Weyl* foi formulado em uma nova versão que se tornou mais conhecida: “as linhas de mundo das galáxias, ou ‘partículas fundamentais’, formam (em média) uma família de geodésicas sem interseções que preenchem o espaço-tempo convergindo em direção ao passado” (Rugh e Zinkernagel 2011, p.2, tradução livre). Robertson admitiu assumir tanto o *princípio de Weyl* quanto o *princípio Cosmológico*. Nas décadas seguintes o primeiro deles foi considerado obsoleto e foi incorporado no segundo, deixando de ser citado (Ibidem, p.5). De qualquer maneira, *princípio de Weyl* contribuiu para o surgimento de conceitos importantes para a cosmologia contemporânea, como as coordenadas comóveis e a métrica de Robertson-Walker (Harrison 1981, p.227, North 1965 p.100, Kragh 1996, p.184).

Nesse período, durante a República de Weimar, logo após a derrota alemã na Primeira Guerra Mundial, existia um ambiente intelectualmente hostil às ciências naturais. A “tese de Forman”, apresentada brevemente na seção 2.5, sustenta que alguns físicos e matemáticos alemães se esforçaram para se adaptar nesse ambiente hostil, questionando ideias como a causalidade, a partir de estudos da mecânica quântica. Hermann Weyl e outros matemáticos alemães se sentiam inseguros em relação às bases sobre as quais se fundamentava sua disciplina (Forman 1971, p.150). No prefácio do livro *Espaço, Tempo, Matéria*, o matemático alemão escreveu: “olhar para cima a partir das ruínas da opressão em direção às estrelas é

⁵⁴ Em 1926, uma formulação do princípio foi a seguinte: “as linhas de mundo das estrelas formam um conjunto que surge em uma dada direção a partir do passado infinitamente distante e se espalha pelo hiperboloide na direção do futuro, tornando-se cada vez mais largo (Weyl 1926 *apud* Rugh e Zinkernagel 2011, p.3, tradução livre). Consultamos uma versão preliminar desta publicação, com numeração das páginas de 1 a 14, disponível em <http://philsci-archive.pitt.edu/5451/1/WeylPrincipleJune2010.pdf>, acesso em junho de 2013.

⁵⁵ O *Princípio Cosmológico* também teve diversas formulações ao longo da história, mas nos livros mais recentes é relacionado à isotropia e homogeneidade do universo. Para algumas destas formulações, ver Henrique 2011, p.95.

reconhecer o mundo indestrutível das leis, fortalecendo a fé na razão, é realizar a harmonia dos mundos, que transforma todos os fenômenos e que nunca foi, nem nunca será perturbada” (Weyl 1919 *apud* Harrisson 1981, p.227).

Não encontramos nenhum defensor nem de Weyl nem de Lanczos como descobridores da expansão do universo, mas talvez se possa encontrar algum consultando os livros alemães e húngaros. De qualquer forma, eles eram matemáticos e não defenderam a expansão do universo explicitamente. Como de Sitter, pareciam aceitar que o universo é estático, investigando possibilidades matemáticas de seu modelo a partir de mudanças de coordenadas. Ambos fizeram contribuições, ainda que pequenas e frequentemente esquecidas, nos debates sobre a cosmologia relativística.

3.1.5 Carl Wirtz

Carl Wilhelm Wirtz (1876-1939) foi um astrônomo alemão, que trabalhava no observatório de Estrasburgo, na Alsácia, região que pertencia à Alemanha, mas foi perdida para a França após a Primeira Guerra Mundial. Depois disso, Carl Wirtz foi trabalhar no observatório de Kiel. Em 1918, logo após servir na Primeira Guerra no exército alemão, publicou um estudo de desvios espectrais de nebulosas, como parte de investigações sobre a possibilidade de se determinar o movimento do Sol em relação a outras estrelas.

Esse tipo de medida poderia contribuir para o debate que ocorria entre astrônomos sobre a natureza das nebulosas. Se o movimento solar estimado em relação às nebulosas fosse diferente do valor encontrado para as medidas realizadas com estrelas, então se confirmaria uma evidência de que as nebulosas seriam sistemas independentes das estrelas (Smith 1982, p.166). Além de Wirtz, o estadunidense G. Padock e o sueco Knut Lundmark realizaram investigações semelhantes envolvendo o chamado “termo K”, que seria dado pelo movimento do Sol em relação às nebulosas. Porém, Wirtz foi relutante em interpretar o termo K como um movimento das nebulosas de afastamento em relação ao Sol (North 1965, p.143).

Os artigos de Wirtz foram praticamente ignorados, talvez porque ele tenha usado movimentos próprios de espirais sem enfatizar a incerteza das medidas. Além disso, o boicote à ciência alemã proposto por muitos cientistas franceses, ingleses e estadunidenses também pode ter feito com que Wirtz jamais tenha se tornado muito famoso (Smith 1979, p.137).

Em 1922 ele publicou um artigo em que a relação diretamente proporcional entre velocidade e magnitude é investigada. Com base nos dados que ele apresentou, foi possível criar um diagrama semelhante ao que seria feito por Edwin Hubble 7 anos depois, após o

astrônomo estadunidense empregar novos métodos para estimar distâncias das nebulosas a partir de suas magnitudes⁵⁶:

Figura 4: Relação velocidade – magnitude encontrada por Wirtz⁵⁷

Em 1924 Wirtz publicou outro artigo pioneiro relacionando o modelo de W. de Sitter e a velocidade radial das nebulosas (North 1965, p.143; Seitter e Duerbeck 1990, p.374, Shaviv 2011, p.6). Ele defendeu que “sem dúvida as velocidades radiais positivas das nebulosas espirais crescem significativamente com o aumento da distância” (Wirtz 1924 *apud* Van den Bergh 2011b, p.152). A relação não seria linear, mas sim logarítmica, na forma: $\text{velocidade} = a + b \cdot \log(\text{distância})$, onde a e b são constantes.

Seus artigos foram praticamente ignorados pela maioria da comunidade científica, e até hoje quase nunca são mencionados nas histórias sobre a teoria da expansão do universo. Sua contribuição foi esquecida até mesmo em obras detalhadas e completas, como no estudo sobre a história das medições de velocidades radiais de nebulosas, publicado na renomada revista *Isis* pelo historiador Norriss S. Hetherington (1971), ou no extenso livro *Cosmologia e controvérsia* (Kragh 1996).

Em 1936, o próprio Wirtz defendeu sua contribuição à descoberta da relação de proporcionalidade entre velocidades radiais de nebulosas e sua distância, argumentando que ele teria sido o primeiro a reconhecer esse processo em 1921 (Wirtz 1936). No ano seguinte, ele perdeu direito de lecionar por razões políticas e morreu em 1939, pouco antes do começo da Segunda Guerra Mundial (Seitter e Duerbeck 1990, p.367).

⁵⁶ Estes métodos serão apresentados na seção 3.1.9, quando apresentaremos as contribuições de Lemaître para a teoria da expansão do universo.

⁵⁷ Wirtz, C. "Notiz zur Radialbewegung der Spiralnebel." *Astronomische Nachrichten* 216.24 (1922): 451-452 *apud* Seitter e Duerbeck 1990, p.375.

O “efeito de Sitter” tornou-se muito conhecido ao longo da década de 1920, sendo estudado por diversos astrônomos. Além de Carl Wirtz, Ludwik Silberstein, os suecos Knut Lundmark e Gustav Strömberg buscaram medir a curvatura do espaço a partir de desvios espectrais de estrelas, aglomerados globulares e/ou nebulosas espirais.

3.1.6 Ludwik Silberstein

O físico Ludwik Silberstein (1872-1948) nasceu em Varsóvia, quando esta cidade ainda fazia parte do Império Russo. Ele estudou e trabalhou em diversos países (Itália, Alemanha e Inglaterra) até mudar-se para os EUA em 1920. Foi inicialmente cético em relação à confirmação da teoria da relatividade geral a partir da observação do eclipse de Sobral e na Ilha do Príncipe, em 1919 (Flin e Duerbeck 2006, p.1090). Já em 1924 mostrou uma visão mais favorável à teoria da relatividade geral em um livro sobre a teoria da relatividade (Silberstein 1924a)

Nos EUA, havia diversos astrônomos investigando desvios espectrais de corpos astronômicos. Em 1911, William Wallace Campbell (1862-1938), que foi diretor do Observatório Lick (na Califórnia), especulou sobre a possibilidade de relacionar suas velocidades radiais ao estágio evolutivo da nebulosa (Hetherington 1971, p.309). Já Henry Norris Russell (1877-1957), que trabalhava no observatório de Princeton (New Jersey), observou o desvio spectral para o vermelho em aglomerados globulares e sugeriu que ele pudesse ser relacionado ao chamado *efeito de Sitter* (Smith 1982, p.176).

Harlow Shapley (1885-1972), que trabalhou no observatório de Mount Wilson, ficou famoso por seus debates com os defensores da teoria dos universos-ilha: a hipótese antiga de que as nebulosas seriam outras galáxias, conjuntos de estrelas muito mais distantes do que as estrelas de nossa vizinhança cósmica. Ele foi um dos principais estudiosos de aglomerados globulares e até o começo da década de 1920 já havia determinado suas distâncias a partir de métodos mais convincentes do que os até então disponíveis para medir distâncias de nebulosas espirais (Ibidem, p.175).

Os estudos de Silberstein envolvendo os desvios espectrais dos aglomerados globulares foram encorajados inicialmente por Shapley (Smith 1979, p.144). Ele encontrou uma relação linear entre os desvios espectrais para o vermelho (redshift) de aglomerados globulares e sua distância do Sol, dada pela relação $z = \pm r/R$ (Silberstein 1924 b), onde z é o desvio spectral, r a distância do aglomerado e R o raio de curvatura do espaço-tempo.

Em 1924 Silberstein publicou o livro *A teoria da relatividade*, e dois artigos em periódicos (Silberstein 1924 a, b, c) em que apresentou diagramas do tipo

velocidade-distância para aglomerados globulares, que são corpos relativamente próximos, com distâncias de até 100 mil anos-luz (ou 30 mil parsecs).

FIG. 1.—Radial velocities and distances of eleven globular clusters and the Magellanic Clouds.

Figura 5: Relação distância – velocidade apresentada por Silberstein⁵⁸ (1924 c).

Silberstein fez uma das contribuições mais importantes para os estudos relacionando o efeito de Sitter e as nebulosas, atraindo a atenção de muitos astrônomos para o assunto. Porém, ele escreveu num estilo polêmico, por exemplo, ao criticar o físico alemão Hermann Weyl com palavras fortes, dizendo que ele teria feito “chutes” e assumido “gratuitamente” princípios em suas teses cosmológicas. Alguns criticaram Silberstein, acusando-o de ter assumido o mesmo “princípio de Weyl” que ele havia criticado (North 1965, p.102).

Porém, as principais críticas contra Silberstein vieram por causa da seleção dos aglomerados globulares que fez para defender uma relação linear entre redshift e distância. Silberstein exclui de sua análise alguns dos aglomerados cujas distâncias e velocidades eram conhecidas porque elas seriam “pequenas de um modo suspeito”, ou seja, muito menores do que os valores previstos segundo a relação velocidade-distância (Hetherington 1971, p.310).

Diversos astrônomos criticaram essa exclusão dos dados que não se encaixavam em sua teoria, de forma que relações entre redshift e distância passaram a ser vistas com desconfiança pela comunidade de astrônomos (Kragh 1996, p.15; Shaviv 2012, p.291). O sueco Lundmark (1924, p.750) considerou “lamentável” que das 16 velocidades de aglomerados globulares já publicadas, Silberstein tenha arbitrariamente selecionado apenas 7 por serem maiores que 100

⁵⁸Fonte: Silberstein (1924 c).

km/s. Para Lundmark parecia evidente que não há boa razão para se excluir os aglomerados que não fornecem um valor constante para a curvatura do espaço. Utilizando todos os dados disponíveis, Lundmark argumentou que não se pode chegar a nenhuma relação linear entre redshift e distância para aglomerados globulares. Seu compatriota Gustav Strömberg (1882 – 1962) publicou um estudo revisando as medidas de desvios espectrais e reafirmou a posição de Lundmark (Strömberg 1925). Até mesmo Harlow Shapley, que inicialmente havia encorajado os estudos de Silberstein, disse ao astrônomo britânico Arthur Eddington que estava desencorajando o entusiasmo de alguns de seus estudantes pelo “efeito Silberstein” (Shapley 1924 *apud* Smith 1979, p.144).

Com tantas críticas a seu trabalho, não é de se espantar que não tenhamos encontrado ninguém que defenda Silberstein como o descobridor da expansão do universo. Contudo, sem dúvida seus erros foram importantes para a condução dos debates, atraindo a atenção de mais pessoas para o assunto. Podemos dizer que a hipótese da proporcionalidade entre velocidade e distância já havia sido claramente formulada e estava sendo investigada por diversos astrônomos, mas as evidências ainda não eram conclusivas. Como veremos adiante, Georges Lemaître foi inspirado pela proposta de Silberstein, obtendo mais sucesso do que ele na empreitada de relacionar desvios espectrais ao modelo de W. de Sitter.

Vamos agora analisar com maior detalhe as contribuições de Lundmark para esse debate, antes de passar a analisar as obras de Friedmann e Lemaître.

3.1.7 Knut Lundmark

Knut Lundmark (1889-1958) estudou astronomia na universidade de Uppsala, na Suécia, até que veio para os EUA em 1920, onde estudou por dois anos tanto no observatório de Mount Wilson quanto no Observatório Lick, inserindo-se nos debates sobre a natureza das nebulosas e se colocando como um defensor da teoria dos universos-ilha (Smith 1982, p.105).

Em seu artigo “A determinação da curvatura do espaço-tempo no universo de W. de Sitter”, o astrônomo sueco criticou o estudo de Silberstein severamente. Com isso, contribuiu para criar um clima de desconfiança na comunidade de astrônomos sobre estudos envolvendo relações lineares entre o desvio espectral para o vermelho e distância de corpos astronômicos. Primeiramente, antes de discutir o valor encontrado para o raio de curvatura do universo, Lundmark levantou uma questão interessante: os grandes desvios espectrais do tipo Doppler representam movimentos radiais ou teriam outra causa? (Lundmark 1924, p.748).

Ele nos lembra que o Efeito Doppler só foi testado empiricamente em laboratório para velocidades baixas, menores que 1 km/s. A partir de medidas de velocidades de órbitas de

planetas, cometas e outros corpos mais próximos, verificou-se a adequação da fórmula de Doppler para velocidades de até 100 km/s. Para velocidades ainda maiores, da ordem de centenas de km/s, como a estimada por Slipher para a nebulosa de Andrômeda, não se sabia se a fórmula de Doppler poderia ser aplicada adequadamente.

Atualmente, os adeptos do *modelo padrão da cosmologia* consideram que os desvios espectrais para o vermelho não são causados pelo efeito Doppler. O desvio espectral do tipo Doppler é causado pelo movimento de um corpo *no espaço*, com velocidade em relação a um referencial praticamente inercial em um universo estático. Já o desvio espectral cosmológico, atualmente, é explicado pela expansão *do próprio espaço-tempo*⁵⁹.

Porém, durante muito tempo, tanto astrônomos quanto historiadores da astronomia utilizaram expressões como “velocidade radial” ou “velocidade de recessão” assumindo implicitamente o efeito Doppler, confundindo a relação entre redshift e distância com a relação velocidade-distância (Harrison 1993).

Como já discutimos acima, Lundmark criticou a seleção de dados realizada por Silberstein, que deixou de utilizar todos os desvios espectrais disponíveis de aglomerados globulares, para defender que haveria uma relação linear redshift-distância. Utilizando todos os desvios disponíveis, o astrônomo sueco mostrou que havia pouca ou nenhuma correlação entre essas grandezas:

Figura 6: Falta de correlação velocidade-distância para aglomerados globulares⁶⁰

⁵⁹ Trataremos desta questão com maior detalhamento na seção 3.1.13.

⁶⁰ Lundmark (1924, p.753).

Após defender que não é adequado estimar a curvatura do espaço com objetos relativamente próximos, como aglomerados globulares, Lundmark decidiu investigar uma possível relação redshift-distância para corpos mais distantes, como cefeidas, novas, certos tipos de estrelas vermelhas e nebulosas espirais (Lundmark 1924, p.756). Ele não encontrou relações redshift-distância conclusivas para nenhum destes tipos de objetos astronômicos, exceto para as nebulosas espirais. O diagrama (figura 7) que ele construiu se baseou predominantemente nos desvios espectrais observados por Slipher. Já para medir as distâncias das nebulosas, Lundmark discutiu uma série de métodos diferentes, deixando claro as incertezas sobre esses valores na época.

FIG. 5.—Relation between the relative distances (the unit is the distance of the Andromeda nebula) and the measured radial velocities of spiral nebulae.

Figura 7: Relação velocidade-distância para nebulosas espirais⁶¹

Lundmark (1924, p.767) usou a medida de distância para a nebulosa de Andrômeda como padrão de medida e assumiu que “as dimensões angulares e magnitudes das nebulosas espirais não dependeriam da distância”.

Domingos Soares, autor de COSMOS, uma lista de destinatários eletrônicos que recebe notícias e tópicos de cosmologia, analisou o trabalho de Lundmark, explicando que:

Lundmark media o tamanho angular aparente da galáxia, seja θ , e comparava com o tamanho angular de M31, seja Θ . Se a distância até M31 é $dM31$, então a distância até a galáxia será $d = (\Theta/\theta)dM31$. E para as magnitudes — i.e., os fluxos luminosos aparentes — Lundmark usava a diminuição dos mesmos com o quadrado da distância. Assim ele tinha duas medidas de distância para cada galáxia.⁶²

⁶¹Lundmark (1924, p.768).

⁶² Soares, Domingos. <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/cosmos/13/cosmos1.htm>, acesso em maio de 2013. Ver também Soares e Vaz (2013) e <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/movsol/movsol.htm>

A própria natureza desses objetos ainda estava em debate. No século XVIII, William Herschel estimou a distância da nebulosa de Andrômeda em aproximadamente 20 mil anos-luz. Até 1924 vários métodos de medida distintos foram empregados, e valores muito diferentes foram encontrados, variando desde aproximadamente 20 anos-luz, até 20 milhões de anos-luz (Way 2013, p.3). Em geral os defensores da teoria dos “universos-ilha”, H. Curtis e K. Lundmark, defendiam que Andrômeda seria um objeto grande e distante, composto por diversas estrelas. Já os opositores desta teoria, como H. Shapley e A. Van Maanen defendiam que ela seria um objeto menor e próximo, um corpo que faria parte da Via Láctea (Smith 1982, Bagdonas *et al.* 2009, Shaviv 2012).

Muitos dos corpos que Lundmark apresentou como “nebulosas espirais” hoje recebem classificações diferentes: são galáxias espirais, elípticas, anãs, irregulares, lenticulares e nebulosas de reflexão. O próprio Lundmark reconheceu a precariedade de seus métodos de medida, baseados numa “hipótese um tanto grosseira, mas provavelmente a melhor que podemos utilizar no presente”, mas que mostrava “que pode haver uma relação [redshift-distância], embora não seja bem definida” (Lundmark 1924, p.767).

Quase um século após a publicação de Lundmark, o astrônomo Ian Steer, que trabalha na NASA, defendeu que os métodos de medida de distâncias de Lundmark podem ser até mais convincentes do que o próprio Lundmark supunha:

Lundmark foi a primeira pessoa a achar evidência para a expansão, em 1924 – três anos antes de Lemaître e cinco anos antes de Hubble. As distâncias extragaláticas de Lundmark eram muito mais precisas do que as de Hubble, consistentes com a taxa de expansão (a constante de Hubble) numa variação de 1% do valor aceito atualmente. No entanto, a pesquisa de Lundmark não foi reconhecida porque se baseava num método não provado (diâmetro de galáxias). Esse método foi baseado em um valor não provado da distância da Galáxia de Andrômeda, que foi derivada a partir de uma observação de uma supernova do tipo Ia observada em 1885, confundida como uma nova normal (Steer 2012, tradução livre).

Steer usou o termo “não provado” referindo-se a uma estimativa de distância da nebulosa de Andrômeda, no sentido de que essa medida era discutível na época. Porém vale ressaltar que atualmente é bem aceita a tese epistemológica de que não é possível “provar experimentalmente” nenhuma teoria. As medidas experimentais são sempre interpretadas à luz de teorias, sendo sempre possível haver discordâncias. Se utilizarmos o termo “provado” com o sentido de uma afirmação incontestável, deduzida logicamente a partir de postulados, então é razoável dizer que nenhuma teoria científica jamais foi “provada”. Apesar disso,

muitos cientistas naturais continuam utilizando o termo “provado” de uma maneira imprecisa, como sinônimo de “embasado por evidências experimentais razoavelmente confiáveis”.

Steer conclui seu artigo afirmando que “Lundmark estabeleceu a evidência observacional de que o universo está em expansão. Lemaître estabeleceu a evidência teórica. Hubble estabeleceu a prova observacional” (Steer 2012, tradução livre).

Por mais que concordemos que a contribuição de Lundmark tenha sido relevante, e que ele mereça mais espaço na história da cosmologia, já que frequentemente é esquecido, até mesmo por historiadores competentes, a defesa de prioridade de Ian Steer olha para a obra de Lundmark com os olhos do presente fazendo um grande esforço anacrônico para valorizar suas contribuições de forma a explicar o que hoje consideramos verdadeiro.

Lundmark não foi o único a estabelecer evidências observacionais para mostrar que o universo está em expansão. Como vimos, Silberstein e Wirtz também buscaram relacionar o efeito de Sitter aos desvios espectrais para o vermelho. Além disso, não se pode separar a contribuição de Lundmark como puramente observacional, nem a de Lemaître como teórica. Em ambos os casos há combinação de teoria e observação, sendo que ambos partiram de contribuições anteriores, como o modelo de W. de Sitter e as observações de desvios espectrais para o vermelho de Slipher.

Shaviv (2012, p.295) comparou os diagramas redshift-distância publicados por Lundmark em 1924 e por Hubble em 1929. Enquanto Hubble utilizou 23 nebulosas, com distâncias até aproximadamente 2 Mpc, Lundmark investigou corpos bem mais distantes, até 40 Mpc.

Figura 8: Comparação entre dados de Hubble (1929, em azul) e Lundmark (1924, em vermelho)⁶³

⁶³ Fonte: Shaviv 2012, p.295.

No entanto, Hubble foi capaz de realizar medidas mais convincentes para as distâncias dessas nebulosas, podendo argumentar com maior confiança que a relação entre redshift e distância é linear.

Domingos Soares também fez críticas semelhantes ao artigo de Ian Steer em sua coluna *Cosmos*. Ele criou um diagrama a partir das medidas de Lundmark, mas utilizando valores contemporâneos para a distância de Andrômeda:

Figura 9: Relação entre velocidade radial e distância, em termos da distância até M31, para as nebulosas espirais baseadas no artigo de Lundmark⁶⁴

As retas criadas por Domingos Soares indicam as relações lineares ($v=H_0d$) para alguns valores da constante H , hoje chamada de “constante de Hubble”. A inclinação $H_0=12$ (km/s)/Mpc corresponde ao ajuste para os dados de Lundmark (a sua Tabela III, sem as velocidades negativas). Foram escolhidos também as retas correspondentes a $H=50$ e 100 km/s / Mpc, pois as medidas contemporâneas da constante de Hubble se aproximam de $H = 70$ km/s / Mpc⁶⁵.

Tanto Lemaître quanto Hubble encontraram valores bem maiores para essa constante: Lemaître encontrou $H = 625,7$ km/s / Mpc em 1927 e Hubble 530 km/s / Mpc em 1929.

Portanto, numa reconstrução racional da história, utilizando valores atuais para a distância de Andrômeda e reinterpretando o trabalho de Lundmark de um modo completamente distinto da interpretação que ele mesmo fazia de seu modelo, podemos dizer

⁶⁴ Figura criada por Domingos Soares, em um artigo da coluna *Cosmos*, disponível em <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/cosmos/13/cosmos1.htm>, acesso em maio de 2013. O ajuste aos dados de Lundmark são forçados para uma reta passando pela origem.

⁶⁵ Por exemplo, a medida feita pelo satélite Planck, divulgada em maio de 2013, forneceu uma constante de Hubble: 67.15 ± 1.2 (km/s)/Mpc, disponível em <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/cosmos/13/cosmos6.htm>, acesso em maio de 2013..

que ele chegou a uma relação redshift-distância mais acurada do que Hubble e Lemaître, como defendeu Ian Steer.

Contudo, consideramos que essa curiosa coincidência não embasa a proposta de Ian Steer de que Lundmark teria sido o “descobridor” da relação redshift-distância. Como Wirtz, ele deu contribuições importantes investigando a possibilidade de que essa relação exista, mas seus métodos de determinação de distâncias eram baseados em muitas suposições pouco convincentes.

3.1.8 Alexander Friedmann

O cientista russo Alexander Friedmann (1888-1925) começou a estudar a teoria da relatividade geral após 1920, quando a URSS voltou a receber artigos internacionais após um longo período de isolamento causado pela Revolução Russa e pela Guerra Civil. Dois anos depois, publicou uma das primeiras grandes contribuições soviéticas à ciência: diversas soluções dinâmicas, ou seja, não estáticas, das equações da relatividade geral que não haviam sido encontradas nem por Einstein, nem por de Sitter em 1917.

Após apresentar as diversas soluções possíveis em um artigo quase puramente matemático⁶⁶, Friedmann fez algumas sugestões cautelosas sobre como se poderia, no futuro, escolher entre os diversos modelos de universo.

Nosso conhecimento é insuficiente para realizar cálculos numéricos com a intenção de decidir qual é o nosso universo. É possível que os problemas da causalidade e da força centrífuga iluminem estas questões. Podemos notar que a quantidade cosmológica λ permanece indeterminada nas nossas fórmulas, já que é uma constante arbitrária no problema. Talvez a eletrodinâmica ajude a defini-la. Se fizermos $\lambda = 0$ e $M = 5 \times 10^{21}$ massas solares, teremos um período do universo de 10 bilhões de anos. Estas visões certamente servem somente como ilustrações de nossos cálculos (Friedmann 1922, p.58, tradução livre).

Einstein foi escolhido para ser o avaliador do artigo de Friedmann, submetido em 1922 à revista alemã *Zeitschrift für Physik*. Inicialmente, Einstein escreveu uma nota para a mesma revista considerando suspeitas as soluções com raio crescente, levando em conta que elas seriam incompatíveis com suas equações de campo. Um amigo de Friedmann, Yuri Krutkov (1890-1952), esteve em Berlim e contou a seu compatriota sobre a objeção de Einstein. Então, Friedmann revisou seus cálculos e escreveu uma carta para Einstein demonstrando que não havia erros em seu artigo:

⁶⁶ Para mais detalhes sobre as soluções de Friedmann, ver Viglioni e Soares (2011), Bagdonas (2011, p.75).

Caro professor, a partir da carta de um amigo meu que agora está no exterior tive a honra de saber que você submeteu uma nota a ser impressa no 11º volume da *Zeitschrift für Physik*, na qual afirma que se forem aceitas as suposições feitas em meu artigo “Sobre a curvatura do espaço”, se concluirá, a partir das equações de campo derivadas por você, que o raio de curvatura do universo é uma quantidade independente do tempo (...) Se considerar os cálculos apresentados nesta carta corretos, por favor, tenha a gentileza de informar isso aos editores da *Zeitschrift für Physik*; talvez seja adequado você publicar uma correção de sua nota ou dar a oportunidade de que uma parte desta carta seja publicada (Friedmann 1922 *apud* Tropp *et al.* 1993, p.170).

Entre setembro de 1922 e março de 1923, Einstein estava viajando por diversos países (Suíça, França, Japão, Palestina e Espanha) e não leu a carta de Friedmann. Somente em maio de 1923, num evento em Leiden, que homenageava a aposentadoria do físico holandês H. Lorentz, Einstein encontrou-se com Yuri Krutkov (Ibidem, p.170). Eles discutiram sobre o suposto erro no artigo de 1922 e Krutkov, em uma carta para sua irmã, escreveu: “Eu ganhei de Einstein em um argumento sobre Friedmann. A honra de Petrogrado está salva” (Krutkov citado em Frenkel 2002, p.7).

Logo em seguida Einstein publicou na *Zeitschrift für Physik* uma nova nota reconhecendo seu erro:

Em uma nota anterior (Einstein 1922) eu critiquei o artigo citado (Friedmann 1922). Minha objeção era baseada, no entanto, em um erro de cálculo, como me convenceram o Sr. Krutkoff pessoalmente e o Sr. Friedmann em uma carta. Estou convencido de que os resultados do Sr. Friedmann são corretos e elucidativos. Eles mostram que além das soluções estáticas das equações de campo existem também soluções que variam no tempo com estrutura espacial simétrica (Einstein 1923, tradução livre).

Em 1987, o historiador da ciência John Stachel encontrou um manuscrito de Einstein, idêntico ao trecho citado acima que foi publicado, porém com uma frase adicional, que deve ter sido apagada por Einstein na hora de enviar o artigo: “A solução de Friedmann de um universo não estático ainda que correta matematicamente, dificilmente pode ter algum sentido físico” (Stachel 1987 *apud* Frenkel 2002, p.7, tradução livre).

A maior parte da comunidade científica ignorou os artigos de Friedmann ao longo da década de 1920. Para Helge Kragh, por mais que Friedmann tenha sido indiscutivelmente o primeiro a publicar modelos teóricos de universos em expansão, ele não deve ser considerado o “descobridor da expansão do universo”:

É tentador ler o trabalho visionário de Friedmann com olhos modernos, mas não devemos nos deixar enganar pelo conhecimento posterior e colocar muita ênfase nos termos que ele utilizou. Seu artigo é de natureza predominantemente matemática, e não física, e não houve tentativas de ligar suas descobertas com observações astronômicas. Portanto ele não se referiu a nenhuma medida de desvios espectrais para o vermelho. Isso não é surpreendente no seu artigo de 1922, mas ele se manteve silencioso sobre o problema também no artigo de 1924 (Kragh 1996, p.25)

Em 1963, comemorando o aniversário de 75 anos do nascimento de Friedmann, os físicos soviéticos Yakov Zeldovich (1914-1987) e Vladimir Fock (1898-1974) escreveram sobre suas contribuições à cosmologia (Zeldovich 1964, Fock 1964). Fock, que traduziu o artigo de Friedmann para o alemão para ser publicado em 1922, também defendeu a tese de que sua visão do universo seria predominantemente matemática: “Friedmann mais de uma vez disse que sua tarefa seria indicar as possíveis soluções das equações de Einstein, e então os físicos poderiam fazer o que quisessem com estas soluções” (Fock 1964, p.474).

Essa citação de Friedmann, apresentada por Fock, foi utilizada por Helge Kragh e Dominique Lambert para defender que Friedmann via seus modelos de universo como possibilidades matemáticas e não como uma realidade física. Eles também argumentam que Friedmann não utilizou em seus artigos termos físicos, como “energia”, “nebulosa” ou “radiação”, nem incluiu nenhuma referência aos desvios espectrais das nebulosas. Friedmann já sabia de sua existência por ter lido e citado em seu artigo de 1922 a edição francesa do livro *Espaço, tempo e gravitação* (Eddington 1920), em que o astrônomo Arthur Eddington mencionava as observações de desvios espectrais realizadas por Vesto Slipher desde 1914 (Kragh e Lambert 2007, p.450).

É provável que Friedmann também tenha lido o livro *A teoria matemática da relatividade* (Eddington 1923), em que há uma apresentação mais detalhada dos desvios espectrais medidos por Slipher. O físico soviético Dmitri Ivanenko (1904-1994) se baseia na mesma hipótese: a de que Friedmann conhecia os desvios espectrais para o vermelho, para discordar da interpretação de que seus modelos cosmológicos eram vistos por ele como puramente matemáticos. Em suas memórias sobre os físicos soviéticos com quem conviveu, Ivanenko defendeu que Friedmann também se preocupava com observações astronômicas, ainda que não tenha comentado sobre elas em seus artigos de 1922 e 1924:

Eu me lembro de seu último pronunciamento sobre cosmologia, em que ele relacionou sua teoria da expansão do universo com observações de galáxias se afastando, realizadas pelo astrônomo estadunidense Slipher. Como se sabe, a lei da recessão foi estabelecida em 1929 por Hubble, em pleno acordo com a teoria de Friedmann. Contrariamente à opinião de certos autores que acreditavam que Friedmann via seus resultados como conclusões puramente matemáticas, criadas a partir da teoria da relatividade geral, é claro que Friedmann tinha um profundo entendimento da importância fundamental de seus resultados e da necessidade de considerar a evolução temporal do universo. (Sardanashvily 2010, p.155, tradução livre).

Eduard Tropp, Viktor Frenkel e Arthur Chernin escreveram uma biografia de Friedmann. Nela, defenderam que a classificação de Friedmann de sua própria contribuição à cosmologia como matemática, que foi citada por Fock (1964), seria apenas uma anedota enfatizando estereótipos sobre físicos e matemáticos, que tem sido frequentemente interpretada de forma literal. Para eles, em todos os problemas científicos que trabalhou, desde o cálculo de trajetórias de bombas durante a Primeira Guerra Mundial até seus estudos meteorológicos e sobre a dinâmica atmosférica, Friedmann sempre se preocupou em verificar experimentalmente as teorias (Tropp *et al.* 1993, p.142, Belenkiy 2013, p.21).

Stephen Stigler, professor de estatística na Universidade de Chicago, criou a “lei de Stigler da eponímia”, segundo a qual nenhuma descoberta científica é nomeada graças a seu descobridor original. Para garantir que essa lei seja auto-consistente, Stigler nomeou Robert Merton o seu descobridor⁶⁷.

Atualmente, a maior parte dos livros de cosmologia chama as equações diferenciais que permitem descrever a evolução temporal do fator de escala de “Equações de Friedmann”, o que nos mostra uma exceção à “lei de Stigler da eponímia”, já que foi dado o nome da equação a quem, aparentemente, a descobriu pela primeira vez.

Para o cosmólogo canadense Jim Peebles (1935-) o universo em expansão contendo matéria foi descoberto, enquanto hipótese teórica, por Friedmann (Peebles 1984 *apud* Kragh e Smith 2003, p.145). Além dele, os cosmólogos Yakov Zeldovich e Igor Novikov, que inauguraram um grupo de pesquisa de cosmologia relativística na URSS a partir da década de 1950, também apresentaram seu compatriota Friedmann como o criador da teoria do universo em expansão (Zeldovich e Novikov 1975 *apud* Kragh e Smith 2003, p.145). Finalmente, Kragh e Smith apontam mais um grupo de autores russos defendendo a prioridade de

⁶⁷Stigler, S. 1980, Stigler’s Law of eponymy, Transactions of the New York Academy of Sciences, 59, 147. Ver também http://en.wikipedia.org/wiki/Stigler%27s_law_of_eponymy. Stigler foi citado por diversos artigos que trataram destas disputas de prioridade envolvendo Hubble (Kragh e Smith 2003, Block 2011, Way 2013).

Friedmann, os já citados Eduard Tropp, Viktor Frenkel e Arthur Chernin (Tropp *et al.* 1993). Para eles, essa defesa de Friedmann deve ser explicada pela influência ideológica, assim como por sentimentos nacionalistas:

O mesmo tipo de argumento a favor de Friedmann é apresentado em detalhes em um trabalho biográfico recente em que o físico russo torna-se nada menos que “o homem que fez o universo expandir”. A estratégia desse trabalho um tanto hagiográfico é mostrar Lemaître como um seguidor de Friedmann, alguém que seguiu ou desenvolveu os mesmos insights obtidos pelo gênio russo (...) Essa biografia de Friedmann é obviamente não só um trabalho histórico; é também, em muitos níveis, um documento político. Publicado em 1988, num período em que a Rússia ainda era parte da União Soviética, trata de caracterizar um herói soviético, assim como dar mais um tiro na batalha contínua a respeito dos créditos sobre a expansão do universo. Esse tiro errou por muito. Tentativas russas de dar crédito a Friedmann como o verdadeiro e único fundador da cosmologia relativística em evolução tinha uma orientação política clara e deve ser visto, em parte, inserida no contexto da situação da Guerra Fria (Kragh e Smith 2003, p.146).

Se por um lado temos que concordar com Kragh que boa parte dessas defesas da prioridade de Friedmann sejam exageradas e possivelmente motivadas por sentimentos nacionalistas, por outro, achamos parcial a postura de Kragh em acusar apenas os soviéticos por esse tipo de erro.

A partir das equações de Friedmann, a expansão do universo poderia ser prevista, mas isso não foi feito por ele. Por mais que Ivanenko e outros autores soviéticos possam ter razão ao defender que seu trabalho não era “puramente matemático”, ele não apresentou nenhum artigo relacionando suas previsões teóricas com observações astronômicas. Por isso, concordamos com Kragh (1996, p.27): “Friedmann previu *um* universo em expansão, mas não o universo em expansão”. Ele fez sem dúvida uma das contribuições mais importantes para a teoria do universo em expansão e também para a criação do *modelo padrão da cosmologia*, ou para a teoria do Big Bang, mas não é adequado dizer que ele as “descobriu”.

3.1.9 Georges Lemaître

Georges Lemaitre (1894-1966) foi um padre e cientista belga que chegou de modo independente aos mesmos resultados obtidos por Friedmann. Durante a Primeira Guerra Mundial serviu no exército belga, testemunhando um dos primeiros usos em larga escala de armas químicas dos alemães contra os aliados. Ao regressar a Louvain, começou sua carreira como físico teórico, ao mesmo tempo em que estudava para se tornar padre na Igreja Católica.

Nas primeiras décadas do século XX havia duas comunidades diferentes trabalhando em problemas relevantes para a cosmologia: os astrônomos, que realizavam observações dos corpos celestes distantes com telescópios cada vez melhores, e os físicos e matemáticos especialistas em relatividade geral, que investigavam soluções das equações de campo de Einstein para modelar o universo como um todo. Um passo muito importante para o surgimento da cosmologia contemporânea foi a aproximação destas duas comunidades (Blanchard 2001, p.237-238).

Entre 1923 e 1924 Lemaitre estudou na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, onde foi orientado em seus estudos sobre a relatividade geral por Arthur Eddington. Já entre 1924 e 1925 cruzou o Atlântico para estudar em Cambridge, na Universidade de Harvard e no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Nesse período ele interagiu com diversos astrônomos estadunidenses, como Harlow Shapley e Edwin Hubble (Farrell 2005, p.55-64).

Em 1924, alguns meses depois de chegar aos EUA, teve um novo encontro com Eddington em um congresso em Toronto, no Canadá. Lá ele assistiu à apresentação de Ludwig Silberstein que alegava ter encontrado uma relação linear entre desvios espectrais para o vermelho e distância para aglomerados globulares, relacionando-a com o modelo de universo estático de W. de Sitter. Apesar dos métodos de seleção dos aglomerados globulares de Silberstein terem sido duramente criticados pelos astrônomos, Lemaître ficou muito interessado no assunto e manteve discussões com o próprio Silberstein, que inspiraram seu trabalho nesta área de pesquisa (Farrell 2005, p.69; Flin e Duerbeck 2006).

Em 1925 Lemaitre assistiu à apresentação de Hubble, relatando sua descoberta, realizada em 1923, de uma cefeida, uma estrela variável, na nebulosa de Andrômeda, que lhe permitiu calcular sua distância em 285 mil parsecs, ou seja, aproximadamente 930 mil anos luz⁶⁸ (Hubble 1925). Edwin Hubble utilizou o método de medir distâncias estelares desenvolvido pela astrônoma estadunidense Henrietta Leavitt (1868-1921), baseado na relação entre a magnitude absoluta⁶⁹ e o período de variação do brilho das cefeidas. Esse método foi desenvolvido por Harlow Shapley e empregado no estudo de aglomerados globulares. A calibração da curva período-luminosidade de Shapley foi empregada então por Hubble para determinar a distância da nebulosa de Andrômeda em aproximadamente 285 mil parsecs (Hubble 1925).

⁶⁸ Um parsec equivale a aproximadamente 3,26 anos luz. A medida atual para a distância de Andrômeda é de aproximadamente 2 milhões de anos luz.

⁶⁹ Magnitude é uma medida do brilho de uma estrela. A magnitude aparente é o brilho visto da Terra. Já a magnitude absoluta é o brilho intrínseco, que não leva em consideração a distância da estrela. Para mais detalhes sobre medidas de distâncias astronômicas, ver Andrade & Bagdonas (2009, p.42).

Como vimos, Lundmark (1924) discutiu uma série de métodos diferentes para estimar a distância de Andrômeda, mas nenhum deles era considerado totalmente confiável. Ele adotou uma distância de 200 mil parsecs, um valor próximo do encontrado por Hubble e utilizou essa medida como base para estimar a distância de outras nebulosas, apenas com base nos diâmetros e magnitudes aparentes. A confiabilidade do método de medida de distância de Hubble superou todos os métodos utilizados anteriormente por astrônomos como Wirtz, Silberstein e Lundmark. Essa descoberta foi importante e muito reconhecida pela comunidade científica na época, pois foi um argumento decisivo a favor da teoria dos “universos-ilha” (Smith 1979, p.142, Bagdonas *et al.* 2009). Como o valor da distância encontrado por Hubble é muito maior do que o das estrelas da Via Láctea, a descoberta dele foi vista como um indício de que Andrômeda é um corpo exterior à nossa galáxia. Com o tempo, constatou-se que o mesmo ocorria para outras “nebulosas”, ou seja, as nebulosas eram outras galáxias.

A descoberta de Hubble motivou Lemaître a investigar com maior detalhe a proposta de Silberstein de relacionar os desvios espectrais para o vermelho ao modelo de W. de Sitter. Porém agora em vez de analisar a relação redshift-distância dos aglomerados globulares, Lemaître se interessou pelas nebulosas espirais. O estudo de Hubble demonstrou que as nebulosas espirais eram conjuntos de estrelas, muito mais distantes do que todos os corpos apresentados no diagrama de Silberstein, que como vimos era constituído por distâncias até 40 mil parsecs (ver figura 5, seção 3.1.6).

Lemaître visitou Slipher no Arizona e Hubble em Mount Wilson (Califórnia) no verão de 1925 (Farrell 2005, p.70). No mesmo ano, Lemaître publicou um artigo em que propunha uma reinterpretação do modelo de W. de Sitter, mostrando que, com uma mudança de coordenadas, ele poderia ser visto não como um modelo estático, mas sim um modelo cujo raio aumenta exponencialmente. Isso já havia sido proposto por Lanczos e Hermann Weyl em 1923 (North 1965, p.112; Kragh 1996, p.26). Numa biografia em que os feitos de Lemaître são sempre exaltados, John Farrell (2005, p.86) realçou a reinterpretação do universo de W. de Sitter como fato importante na criação da teoria do Estado Estacionário, que na versão de Hoyle apresentava também um aumento exponencial do raio de curvatura em função do tempo.

Voltando para Louvain, Lemaître publicou um novo modelo correspondente a um universo estático (semelhante ao de Einstein), mas que após certo tempo saiu do equilíbrio e passou a se expandir (Lemaître 1927). Nesse trabalho, ele deduziu teoricamente uma expressão para a relação entre os desvios espectrais para o vermelho e a expansão do

universo, que levou a uma aproximação linear para a relação entre a velocidade de recessão e a distância do corpo:

$$v_{radial} = \frac{c}{R_o \sqrt{3}} d$$

Nesta equação c é a velocidade da luz, R_o é o raio de curvatura do universo e d é a distância do corpo (Smith 1982, p.180). Ele inclusive estimou o valor da constante de proporcionalidade, hoje chamada constante de Hubble, utilizando medidas de desvios espectrais para o vermelho de 43 nebulosas espirais apresentadas por Strömberg (1925), cuja maioria havia sido medida por Slipher. Para determinar distâncias, Lemaître utilizou o método desenvolvido por Hubble a partir da relação $\log r = 0,2 m + 4,04$, onde r é a distância em parsec e m a magnitude aparente (Hubble 1926).

A equação (24) de seu artigo (Lemaître 1927, p.56) é a seguinte:

$$\frac{R'}{R} = \frac{v}{rc} = \frac{625 \times 10^5}{10^6 \times 3,08 \times 10^{18} \times 3 \times 10^{10}} = 0,68 \times 10^{-27} \text{ cm}^{-1} \quad (24)$$

Atualmente podemos encontrar a grandeza dR/dt . $(1/R)$ expressa nesta equação na maioria dos livros de cosmologia, e muitos a denominam “constante de Hubble”. Na equação 24 de Lemaître, se pode calcular uma “constante de Hubble” H (que aparece na “lei de Hubble”, $V = H.d$) com valor de $625 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$.

Recentemente, o astrônomo H. Duerbeck reconstruiu um diagrama semelhante ao apresentado por Hubble em 1929, porém a partir dos dados publicados por Lemaître em 1927. Calculando a tangente da reta criada a partir do ajuste linear dos dados, ele encontrou o que pode ser considerado o valor da “constante de Hubble” que poderia ter sido calculada por Lemaître: $H = 575 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$.

Figura 10: Diagrama criado com base nos dados usados por Lemaître (1927)⁷⁰

Lemaître encontrou Einstein no V Congresso Solvay em 1927, em Bruxelas, quando ocorreram os famosos debates entre o alemão e Bohr sobre a mecânica quântica. Lemaître conversou com Einstein sobre seu modelo de universo em expansão e ficou sabendo por ele que o russo Friedmann já havia encontrado esse modelo de universo em expansão em 1922. Einstein repetiu a sua avaliação dos resultados de Friedmann para Lemaître: “seus cálculos estão corretos, mas o insight físico é abominável” (Farrell 2005, p.10).

Em 1928, o cosmólogo estadunidense Howard Robertson (1903-1961) fez o mesmo que Lemaître havia feito no ano anterior: deduziu teoricamente uma relação linear velocidade-distância e a relacionou a observações astronômicas. Utilizou as medidas dos desvios espectrais para o vermelho de Slipher e as medidas de distâncias das nebulosas que Hubble já havia publicado e mostrou que estes resultados estavam de acordo com a já conhecida relação entre a velocidade e a distância. Como Robertson era um físico teórico, publicou seu trabalho em um periódico de física, que não era normalmente lido por astrônomos (Smith 1982, p.148, Harrison 1981, p.208).

Como veremos adiante, a partir do diagrama semelhante publicado por Hubble em 1929, encontra-se uma constante $H = 530 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, um valor próximo do encontrado por Lemaître.

A famosa lei de Hubble estava clara no artigo de Lemaître, de forma que poderia muito bem ter sido chamada “lei de Lemaître” (Kragh 1996, p.30, Blanchard 2001, p.240, Farrell 2005, Block 2011, Van Den Bergh 2011 a, Way 2013). Todos os autores citados acima têm

⁷⁰ Reconstruído por H Duerbeck, citado em Block (2011, p.3).

ênfatisado as contribuições de Lemaître para a cosmologia contemporânea, lamentando que ele seja muito menos conhecido do que Hubble.

Se não encontramos nenhum caso tão explicitamente nacionalista e ufanista como o dos soviéticos defensores de Friedmann, nota-se uma preferência um tanto mais cautelosa por Lemaître em alguns autores franceses. Por exemplo, Blanchard (2001, pp.239-240) defende que Lemaître deu uma explicação física à relação observada por astrônomos entre o desvio espectral das galáxias e sua distância, o que hoje é chamado de “lei de Hubble”. Isso mostra que ele estava efetivamente preocupado em explicar o universo real, contribuindo para o surgimento de uma nova cosmologia em que as comunidades de astrônomos e físicos teóricos puderam colaborar entre si (Blanchard 2001, pp.239-240). Luminet (2011) também exaltou os feitos de Lemaître sobre o de outros autores. Para ele, ao contrário de Friedmann, que só começou a se interessar por astronomia alguns anos antes de sua morte, Lemaître passou a vida toda se dedicando a estudos de astronomia, física teórica e sua relação com modelos cosmológicos. Assim seu papel teria sido essencial na busca por relacionar observações astronômicas a modelos teóricos oriundos da relatividade geral.

Embora não discordemos da base dos argumentos de Blanchard e Luminet, o estilo de escrita, que exalta os feitos do cientista belga e diminui as contribuições de outros autores, nos mostra como o nacionalismo pode influenciar, ainda que de modo discreto, os historiadores da ciência e cientistas de todas as nacionalidades.

3.1.10 Edwin Hubble

Finalmente chegamos a Edwin Hubble (1889-1953), o “vencedor” da disputa de prioridade sobre a expansão do universo. Além de ser frequentemente citado como descobridor da expansão do universo e da relação velocidade-distância (a lei de Hubble), o famoso telescópio espacial criado pela NASA que custou mais de 6 bilhões de dólares, recebeu seu nome.

Em 1917 Hubble também lutou, como Lemaître e Friedmann, na Primeira Guerra Mundial. Voltou vitorioso com o exército dos EUA e foi trabalhar no observatório de Mount Wilson, que na época tinha acabado de receber o maior telescópio do mundo. No início de sua carreira, o trabalho de Slipher serviu como um exemplo motivador para Hubble (Christianson 1995, p.97). Muitos astrônomos ficaram entusiasmados com as enormes velocidades de recessão que ele mediu para as nebulosas espirais entre 1912 e 1917. Hubble estudou a nebulosa NGC2261, que hoje é conhecida como “nebulosa de Hubble” (Damineli 2003, p.37), mais uma eponímia dedicada a ele.

Em 1928, durante a Terceira Assembleia da IAU (União Astronômica Internacional), Lemaître encontrou de Sitter em Leiden. Embora Lemaître tivesse publicado um artigo em 1925, reinterpretando o modelo de W. de Sitter, e em 1927 tivesse defendido a expansão do universo, os dois cientistas não discutiram essa teoria. Willem de Sitter era presidente da IAU e estava muito ocupado, enquanto Lemaître era um jovem desconhecido (Farrell 2005, p.87). Hubble também estava nesse congresso e ficou animado ao ver que astrônomos discutiam a relação entre os desvios espectrais para o vermelho das nebulosas e a cosmologia. O astrônomo estadunidense Milton Humason (1891-1972), colaborador de Hubble no observatório de Mount Wilson, contou em uma entrevista⁷¹ que Hubble voltou extremamente animado desse congresso por ver que astrônomos discutiam a relação entre os desvios espectrais para o vermelho das nebulosas e a cosmologia. Ele contou que dois ou três astrônomos haviam sugerido que as nebulosas menos nítidas seriam mais distantes e com maiores desvios espectrais para o vermelho e pediu para Humason verificar isso. Não se sabe ao certo quem seriam esses astrônomos, mas além de Hubble, estavam nessa mesma conferência de Sitter, Lemaître e Lundmark (Van den Bergh 2011 b, p.151).

Nos anos seguintes, Hubble e Humason conseguiram medidas de distâncias e desvios espectrais para o vermelho para corpos mais distantes do que se conseguira até então. Em 1929 publicou um trabalho em que apresentava as velocidades radiais de 46 nebulosas, com medidas razoavelmente convincentes das distâncias de somente 24 delas. A maioria das nebulosas espirais tinha desvios espectrais para o vermelho. Havia deslocamentos para o azul apenas para algumas nebulosas mais próximas. O diagrama abaixo ilustra a relação aproximadamente linear observada entre velocidades radiais e distâncias.

Figura 11: Diagrama criado por Hubble, propondo relação velocidade-distância linear⁷²

⁷¹ Humason, M. L. ca.1965 Center for the History of Physics, oral history project, interview by S. Shapiro *apud* Van den Bergh 2011.

⁷²Fonte: Hubble (1929, p.172).

Como Lundmark e Wirtz, Hubble relacionou o estudo do desvio espectral para o vermelho das nebulosas à determinação do movimento do sol em relação aos corpos astronômicos, o chamado termo K . A estimativa desse termo foi empregada para estimar as distâncias das 22 nebulosas cujas distâncias não puderam ser medidas por outros métodos mais convincentes.

[O eixo vertical contém] velocidades radiais, corrigidas pelo movimento solar, [e o eixo horizontal] as distâncias estimadas a partir das estrelas envolvidas e das luminosidades médias das nebulosas em um aglomerado. Os discos pretos e a linha cheia representam a solução para o movimento solar utilizando as nebulosas individualmente, os círculos brancos e a linha pontilhada representam a solução combinando as nebulosas em grupos; a cruz representa a velocidade média correspondente à distância média das 22 nebulosas, cujas distâncias não puderam ser estimadas individualmente (Hubble 1929, p.172, tradução livre).

Na conclusão do artigo Hubble adotou uma postura bastante cautelosa, esperando que as investigações futuras dele e de Humason das nebulosas mais distantes pudessem permitir um novo significado para as observações. De fato, se em 1929 a correlação linear não era muito clara, é possível notar uma relação de proporcionalidade, mas que não é necessariamente linear. Já em um artigo publicado em 1931 a relação linear estava bem melhor estabelecida (Hubble e Humason 1931).

A frase mais ousada do artigo de Hubble é ainda bem cautelosa e nada original, pois já havia sido sugerida por todos os autores citados nessa seção, desde Wirtz em 1922 até Lemaître em 1927. Mas Hubble não citou nenhum deles:

A característica marcante, entretanto, é a possibilidade de que a relação distância-velocidade possa representar o “efeito de Sitter”, e que então dados numéricos possam ser introduzidos nas discussões sobre a curvatura geral do espaço. Na cosmologia de W. de Sitter, desvios espectrais aparecem a partir de duas fontes, uma aparente diminuição da velocidade das vibrações atômicas e uma tendência geral das partículas materiais de se espalharem. Essa última envolve uma aceleração e, portanto introduz o elemento temporal. A importância relativa destes dois efeitos deve determinar a forma da relação entre as distâncias e as velocidades observadas; e nessa conexão pode ser enfatizado que a relação linear encontrada é uma primeira aproximação representando um intervalo restrito de distâncias (Hubble 1929, p.173).

Hubble estudou alemão e teve boas notas em seus cursos, portanto é provável que ele tenha lido os artigos de Wirtz de 1922 e 1924 (apresentados na seção 3.1.5), em que o

astrônomo alemão mostrava uma relação de proporcionalidade para a distância e velocidade radial de nebulosas espirais (Van den Bergh 2011 a, p.151).

Hubble citou no artigo de 1929 a contribuição de Lundmark nos estudos envolvendo o “termo K”, que seria dado pelo movimento do Sol em relação às nebulosas (Lundmark 1925). Porém não citou seu trabalho que relacionava os desvios espectrais de nebulosas ao efeito de Sitter (Lundmark 1924). Hubble e Lundmark conviveram no observatório de Mount Wilson e tiveram uma desavença, pois Hubble acusou o sueco de ter cometido plágio, copiando seu sistema de classificação de galáxias (Smith 1982, p.183).

Como Merton (1957) mostrou em seu estudo recheado de exemplos históricos, frequentemente não é o próprio cientista que se engaja nas disputas de prioridade, mas sim seus compatriotas: amigos, admiradores e até mesmo historiadores da ciência com interesse em defender a relevância das contribuições científicas de sua nação.

Porém, Edwin Hubble era uma exceção. Ele não se importava em empregar seu tempo em disputas de prioridade, de forma a defender a importância de suas contribuições. Grace Hubble, em uma entrevista realizada por Christianson (1995, p.229), reconheceu que seu marido (Edwin Hubble) sofria frequentemente com brigas envolvendo disputas de prioridade com outros cientistas, como Reynolds, Van Maanen e Lundmark. Essa desavença entre Hubble e Lundmark pode explicar por que o sueco acabou sendo quase “apagado da história”, sendo frequentemente esquecido nas histórias da expansão do universo (Block 2011, Way 2013).

Já o trabalho de Lemaître de 1927, publicado em francês numa revista pouco conhecida, provavelmente não foi lido por Hubble. Contudo, é estranho que eles não tenham conversado sobre esse trabalho, já que ambos estiveram presentes na Terceira Assembleia da IAU (União Astronômica Internacional) que ocorreu em Leiden em 1928 (Van den Bergh 2011 a, p.152). de Sitter (que era o presidente da IAU), Lemaître, e Hubble estavam presentes nessa assembleia, de forma que seria esperado que todos ficassem sabendo do artigo de Lemaître de 1927. Isso não aconteceu, e somente em 1931, 3 anos depois, Eddington “descobriria” o artigo do padre belga, estimulando sua tradução e publicação em inglês.

3.1.11 Arthur Eddington

Dois jovens estudantes em Cambridge, William H. McCrea (1904-1999) e George McVittie (1904–1988) trabalharam em cosmologia desde o início da década de 1930, onde Arthur Eddington era já um renomado astrônomo. Eddington e McVittie estavam investigando a estabilidade do modelo de universo de Einstein, num contexto em que os modelos

cosmológicos mais conhecidos eram a solução A (Einstein) e a solução B (de Sitter). Porém, segundo Eddington (1930, p.668, tradução livre), “antes que nossa investigação estivesse completa tomamos conhecimento de um artigo escrito pelo padre G. Lemaître, que fornece uma solução admiravelmente completa para as diversas questões relacionadas às cosmogonias de Einstein e de Sitter”.

Lemaître havia enviado uma cópia de seu artigo para Eddington em 1927, mas o inglês só a “descobriu” alguns anos depois. Com o apoio de Eddington e de Sitter, a teoria da expansão do universo passou a ser aceita pela maioria dos estudiosos dessa área. Inclusive por Einstein, que abandonou seu modelo de universo estático considerando sua constante cosmológica desnecessária. Em 1932 ele e de Sitter publicaram um artigo aceitando o modelo de expansão do universo (Einstein e de Sitter 1932).

Em 1930, de Sitter publicou um artigo de revisão dos modelos cosmológicos criados ao longo da década de 1920. Apresentou diversas soluções possíveis em que o fator de escala crescia com o tempo, ou seja, modelos de universo em expansão que haviam sido encontrados por Friedmann (1922) e Lemaître (1927):

Figura 12: Modelos de universo em expansão. nos quais o fator de escala (eixo y) cresce com o tempo (eixo x).⁷³

Grace Hubble considera que uma desavença com de Sitter motivou seu marido a buscar observações cada vez mais precisas para confirmar a relação velocidade-distância (Christianson 1995, p.230). Em 1931, Hubble ficou aborrecido com de Sitter, por apresentar a relação velocidade-distância como uma contribuição de diversos astrônomos, e que teria sido proposta pelo próprio de Sitter pela primeira vez. Escreveu-lhe uma carta defendendo que seu

⁷³Fonte: de Sitter (1930, p.213).

artigo de 1929 seria uma apresentação preliminar de um trabalho que envolveu o esforço de meses de trabalho árduo, que por isso deveria dar aos astrônomos que trabalharam no observatório de Mount Wilson com Hubble o mérito pela confirmação da relação velocidade-distância, atualmente conhecida como “lei de Hubble”:

Eu considero a relação velocidade-distância, sua formulação, teste e confirmação, como uma contribuição de Mount Wilson e estou profundamente preocupado com seu reconhecimento como tal (...) Nós sempre assumimos que, quando um resultado preliminar é publicado e um programa é anunciado para testar o resultado em novas regiões, a primeira discussão dos novos dados é reservada como uma espécie de cortesia aos que realmente fizeram o trabalho. Deveríamos inferir que você não adere a essa ética; que devemos guardar nossas observações em segredo? Certamente há um mal-entendido em algum lugar (Hubble 1931 *apud* Christianson 1995, p.230).

Numa carta posterior, Hubble defendeu que ele e seu colaborador Milton Humason sentiam “que a interpretação (dos desvios espectrais das galáxias) deve ser deixada para você [de Sitter] e os outros poucos que são suficientemente competentes para discutir esta questão com autoridade” (Hubble 1931 *apud* Smith 1982, p.192). Portanto ele estava interessado em manter sua prioridade como descobridor *observacional* da relação redshift-distância, mantendo para de Sitter e Lemaître a possibilidade de se considerarem contribuidores *teóricos* para essa questão.

A resposta de W. de Sitter foi perdida, mas quando Hubble lhe escreveu novamente algumas semanas depois ele estava bem satisfeito. Dois meses depois, de Sitter visitaria Pasadena (EUA), onde junto com Einstein daria a Hubble o crédito pelas observações astronômicas que levaram à aceitação da teoria da expansão do universo (Christianson 1995, p.230);

Em 1931, de Sitter, em uma conferência sobre o modelo de Lemaître, usou o termo descoberta duas vezes na mesma frase: “a saída para esse dilema (de escolher entre os modelos de Einstein ou de W. de Sitter) foi demonstrada pelo professor Lemaître, cuja brilhante *descoberta*, o 'universo em expansão', foi *descoberta* pela comunidade científica há cerca de um ano e meio, três anos após a sua publicação” (de Sitter 1931 citado em North 1965, p.122, tradução livre, ênfase nossa). Na frase de W. de Sitter, primeiro Lemaître teria feito uma descoberta científica: a de que o universo está em expansão. Após três anos, a comunidade científica teria descoberto o seu artigo, que estava esquecido em uma revista de pouco impacto

Em 1931 Lemaître foi convidado para traduzir seu artigo de 1927 para o inglês. Porém, curiosamente, vários trechos foram ocultados por ele na tradução. A equação (24), apresentada na seção 3.1.9, equivale ao que hoje chamamos de lei de Hubble. Porém, Lemaître retirou de sua tradução todas as discussões envolvendo observações astronômicas de desvios espectrais e medidas de distância de nebulosas.

Como Hubble não citou Lemaître, Lundmark, e nem mesmo Slipher, criou-se a suspeita de que ele quis propositalmente ocultar as contribuições de outros cientistas. David Block (2011) citou diversos casos em que Hubble agiu de modo a enfatizar suas próprias contribuições e esconder as contribuições de rivais, como Lundmark e Reynolds. Criticou severamente o “eclipse” de Lemaître, insinuando que a tradução de seu artigo para o inglês tenha tido trechos *censurados*. Isto seria uma possível influência de Hubble ou Eddington, obrigando-o a aceitar o fato de que Hubble deveria ser considerado o descobridor observacional da relação velocidade-distância, enquanto Lemaître deveria se restringir a apresentar sua contribuição *teórica*.

Como evidência desta acusação, em junho de 2011, Block apresentou uma carta de William Marshall Smart, editor da revista em que sua tradução foi publicada (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*). Para ele, Smart sugeriu que os resultados observacionais de Hubble seriam “mais elegantes” e que Lemaître deveria traduzir seu artigo até o parágrafo 72. O parágrafo seguinte, número 73, é exatamente a equação (24), a versão anterior da “lei de Hubble”:

Se a Sociedade Científica de Bruxelas também tem intenção de nos conceder a permissão, então preferimos traduzir o artigo para o inglês. Além disso, se você tiver adições posteriores sobre o assunto, nos gostaríamos de publicá-las também. Eu suponho que se houver adições uma nota poderia ser inserida de forma que §§1-72 viriam do artigo de Bruxelas + o lembrete é novo (ou algo mais elegante) (Smart 1931 *apud* Block 2011, p.6, tradução livre).

Mario Livio, astrônomo do *Space Telescope Science Institute* (NASA, EUA), publicou no dia 10 de novembro de 2011, na renomada revista *Nature*, um artigo buscando livrar Hubble das acusações de ter sido responsável pelo ocultamento das contribuições de Lemaître. Primeiro, defendeu que Block leu equivocadamente a carta de Smart, que o número 72 seria na verdade o número “n”. A carta de Smart seria inocente, não havendo nenhuma evidência de censura ou conspiração contra Lemaître (Livio 2011, p.173).

Ele também encontrou a resposta de Lemaître a Smart, editor da revista, o que considerou uma “evidência crucial”. Nessa resposta, o padre e cientista belga afirma que ele próprio decidiu não reapresentar partes de seu artigo de 1927: “Eu não considero adequado imprimir novamente a discussão provisória sobre as velocidades radiais, que claramente não tem interesse atualmente” (Lemaître 1930 *apud* Livio 2011, p.173, tradução livre).

Farrell (2006, p.71) considera que Hubble não citou Lemaître em seu artigo de 1929 por que em geral tinha uma postura de valorizar mais as observações do que as teorias. Ele se manteve cauteloso sobre as implicações cosmológicas da relação velocidade-distância mesmo na década de 1930, quando a maior parte dos astrônomos aceitava a expansão do universo. Shaviv (2011) também argumenta que estadunidenses raramente liam jornais científicos europeus, e que, como em 1929 nem de Sitter nem Eddington tinham lido o artigo de Lemaître, é totalmente compreensível que Hubble também não o tenha citado.

Mario Livio considera que Lemaître não estaria obcecado em estabelecer prioridade por sua descoberta original. Como Hubble já publicara resultados mais convincentes em 1929, ele não via motivos para republicar sua contribuição provisória de 1927, quatro anos depois. Ele preferiu ao invés disso publicar um novo artigo e pedir para se juntar à Royal Astronomia Society. Ele foi convidado por Smart e tornou-se um membro em 1939 (Livio 2011, p.173).

Contudo, é curioso que Mario Livio não apresente ao leitor a possibilidade de observar e decidir se a letra (ou número) na carta manuscrita seria um “n” ou “72”. Em nossa opinião, isso enfraquece seu argumento, pois ele parece querer ocultar evidências para fortalecer sua tese duvidosa, infelizmente apresentada em tom de conclusão definitiva pela revista *Nature*. Analisando a figura abaixo, nos parece que Block estava certo em defender que Smart escreveu o número 72:

Figura 13: Trecho da carta de Smart a Lemaître em 1931, apresentada por Block como evidência de pressão para o belga desistir de sua equação 24⁷⁴.

Block também acusa Livio de ter omitido outra referência importante, um texto do próprio Lemaître comentando essa questão muito tempo depois, na década de 1950. Ele

⁷⁴Fonte: Block (2011, p.6).

menção que se matematicamente sua bibliografia do artigo de 1927 estava defasada por não citar Friedmann (1922), astronomicamente ela estaria perfeita. Ele calculou o coeficiente de expansão em $575 \text{ km. s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$ (e $625 \text{ km. s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$ com uma correção estatística). Mas então afirma que:

Naturalmente que, antes da descoberta dos aglomerados de galáxias, não era possível se formular a lei de Hubble, mas somente calcular o coeficiente. O título do meu artigo não deixa dúvidas sobre minhas intenções: Um universo de massa constante e raio crescente como uma explicação para a velocidade radial das nebulosas extragaláticas. Eu peço desculpas por isso ser tão pessoal. Mas como notado pelo autor (p.161) “a história desta competição científica não é irrelevante” e é útil enfatizar os detalhes para permitir um entendimento exato do escopo do argumento que pode ser delineado a partir disto (Lemaître 1953 *apud* Block 2011, p.8).

Consideramos que esta evidência apresentada por Block mostra a fragilidade das conclusões apontadas por Mario Livio. Domingos Soares, na sua coluna *Cosmos*, defende que em 1925 havia sim boas razões para se formular a lei de Hubble, pois o debate envolvendo a natureza das nebulosas já estava bem estabelecido, graças à descoberta de Hubble de cefeidas em Andrômeda. Tanto que Lemaître empregou esse método de medidas de distâncias em seu trabalho (Lemaître 1927)

Então, por que Lemaître evitou a polêmica na versão inglesa de 1931? A resposta é simples: Lemaître, por assim dizer, vendeu a sua alma! O que, convenhamos, não fica bem, nem para um cidadão comum e muito menos para um membro de uma instituição religiosa(...) O personagem principal é o astrofísico inglês Arthur Eddington, o qual é uma das mais influentes, se não a mais influente, personalidades científicas da época. Eddington era amigo e admirador de Hubble e foi o orientador de Lemaître, em seus estudos iniciais de astronomia em Cambridge, durante 1923 e 1924. A seguir ele partiria para os Estados Unidos, onde realizaria o seu doutoramento sob a orientação de Harlow Shapley, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Lemaître, em sua ânsia secular por pertencer aos quadros da *Royal Astronomical Society*, e sabendo da influência que Eddington teria nesta empreitada, evitou o conflito com Hubble, a respeito da primazia sobre o cálculo da “taxa de expansão”. Hubble já havia expressado o seu desejo a Eddington de que as questões relativas ao diagrama “velocidade” – distância [ou redshift-distância] deveriam ser consideradas como uma obra do Observatório de Monte Wilson — em outras palavras, dele e de seus colaboradores imediatos. E como afirma Mario Livio, no artigo mencionado acima, em 12 de maio de 1939, o padre Georges Lemaître foi eleito membro da *Royal Astronomical Society*. E mais, em 1953, foi o primeiro a ser agraciado com a *Medalha Eddington*, desta instituição, pelas suas importantes contribuições científicas⁷⁵.

⁷⁵ Soares, Domingos. Coluna COSMOS, 7 de janeiro de 2013, disponível em <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/cosmos/13/cosmos0.htm>

Consideramos esta interpretação de Domingos Soares e David Block bastante plausível. Parece-nos que Lemaître não era desinteressado nessa disputa de prioridades e que decidiu não defender sua contribuição original de 1927 por algum motivo que dificilmente admitiria em público, como o interesse em entrar para a Royal Society, ou o medo de enfrentar cientistas renomados como Eddington e Hubble.

3.1.12 Um descobridor que negou sua descoberta?

Gradativamente, durante a década de 1930, a ideia de um universo em expansão foi se tornando mais aceita entre os cientistas. Ellis (1990), com base em uma visão kuhniana desse episódio, apresenta uma tabela com a transição de paradigmas na história da cosmologia: do universo estático para o universo em expansão:

Ano	Universo estático	Transição	Universo em expansão
1917	Einstein, de Sitter		
1922	de Sitter	Lanczos	Friedmann
1923	Weyl	Lanczos	
1924			Friedmann
1925		Lemaître	
1926		Hubble	
1927			Lemaître
1928		Robertson	
1929		Hubble, Tolman	Robertson
1930		Weyl	Eddington, de Sitter Lemaître Tolman
1931			McVittie, Einstein, Tolman, de Sitter, Lemaître, McCrea
1932			Heckmann, Tolman, McVittie, Ward, Einstein, de Sitter

Tabela 3: Transição de paradigmas na história da cosmologia⁷⁶

Essa visão kuhniana da história da cosmologia também é apresentada pelo historiador Helge Kragh:

Com a “descoberta” dos trabalhos de Lemaître e Friedmann na década de 1930, a cosmologia viveu uma mudança de paradigma. Foi só a partir de então que a descoberta de Hubble foi transformada para ser, ou seja, interpretada, como uma descoberta da expansão do universo (Kragh 1996, p.32, tradução livre).

Essa mudança de visão teria sido abrupta na visão de Kragh. Como evidência disso, ele mostra que o livro *O tamanho do universo*, escrito por Ludwik Silberstein, em 1930, foi

⁷⁶Fonte: Ellis 1990, p.107, traduzido e adaptado.

considerado “obsoleto” por Eddington em uma resenha por ainda tratar dos modelos “superados” de Einstein e de Sitter publicados em 1917.

O estadunidense Howard Robertson publicou um importante artigo de revisão da produção sobre cosmologia relativística (Robertson 1933). Ao criar sua versão da história da cosmologia deste período ele não citou astrônomos como Slipher, Wirtz, Lundmark e Silberstein, contribuindo para difundir a ideia de que Hubble foi o grande responsável pelas observações astronômicas que levaram à expansão do universo.

Por outro lado, Hubble continuou cauteloso em relação à interpretação cosmológica dos desvios espectrais. Isso levou o historiador Stephen Brush a compará-lo com Planck e Maxwell, pois todos teriam sido “revolucionários cautelosos” (Brush 2002).

Como vimos, Hubble escreveu a de Sitter buscando estabelecer sua contribuição na medição precisa de distâncias das nebulosas, permitindo assim a confirmação da relação linear velocidade-distância. Contudo, sentia que a interpretação cosmológica destas evidências astronômicas deveria ser deixada para de Sitter e “os outros poucos que são suficientemente competentes para discutir esta questão com autoridade” (Hubble 1931 *apud* Smith 1982, p.192).

Em 1935, Hubble e seu colaborador Richard Tolman afirmaram que:

Até que evidência adicional esteja disponível, ambos os presentes autores desejam manter uma mente aberta em relação à explicação final mais satisfatória para o desvio para o vermelho das nebulosas e, na apresentação das descobertas puramente observacionais, continuar a usar a expressão velocidade de recessão “aparente”. Contudo, ambos tendem à opinião de que se o desvio para o vermelho não é devido a um movimento de recessão, a sua explicação envolverá provavelmente princípios físicos muito novos (Hubble e Tolman 1935, p.303, tradução de Assis *et al.* 2008, p.204).

A mesma posição foi defendida em 1936 no livro *O reino das nebulosas* (Hubble 1936), em que apresentou as contribuições de Wirtz, Lundmark e Strömberg para as investigações envolvendo a relação redshift-distância. Porém, Hubble apresenta sua contribuição como sendo a de ter criado métodos mais convincentes para medir as distâncias das nebulosas, confirmando assim que havia uma relação redshift-distância linear. Porém manteve uma postura cautelosa: “as interpretações dos próprios desvios para o vermelho não inspiram tão grande confiança” (Hubble 1936 citado em Assis *et al.* 2008, p.206). Apesar de reconhecer que até o momento não era possível uma conclusão segura sobre o assunto, demonstrava uma preferência pela ideia de um universo estático e pela explicação dos desvios espectrais para o

vermelho que ficou conhecida como “luz cansada”, formulada por seu grande amigo, o astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974) (Assis *et al.* 2008, p.202).

Nesse período, visões empiristas e positivistas das ciências eram fortes nos EUA. Hubble ilustra bem essa visão da ciência, defendendo que a meta da ciência seria a do “conhecimento positivo de domínio público” e que valores não teriam lugar nos projetos científicos (Kragh 2004, p.153). Assim, ele evitou sempre fazer interpretações teóricas ousadas, preferindo se restringir a observações. Ele nunca aceitou completamente que os desvios espectrais para o vermelho resultavam necessariamente de velocidades radiais de objetos (North 1965, Kragh 1996, Assis *et al.* 2008).

Dizer que Hubble “descobriu o universo em expansão” é o mesmo que dizer que Max Planck “descobriu o quantum”: ele estabeleceu uma fórmula empírica que parece implicar na teoria e de fato levou outros a adotarem-na. Contudo, ele “desistiu de defender explicitamente a teoria do universo em expansão como um enunciado verdadeiro sobre o universo e em algumas ocasiões até mesmo sugeriu que ela era falsa” (Brush 2002, p.123, tradução livre; Kragh e Smith 2003, p.142).

A partir de um cuidadoso estudo das obras que divulgaram a cosmologia relativística na década de 1930, Kragh e Smith (2003) mostraram que Hubble só passou a ser chamado de “descobridor” após duas décadas. Robertson, Tolman, Walker e outros autores estadunidenses apresentaram Hubble e Humason como descobridores da relação velocidade –distância, mas nunca como descobridores da expansão do universo. Um dos primeiros que nomeou Hubble descobridor da expansão foi Einstein, em 1945, no livro *O significado da relatividade*. Pouco tempo depois, essa prática se tornou muito comum, e as expressões “lei de Hubble” e “constante de Hubble” viraram jargões entre cosmólogos.

3.1.13 A interpretação ortodoxa do desvio espectral para o vermelho

Atualmente, a relação redshift-distância é interpretada pela maior parte da comunidade científica como uma evidência de que o universo está em expansão. É considerada um dos pilares mais importantes da cosmologia moderna, assim como (Kanipe 1995). Hoje em dia, segundo a interpretação ortodoxa da cosmologia, existem três tipos principais de desvios espectrais para o vermelho: o efeito Doppler, os desvios espectrais para o vermelho gravitacional e os desvios espectrais para o vermelho da expansão do universo. Não se acredita mais que os desvios espectrais para o vermelho cosmológicos sejam causados por velocidades de afastamento dos corpos em relação a referenciais inerciais estáticos, como no efeito Doppler. O desvio espectral para o vermelho cosmológico é causado pela expansão *do*

próprio espaço-tempo, que estica o comprimento de onda da luz e não pelo movimento dos corpos em um espaço estático⁷⁷ (Harrison 1981, p.235).

Caso a expansão do universo fosse um movimento *no espaço*, como ocorre no caso do efeito Doppler, corpos suficientemente distantes estariam se afastando com velocidades maiores do que a velocidade da luz, o que viola a teoria da relatividade restrita.

Figura 14: Velocidades de recessão maiores que a velocidade da luz⁷⁸

De acordo com a lei de Hubble, quanto mais distante estiver a galáxia, maior é sua velocidade de recessão. Para os observadores na Terra, existe uma esfera (mostrada na figura acima) sobre a qual a velocidade de recessão dos corpos é igual à velocidade da luz ($v=c$).

Essa esfera separa o universo em duas regiões: a) nos pontos interiores à esfera a velocidade de recessão é menor que a velocidade da luz ($v < c$); b) nos pontos exteriores à esfera a velocidade de recessão é maior que a velocidade da luz ($v > c$);

Caso algumas galáxias estivessem se afastando de nós com velocidades maiores que a velocidade da luz, então aparentemente teríamos uma violação da teoria da relatividade restrita. Esta contradição é resolvida com a proposta de que os desvios espectrais para o vermelho cosmológicos sejam diferentes do efeito Doppler: no caso da expansão *do próprio espaço*, não existe limite de velocidade.

Na visão ortodoxa da cosmologia, dominante atualmente, é importante distinguir a relação *velocidade-distância* da relação *redshift-distância*. Por mais que Slipher, Wirtz, Lundmark, Silberstein e Hubble tenham descrito suas relações como de *velocidade-distância*,

⁷⁷ Algumas animações também podem ajudar a entender estes conceitos: http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/cosmic_reference/redshift.html mostra o movimento de uma galáxia em um espaço estático. Isso aconteceria se o redshift cosmológico fosse causado pelo efeito Doppler. Já a animação http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit5/Images/hu_animexp.gif busca ilustrar algo impossível de ser visualizado devido a limitação de nossos sentidos: a expansão do espaço-tempo quadridimensional. Ver também o *Universo da Gominha Esticada*, uma interessante abordagem didática da Lei de Hubble proposta por Soares (2014).

⁷⁸ Esta figura foi adaptada a partir de Harrison 1981, p.215. Criada por Luiz Henrique.

na verdade o que eles mediram diretamente eram desvios espectrais para o vermelho, e não velocidades (Harrison 1993).

3.1.14 Conclusão: quem merece crédito pela expansão do universo?

Por mais que a “lei de Stigler da eponímia” tenha diversas exceções (como, por exemplo, as equações de Friedmann, discutidas na seção 3.1.8), com base nos estudos apresentados nessa seção, consideramos que Block (2011) está certo ao defender que ela se aplica ao caso da expansão do universo. Nem a expansão do universo, nem a relação redshift-distância (hoje chamada lei de Hubble), foram descobertas por Hubble. Há um grande número de cientistas menos conhecidos, em larga medida esquecidos pelo processo que conta a história dos vencedores, nas reconstruções racionais da história da ciência, que também deram contribuições importantes para a criação da teoria da expansão do universo.

Com base nas discussões apresentadas nesta seção, consideramos que uma conclusão evidente é que é inadequado dizer que “Hubble descobriu a expansão do universo em 1929”.

Antes de Hubble, Slipher (1917) já havia observado os desvios espectrais para o vermelho das nebulosas espirais e de Sitter (1917), Wirtz⁷⁹ (1922), Silberstein (1924), Lundmark (1924), Lemaître (1927) e Robertson (1928) haviam investigado a relação redshift-distância como forma de explicar o chamado “efeito de Sitter”. Pode-se até dizer que Hubble estendeu e reinterpretou o programa de pesquisa de Slipher (Kragh 1996, p.16).

A criação da teoria do universo em expansão teve vários colaboradores, em um processo que durou alguns anos, envolvendo tanto aspectos teóricos quanto experimentais. A ideia do universo em expansão surgiu teoricamente em 1922 com Friedmann, observacionalmente com Slipher em 1912, mas só passou a ser aceita na comunidade científica na década de 1930, com a divulgação dos trabalhos de Lemaître de 1927, processo em que Eddington teve papel preponderante. Olhando a história da ciência com os olhos atuais, numa visão anacrônica, podemos também ver a expansão do universo no modelo de W. de Sitter de 1917, e até mesmo nas equações da relatividade geral, publicadas por Einstein no mesmo ano.

Não concordamos com os defensores de que a “lei de Hubble” deveria ser renomeada para “lei de Lemaître” (Block 2011) ou “lei de Hubble-Lemaître”. Concordamos com as objeções a essa proposta apresentadas por Raifeartaigh (2012): Lemaître não fez contribuições originais para a lei empírica entre velocidade e distância. Ele se baseou nas observações de desvios espectrais para o vermelho de Slipher e nas medidas de distância de Hubble,

⁷⁹ Wirtz, C. Notiz zur Radialbewegung der Spiralnebel. *Astronomische Nachrichten* 216.24 (1922): 451-452 *apud* Seitter e Duerbeck 1990.

calculando apenas um coeficiente de proporção a partir de valores médios dos dados disponíveis, deixando claro que aquela era uma discussão provisória. Portanto, seria melhor chamá-la de lei de Slipher-Hubble, ou simplesmente de relação redshift-distância, sem dar crédito individual a nenhum destes contribuidores.

Porém, consideramos que Lemaître merece o crédito por ter sido um dos primeiros a defender explicitamente a expansão do universo, reencontrando as soluções teóricas descobertas por Friedmann sem conhecê-las e tendo o privilégio de poder relacioná-las com observações astronômicas. Friedmann não teve essa possibilidade, já que morreu em 1925, um ano depois de Lemaître começar seus estudos sobre a relação entre os desvios espectrais para o vermelho e a cosmologia, em sua visita aos EUA. O padre belga também criou um dos primeiros modelos com um começo no tempo (1931), tornando-se um dos precursores do modelo do Big Bang, que seria desenvolvido posteriormente por George Gamow após a Segunda Guerra Mundial.

A principal contribuição de Hubble foi ter utilizado métodos mais convincentes de determinação de distâncias de nebulosas, conseguindo confirmar a hipótese levantada anteriormente por outros astrônomos de que havia uma relação linear entre os desvios espectrais para o vermelho e a distância.

Consideramos que na educação básica, em vez de apresentar a expansão do universo como uma descoberta isolada, seria muito mais interessante apresentá-la como uma construção coletiva, de forma que não seja tão importante discutir prioridades históricas, sobre quem teria sido o “primeiro” a fazer cada descoberta.

Mesmo na historiografia contemporânea, não há mais o interesse de debater prioridades científicas como forma de buscar quem deveria receber, por justiça, o crédito merecido.

Para Stephen Brush, é surpreendente que Hubble ainda seja considerado o descobridor da expansão do universo, apesar de ter publicamente se pronunciado cético em relação a ela. Muitos autores de divulgação científica que conviveram com ele sabiam disso, mas continuaram propagando esta visão historicamente errada. De qualquer forma, ele não considera que seja seu papel tirar o crédito de Hubble, que, sem dúvida, foi responsável pela melhoria na confiabilidade de medidas da relação redshift-distância.

Os historiadores da ciência são atualmente céticos sobre o conceito de “descoberta” como um evento discreto para o qual certa pessoa deve receber “crédito” ou “prioridade”. Não é o trabalho do historiador decidir quem *deveria* receber crédito por uma descoberta, mas sim estudar quem *de fato* recebeu o crédito e por que (Brush 2002, p.125, tradução livre).

Portanto, ao trazer estas discussões sobre disputas de prioridade para o ensino de ciências, nossa intenção principal não foi tirar os méritos do trabalho de Hubble, nem fazer “justiça”, atribuindo o crédito ao verdadeiro merecedor. Buscamos, como (Kragh e Smith 2003, p.142) criar subsídios para que reflexões sobre o conceito de descoberta na ciência sejam realizados tanto na formação de professores de ciência, quanto nas aulas da educação básica.

Seria muito mais interessante estudar a história da cosmologia relativística como forma de evidenciar influências de concepções filosóficas, crenças particulares e motivações pessoais dos cientistas no processo de aceitação das teorias; assim como na criação da versão oficial da história da ciência transmitida pelos livros escritos pelos cientistas e divulgadores das ciências.

Defendemos que na educação básica não se deve apresentar a história da cosmologia como um conjunto de nomes, fatos e datas como as descobertas realizadas pelos grandes cientistas que devem ser memorizadas pelos alunos. Conforme evidenciado por Kuhn (1977, p.183), a tradição dos cientistas de contar os resultados que a comunidade considera importantes faz com que os manuais, os livros utilizados pelos cientistas em sua formação, atribuam os fenômenos naturais particulares às personagens históricas que supostamente os teriam descoberto. Com isso, fazer descobertas individuais torna-se um objetivo para muitos cientistas, o que explica o acontecimento de constantes disputas por prioridade.

Consideramos que seria muito mais interessante, tanto na educação básica quanto na formação de cientistas, apresentar a criação das teorias como um processo estendido por um período e que envolve vários colaboradores. Isso permitirá a formação de visões de ciência mais próximas dos resultados obtidos pelas pesquisas contemporâneas em história da ciência.

Este tipo de discussão também seria importante na formação de divulgadores de ciência, como forma de atentá-los para o risco de induzir visões ingênuas sobre a natureza da ciência (Rocha 2012).

Após debater com maior profundidade o processo de construção da teoria da expansão do universo, vamos apresentar duas visões opostas mais abrangentes e menos profundas sobre a história da cosmologia na primeira metade do século XX.

A primeira história é uma *reconstrução racional* (Lakatos 1971), dando ênfase aos resultados hoje considerados corretos da cosmologia contemporânea: a expansão do universo, a teoria do Big Bang e a descoberta da radiação de fundo de micro-ondas. O triunfo do Big Bang superando teorias alternativas, como a teoria do Estado Estacionário, é apresentado de modo a enfatizar a racionalidade desse processo. São privilegiadas as observações

astronômicas previstas, que confirmaram a teoria vencedora, fazendo com que o Big Bang se tornasse um programa de pesquisa progressivo, junto com as observações que falsearam a teoria do Estado Estacionário, levando-a a um estado de programa degenerativo.

Esta história da cosmologia busca a simplicidade e clareza, constituindo algo não muito diferente do que é feito em obras de divulgação científica (como em Brush 1992), mas será enriquecida com estudos de historiadores da cosmologia contemporânea (como North 1965, 1990, 2008; Bertotti *et al.* 1990; Hetherington 1993 e Kragh 1996).

Já a segunda história da cosmologia é inspirada na crítica de Feyerabend ao racionalismo, tendo como base o anarquismo epistemológico e sua defesa de uma pluralidade de teorias em competição, rejeitando a adesão dogmática dos cientistas a uma única teoria dominante (Feyerabend 1975). Dessa maneira, vamos apresentar uma outra reconstrução racional da história, que dá mais espaço para teorias alternativas.

3.2 A favor e contra o método

Nesta seção exploramos as potencialidades pedagógicas de controvérsias epistemológicas debatidas por dois filósofos da ciência: Imre Lakatos e Paul Feyerabend, confrontando-as com estudos sobre a história da cosmologia no século XX (como North 1965, 2008; Kragh 1996, Rocha 2009, Assis et al 2008, Arthurury 2010, Henrique 2011).

Na seção 2.3.1 apresentamos um resumo das tensões entre o relativismo epistemológico de Feyerabend e o racionalismo crítico de Lakatos. Inspirados nesta tensão filosófica, apresentamos duas versões da história da cosmologia no século XX: a primeira valoriza a racionalidade do processo de aceitação da teoria do Big Bang pela comunidade científica; enquanto a segunda enfatiza teorias alternativas e suas críticas ao dogmatismo dos defensores de teorias cosmológicas ortodoxas.

Como valorizamos as controvérsias como abordagem didática, nossa intenção não é resolver disputas epistemológicas a partir deste estudo de caso. Ao invés disso, utilizamos estas visões epistemológicas conflitantes para interpretar o mesmo caso histórico, mostrando diferentes aspectos do complexo processo que levou à aceitação do Big Bang como a cosmologia hegemônica.

Neste estudo de caso, vamos explorar as questões: o processo de seleção entre teorias rivais pela comunidade científica é racional? São os sucessos em corroborações empíricas que levam à aceitação de uma teoria? Ou há critérios irracionais que levam à conversão dos cientistas a novas teorias?

3.2.1 O triunfo da teoria do Big Bang

Histórias da cosmologia com uma visão “presentista”, comuns em obras escritas por cosmólogos nas últimas décadas, ou por divulgadores de ciência, consideram que a melhor teoria cosmológica disponível atualmente é a teoria do Big Bang. O universo estático seria um erro histórico, superado racionalmente pelas observações do desvio espectral das galáxias. Einstein aparece nesses livros como um dos criadores da cosmologia moderna, mas tem pouco destaque. O grande herói é Edwin Hubble, que teria evidenciado o “grande erro” de Einstein com seu grande telescópio⁸⁰.

Luiz Arthury (2010) defendeu a potencialidade pedagógica da história da cosmologia do século XX, tendo a epistemologia de Lakatos como referencial teórico. Apresentou uma versão mais cuidadosa da história do triunfo da cosmologia do Big Bang: como o sucesso de um programa de pesquisa progressivo.

A introdução da constante cosmológica por Einstein, para manter o universo estático, seria uma modificação *ad hoc*. Para Lakatos, as teorias não são facilmente refutadas por observações que as desafiem:

Aqui temos uma ilustração de como opera o cinturão protetor, que evita ataques diretos à teoria. A introdução desta constante satisfaz a heurística negativa do programa ao manter as coisas como se deseja, impedindo que a teoria seja descartada prontamente. De uma maneira ou de outra, ainda que tenha sido uma hipótese *ad hoc* com o intuito de salvar uma ideologia, acabou sendo algo positivo à relatividade ao permitir a sobrevivência da teoria mesmo diante de elementos contraditórios (Arthury 2010, p.71).

Com o tempo a comunidade científica teria sido racional: a modificação *ad hoc* de Einstein não foi bem recebida. A existência da constante cosmológica não foi testada, justificada ou explicada em pesquisas posteriores e o modelo de universo estático acabou sendo abandonado.

A aceitação dos modelos de universo em expansão relativísticos, estudados por Alexander Friedmann em 1922 e Georges Lemaître em 1927, se deu ao longo da década seguinte, quando os desvios espectrais para o vermelho das galáxias foram interpretados como evidência contra os modelos de universo estático. A constante cosmológica mostrou-se desnecessária e o próprio Einstein reconheceu a introdução dessa constante como um erro (North 1965, Kragh 1996).

⁸⁰Alguns exemplos foram apresentados na seção 3.1. Para outros, ver Rocha 2012.

A partir da década de 1930 a maioria dos interessados em cosmologia aceitava a expansão do universo. Nesse contexto, George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman estudaram a formação dos elementos químicos em um universo quente e denso, que passou a esfriar por causa da expansão. Segundo a maior parte dos livros sobre cosmologia recentes, um grande mérito destes cientistas foi fazer uma previsão correta de um fenômeno então desconhecido, a radiação de fundo de micro-ondas com uma temperatura de 5 K.

Nessa visão racionalista, a previsão correta desta temperatura foi decisiva para o sucesso da teoria do Big Bang. A teoria do Estado Estacionário, o principal programa de pesquisa rival proposto por Fred Hoyle, Thomas Gold e Herman Bondi em 1948, tornou-se um programa de pesquisa degenerativo (Arthur 2010, p.74). Esta teoria já havia sido seriamente desafiada pelas observações da radioastronomia e quasares, tornou-se ainda mais marginalizada com a descoberta da radiação de fundo de micro-ondas. A maioria dos poucos cientistas que a haviam estudado parou de estudar cosmologia, atuando em outros campos da física e da astronomia (Kragh 1996).

Em um artigo de divulgação científica de grande impacto, o historiador Stephen Brush argumentou que a descoberta da Radiação de fundo de micro-ondas passou a ser considerada como um marco de mudança na história da cosmologia, por que fez com que a teoria do Estado Estacionário fosse abandonada:

A teoria do Estado Estacionário não havia previsto a radiação encontrada por Penzias e Wilson. Assim, pela primeira vez uma hipótese sobre a origem do universo pôde ser testada e tivemos um vencedor e um perdedor. É raro que novas teorias surjam ou que outras sejam derrubadas. Nesse caso, porém, a mudança foi rápida. Em poucos anos os cientistas ou aderiram à teoria do Big Bang, ou deixaram de trabalhar nessa área (Brush 1992).

Dois dos autores da teoria do Estado Estacionário, Hermann Bondi e Thomas Gold, acabaram perdendo o interesse pela cosmologia e passaram a estudar com sucesso outros campos da física e da astronomia. Bondi, como um grande admirador da filosofia de Karl Popper, deve ter reconhecido que sua teoria foi refutada pela descoberta da radiação de fundo de micro-ondas, e racionalmente deixou de defender sua teoria (Brush 1993).

Após 1965, jovens físicos e astrônomos passaram a desenvolver a teoria do Big Bang aprendendo, através de manuais didáticos, que esta teoria superou racionalmente as teorias rivais pela boa adequação às observações astronômicas:

Porque escolhemos o “modelo padrão”? E como ele suplantou as outras teorias, inclusive a teoria do Estado Estacionário? É um tributo à objetividade da astrofísica moderna o fato de que esse consenso não tenha sido atingido por mudanças de preferências filosóficas ou pela influência de mandarins da astrofísica, mas sim pela pressão dos dados empíricos (Weinberg 1979, p.17, tradução livre).

Na próxima seção vamos apresentar uma versão diferente da história da cosmologia, com atenção a diferentes interpretações possíveis para o desvio espectral das galáxias e a radiação de fundo de micro-ondas. Argumentamos que a previsão da temperatura do universo pelos adeptos da teoria do Big Bang não foi um processo tão simples e racional, conforme descreveram os autores citados nesta seção.

Para fazer isso, nos inspiramos no pluralismo teórico e metodológico defendido por Feyerabend (1970), que abre espaço para a existência de teorias diferentes, que normalmente são marginalizadas pela comunidade científica.

3.2.2 Teorias alternativas para o desvio espectral para o vermelho

Em 1929, Fritz Zwicky propôs uma das primeiras teorias de “luz cansada”, em que fótons perdem energia em sua trajetória desde sua emissão pelas galáxias distantes até chegarem na Terra. Zwicky inclusive deduziu quantitativamente qual seria a relação entre os desvios espectrais para o vermelho e a distância causada por esse efeito, chegando a um resultado semelhante à lei de Hubble. Ele alegava ter obtido um acordo razoável com os experimentos (North 1965, Waga 2005, p.162). Edwin Hubble, o suposto descobridor da expansão do universo, mostrou simpatia por este tipo de interpretação alternativa para os desvios espectrais (Assis et al 2008).

Um dos principais motivos que levaram Hubble e outros autores a suspeitarem de que o universo não estaria em expansão era o chamado “problema da idade do universo”. Com os dados disponíveis na década de 1930, o valor estimado para a idade do universo era da ordem de 2 bilhões de anos. Qualquer estimativa de idade do universo não pode ser menor que a idade calculada para qualquer um de seus componentes, como o Sistema Solar, a Terra ou os seres vivos. O baixo valor encontrado para essa idade era um problema, pois estudos geológicos mostravam que a Terra tinha pelo menos 4 bilhões de anos (Brush 2001, Henrique 2011, p. 86).

Teorias da luz cansada também foram estudadas por cientistas soviéticos. Em geral, os soviéticos não questionavam, necessariamente, a ideia de expansão do universo. Poderiam aceitar a interpretação do tipo Efeito Doppler para os desvios espectrais para o vermelho, mas

tinham sérias restrições ao conceito de um começo no tempo por sua associação a visões religiosas, contrárias a interpretações ortodoxas do materialismo dialético (Kragh 2012).

Matvei Bronstein publicou em 1931⁸¹ um artigo de revisão sobre a cosmologia relativística, em que aceitava a interpretação dos desvios espectrais para o vermelho das galáxias medidos por Hubble como evidência de um universo em expansão. Ele também comentou as dificuldades enfrentadas pelos defensores desta interpretação, pois estimativas da idade do universo, a partir do inverso da constante de Hubble, levavam a valores muito baixos.

Um dos últimos trabalhos publicados por Bronstein foi “Sobre a possibilidade de divisão espontânea dos fótons”. Neste trabalho, ele criticou a interpretação da luz cansada, proposta por Fritz Zwicky, que considerava que a luz sofre um arrasto gravitacional, perdendo energia para o meio interestelar conforme atravessa o espaço.

A teoria de Zwicky recebeu apoio na década de 1930 com uma possível explicação da perda de energia dos fótons a partir da mecânica quântica. Halpern, em 1933, propôs a hipótese de que os desvios espectrais para o vermelho seriam causados pela interação de fótons com o vácuo, com base na teoria do vácuo de elétron-pósitron⁸². Bronstein criticou essa hipótese, mostrando que apesar do mecanismo de “decaimento espontâneo de um fóton”, se os desvios espectrais para o vermelho realmente existisse ele deveria ser diferente em diversas regiões do espectro, e não homogêneo como no caso da Lei de Hubble e no Efeito Doppler. Infelizmente, suas pesquisas foram interrompidas com sua prisão em 6 de agosto de 1937, e sua execução numa prisão de Leningrado em fevereiro de 1938 (Gorelik 2005 a, p.1049).

Porém, a teoria de Zwicky não foi a única versão existente de teoria de luz cansada. Na década de 1950, o astrônomo alemão Finlay-Freundlich (1885-1964) encontrou desvios espectrais para o vermelho anômalos em estrelas na nebulosa de Órion, que não podiam ser explicados pela relatividade geral. Defendeu uma hipótese semelhante à de Zwicky, de que os fótons perdem energia, para explicar esses fenômenos. Esta teoria também foi estudada e defendida pelo físico alemão Max Born (1882-1970) e pelo físico francês Luis de Broglie (1892-1987) (Neves 2000).

Desde então, vários mecanismos para explicar essa perda de energia, tais como arrasto gravitacional, a interação fóton-fóton, o efeito Compton e o efeito Raman, foram estudados

⁸¹ Bronstein M P Sovremennoe sostoyanie relyativistskoi kosmologii, (Modern state of relativistic cosmology') Usp. Fiz. Nauk, 11, 124 – 184, 1931 *apud* Gorelik 2005.

⁸² Halpern O. Scattering processes produced by electrons in negative energy states, Phys. Rev. 44 855- 856, 1933 IN: Heitler W The Quantum Theory of Radiation (Oxford: The Clarendon Press, 1936) p. 193 *apud* Gorelik 2005.

por cientistas como Oskar Klein e Paul Marmet (North 1965, Assis et al. 2008, Rocha 2009). Já na década de 1970, o astrofísico estadunidense Halton Arp apresentou dados empíricos de objetos aparentemente ligados, cujos desvios espectrais para o vermelho são muito diferentes. Segundo a interpretação ortodoxa, a ligação entre eles seria apenas uma coincidência óptica. Arp preferiu investigar outras possibilidades envolvendo novas teorias físicas. Ao longo da década de 1990, fez algumas propostas em colaboração com o físico indiano Jayant Narlikar, envolvendo a variação de massa das partículas. Por exemplo, o elétron teria uma massa nula ao surgir no universo e sua massa aumentaria com o tempo (Oliveira 2006, p.181-182, Rocha 2009, p. 72).

Outra possibilidade para se explicar os desvios espectrais para o vermelho foi propor que as constantes fundamentais variavam com o tempo. Em geral, todas essas teorias alternativas foram consideradas artificiais ou desnecessárias (Kragh 1996, p.33). Assim, essas propostas alternativas foram abandonadas pela maioria dos cientistas. Porém ainda hoje há cientistas que as consideram, ou seja, há programas de pesquisa rivais ao programa hegemônico.⁸³ Contudo, nenhuma destas teorias costuma ser citada em livros sobre cosmologia moderna, mesmo nos que trazem uma perspectiva histórica.

A tabela abaixo resume as interpretações de diversos autores sobre os desvios espectrais para o vermelho das galáxias ao longo do século XX.

ANO	AUTOR	INTERPRETAÇÃO
1912	Slipher	-
1917	de Sitter	universo estático
1925	Lemaître	universo em expansão
1928	Robertson	universo em expansão
1929	Hubble	universo em expansão
1929	Zwicky	luz cansada
1933-1936	Hubble	princípio desconhecido
1954	Finlay-Freundlich	luz cansada
1974	Halton Arp	princípio desconhecido
1993	Halton Arp/Jayant Narlikar	variação da massa do elétron

Tabela 4: Interpretações dos desvios espectrais para o vermelho

⁸³ Na última reunião da International Astronomical Union, que ocorreu no Brasil em 2009, houve uma série de trabalhos discutindo a variação das constantes cosmológicas com o tempo. Para mais detalhes ver <<http://www.ts.astro.it/topics/jd9/jd9.html>>. Nesta pesquisa não abordamos com detalhe os episódios históricos posteriores a 1965. Uma revisão interessante de algumas controvérsias na cosmologia pode ser encontrada em Rocha (2009).

Além das teorias de luz cansada, vários outros modelos cosmológicos alternativos têm sido investigados por um número relativamente pequeno de cientistas, que contam com muito menos recursos, tempo de observação em telescópios e enfrentam muito mais dificuldades para publicar seus resultados do que os adeptos do modelo padrão da cosmologia. Alguns deles são a teoria do Estado Quase Estacionário, de Hoyle, Narlikar e Burbidge; a cosmologia de plasma, estudada por Hannes Alfvén e Eric Lerner, além de variações do modelo padrão da cosmologia, como o Big Bang frio e variações das constantes fundamentais (Kragh 1996, p.381, Rocha 2009, López-Corredoria 2014).

3.2.3 Teorias alternativas para a radiação de fundo de micro-ondas

A previsão da temperatura correta da radiação cósmica de fundo é apresentada na maior parte dos livros de cosmologia como uma grande comprovação experimental da teoria do Big Bang.

No entanto, também encontramos temperaturas de universo semelhantes, entre 2K e 6K, “previstas” por autores que assumiam que o universo era estático, como Erich Regener, Walther Nernst e Finlay-Freundlich na primeira metade do século XX (Assis e Neves 1995, 2014).

O físico suíço Charles Guillaume (1861-1938) no século XIX, e Arthur Eddington, no início do século XX, estimaram a temperatura média do espaço interestelar a partir de cálculos envolvendo a radiação eletromagnética emitida pelas estrelas, antes da década de 1930, quando os modelos de universo em expansão se consolidaram. Sendo assim, podemos dizer que seus modelos assumiam que o universo é estático e estacionário.

Em 1933, o físico alemão Erich Regner (1881-1955) também estimou a temperatura do espaço interestelar a partir de estudos envolvendo raios cósmicos e encontrou o valor de 2.8 K, muito próximo do valor atual medido para a temperatura da radiação de fundo de micro-ondas (Neves 2000a, p.193). O mesmo valor foi confirmado pelo seu compatriota, o já renomado físico, ganhador do prêmio Nobel de química em 1920, Walther Nernst (1864-1941), que desenvolveu um modelo de Estado Estacionário semelhante ao de Hoyle, Bondi e Gold, com criação de matéria, mas sem expansão (Kragh 2012). Esse modelo envolvia uma explicação alternativa para os desvios espectrais para o vermelho das galáxias e foi desenvolvido pelos físicos Finlay-Freundlich, Max Born e Louis De Broglie.¹ Em 1954, Finlay-Freundlich estimou a temperatura do universo no intervalo entre 1,9 K e 6 K (Neves 2000).

Além disso, a previsão da temperatura da radiação cósmica de fundo pelos autores do Big Bang, ainda que impressionante, foi um tanto confusa. George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman publicaram mais de uma dezena de artigos entre 1948 e 1965, com valores para a temperatura do universo entre 5 e 50 K.

No livro de divulgação científica “Criação do universo”, Gamow fez uma nova estimativa de 50K para a temperatura do espaço interestelar:

Quando o universo tinha 1 segundo, 1 ano e 1 milhão de anos de idade, sua temperatura era, respectivamente, de 15 bilhões, 3 milhões e 3000 graus absolutos. Inserindo a atual idade do universo na fórmula nós encontramos $T_{\text{presente}} = 50\text{K}$, o que está de acordo com a estimativa atual para a temperatura do espaço interestelar. Sim, nosso universo levou algum tempo para esfriar e o calor escaldante dos seus primeiros dias tornou-se o frio congelante de hoje! (Gamow 1952 p.40, tradução livre).

Suas previsões foram praticamente ignoradas pela comunidade científica até 1965, quando Robert Dicke e James Peebles fizeram, independentemente, previsões semelhantes às de Gamow, Alpher e Herman, sem conhecê-las. Quando Penzias e Wilson descobriram a radiação de fundo de micro-ondas, publicaram um artigo citando a previsão de Dicke e Peebles (Assis e Neves 1995, Kragh 1996).

Após a descoberta da radiação de fundo de micro-ondas o próprio Gamow, numa carta a Penzias, tentou convencê-lo de que ele e seus colaboradores já haviam previsto a temperatura correta dessa radiação. Ele escreveu que no seu livro de divulgação *Creation of the universe* teria estimado um “limite superior” de 50K. No entanto, em seu livro fica claro que esta estimativa não era um limite, mas a própria temperatura do espaço interestelar.

Gamow, Alpher e Herman se engajaram em uma disputa de prioridade com Dicke, acusando-o de esconder propositalmente a previsão que tinham feito anteriormente. Gamow escreveu para Penzias chamando a atenção para as “melhores previsões” de temperaturas próximas ao valor medido de 3K, feitas por Alpher e Herman em 1948, e por Gamow em 1953 (Reines 1972, p.35).

Alpher e Herman fizeram o mesmo, contando suas versões desta história, atribuindo a confusão de valores da temperatura do universo a erros de Gamow (Idem, p. 6). Os valores previstos para a temperatura do universo nessa época eram dependentes de muitos fatores observacionais, como a densidade do universo, cujo valor era estimado com pouca precisão na década de 1950 (Kragh 1996, p.119).

Ano	Universo Estático	Big Bang	Temperatura (K)
1896	Guillaume		5,6
1926	Eddington		3,2
1933	Regener		2,8
1937	Nernst		2,8
1949		Alpher e Hermann	5
1952		Gamow	50
1954	Finlay-Freundlich		$1 < T < 6$

Tabela 5: Previsões para a temperatura do universo⁸⁴

Analizando a tabela 5, vemos que até a década de 1960, as previsões das teorias de universos estacionários e estáticos eram mais próximas do valor experimental medido por Penzias e Wilson do que as previsões a partir da teoria do Big Bang. Sendo assim, dizer que Gamow, Alpher e Herman, juntos, já haviam previsto a temperatura correta é uma visão equivocada do processo histórico, comum nos livros recentes sobre cosmologia escritos por cientistas (Assis e Neves 1995, p.84).

Numa reconstrução racional cuidadosa, é possível argumentar que Alpher e Herman fizeram a previsão da temperatura de 5K em 1948, com base em argumentos aceitos na visão ortodoxa da cosmologia. Contudo, falharam ao não deixar claro que não concordavam com as diversas propostas diferentes de seu colaborador George Gamow, atualmente consideradas erradas. De qualquer forma, por mais que os valores de temperatura propostos por Gamow, Alpher e Herman fossem confusos, sua principal contribuição foi investigar a radiação em um universo relativístico em expansão quente e denso.

Vemos assim que a previsão da temperatura da radiação de fundo de micro-ondas não se deu em um processo racional, simples e linear: ela foi confusa e envolveu disputas de prioridade entre diversos cientistas. Por outro lado ele também não foi um processo totalmente irracional, houve influência de argumentos racionais em todo este processo.

Mais uma vez, a visão de descobertas como eventos discretos não explica adequadamente este episódio histórico. Considerando que descobrir um novo fenômeno envolve reconhecer tanto *que* algo ocorre quanto *o que* ele é (ver seção 3.1.1), Penzias e Wilson não descobriram a radiação cósmica de fundo, já que inicialmente detectaram um ruído na antena e não sabiam qual era sua causa. Dicke e Peebles podem ser considerados os descobridores por que foram os primeiros cosmólogos a ter acesso às observações de Penzias e Wilson, mas sua previsão teórica já havia sido realizada quase vinte anos antes por Alpher e Herman.

⁸⁴ A tabela foi retirada de (Neves 2000 a, p.194). Podemos hoje associar essas previsões à temperatura da radiação de fundo de micro-ondas, porém estes autores fizeram medidas anteriores à sua descoberta, sem acreditar que essa medida pudesse ser confirmada experimentalmente.

De qualquer forma, assim como não julgamos que é possível nem necessário dar uma resposta para a pergunta “quem descobriu a expansão do universo e quando?” consideramos que o mesmo se aplica ao caso da radiação de fundo de micro-ondas. Este caso é igualmente polêmico, até mesmo por que há explicações alternativas para a radiação de fundo de micro-ondas que não fazem uso dos modelos cosmológicos ortodoxos, a teoria do Big Bang.

3.2.4 Como a teoria do Big Bang triunfou sobre seus rivais?

A versão mais difundida da história da cosmologia é a de que novas observações astronômicas, ao longo da década de 1960, causaram uma mudança de opinião da maioria da comunidade científica. Quasares, estudos de radioastronomia, e principalmente a radiação de fundo de micro-ondas levaram muitos cientistas a aceitarem a teoria do Big Bang (Brush 1993, Kragh 1996).

Porém outros fatores não puramente empíricos podem ter sido relevantes para a consolidação da cosmologia como uma área respeitada. Peter Susalla (2013) defendeu que o crescimento do número de cientistas pesquisando na área, a variedade de problemas de pesquisa disponíveis para os jovens, a criação de novas instituições de pesquisa e formas de treino, como escrita de livros didáticos, foram pelo menos tão influentes quanto desenvolvimentos conceituais, para tornar a cosmologia uma área considerada científica. Ele analisou a criação de dois programas para o ensino e pesquisa sobre cosmologia nos EUA: 1. Uma abordagem observacional da cosmologia, desenvolvida principalmente por Allan Sandage, Richard Tolman e H. P. Robertson, no California Institute of Technology. 2. O *Gravity Group*, na Universidade de Princeton, onde Robert Dicke, David Wilkinson e P. J. E. Peebles atuaram, teve um papel importante nas pesquisas envolvendo a radiação de fundo de micro-ondas, que graças a eles passou a ser conhecida como “radiação cósmica de fundo”.

Alguns livros didáticos também foram bastante influentes na conversão de cientistas à abordagem ortodoxa da cosmologia. O prêmio Nobel Steven Weinberg, após ministrar uma série cursos sobre relatividade geral e cosmologia, publicou o livro *Gravitation and Cosmology* (Weinberg 1972). James Peebles, um dos criadores do *Gravity Group*, publicou o livro *Physical Cosmology*, adotando uma abordagem mais “física” para a cosmologia, em contraposição à abordagem “astronômica” de Allan Sandage (Peebles 1971).

Livros escritos para não cientistas também foram bastante influentes. Segundo Ralph Alpher e Robert Herman (2001, p. 119) o livro “Os três primeiros minutos” (Weinberg 1979) foi “uma contribuição significativa para a aceitação do modelo do Big Bang por muitos cientistas, apesar de ter sido pensado para uma audiência mais geral”.

Os livros de popularização da cosmologia escritos por Gamow e Hoyle também influenciaram muitos autores a fazer pesquisa em cosmologia. Alan Sandage e Steven Weinberg, dois dos mais influentes defensores da teoria do Big Bang a partir da década de 1960, foram particularmente influenciados pelo livro *Creation of the universe*, de Gamow. Sandage disse ter lido este “maravilhoso livro de Gamow” cerca de 5 ou 6 vezes, o que foi essencial para ajudá-lo a entender os artigos de cosmologia que começou a estudar na década de 1950, quando decidiu se especializar em cosmologia observacional. Já Weinberg, além de ter lido os livros de Gamow, também foi influenciado pelo livro *Cosmology*, escrito por Herman Bondi (1952).

Em 1998 Alan Lightman e Roberta Brawer entrevistaram cerca de 30 físicos e astrônomos que pesquisaram sobre cosmologia após 1950, perguntando quais livros sobre ciência leram quando crianças e como se tornaram interessados por esta área de pesquisa. Os livros de Gamow, Hoyle e Bondi, popularizando a controvérsia entre Big Bang e Estado Estacionário foram citados pela maioria dos entrevistados. Outros livros influentes, principalmente entre os cientistas mais velhos e entre os britânicos, foram os livros publicados por Arthur Eddington e James Jeans (Lightman 1990).

Segundo os críticos da hegemonia atual da cosmologia do Big Bang, esta não foi aceita pela maior parte de seus adeptos porque foram apresentadas as alternativas, mostrando os argumentos a partir dos quais eles fizeram a sua escolha, mas sim por uma espécie de doutrinação científica a partir da escrita de uma história da cosmologia triunfalista.

Como o modelo padrão da cosmologia recebe muito mais verbas e atenção dos pesquisadores, ele é evidentemente mais desenvolvido que teorias alternativas. As dificuldades encontradas pelos defensores de teorias alternativas ao “modelo padrão” da cosmologia em divulgar suas teorias científicas foram lamentadas por diversos autores, que criticaram o predomínio de uma única visão sobre as demais (Assis e Neves 1995, Neves 2000, Assis et al. 2008, López-Corredoria 2014).

Foi publicada em 2004, na revista *New Scientist*, uma carta aberta à comunidade científica internacional criticando as dificuldades enfrentadas pelos defensores de teorias cosmológicas alternativas ao pedir financiamento para realizar pesquisas e publicar artigos que forneçam evidências contrárias ao modelo dominante. A carta foi assinada inicialmente por 33 cientistas, sendo 3 deles brasileiros: Andre Koch Torres Assis (Unicamp), Marcos Cesar Danhoni Neves (UEM) e Domingos S. L. Soares (UFMG). Entre os signatários originais estavam Hermann Bondi e Thomas Gold (autores da teoria do Estado Estacionário

criada em conjunto com Fred Hoyle em 1948), Halton Arp, Jayant Narlikar, Eric Lerner e Paul Marmet. Posteriormente, cerca de 200 outros cientistas, e mais algumas centenas de pesquisadores independentes assinaram a carta que continua disponível para ser assinada na internet⁸⁵.

No livro “Fatos e especulações na cosmologia”, Jayant Narlikar e Geoffrey Burbidge escreveram uma anedota, que lhes teria sido contada pelo físico indiano Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995):

Após a proposta para a construção do telescópio ter sido aprovada, uma entrevista coletiva à imprensa foi convocada e nela estavam presentes Hubble e Eddington. Um jornalista perguntou, dirigindo-se a ambos: “— Senhores, o que vocês esperam encontrar com este telescópio?” Ao que os dois cientistas responderam (Hubble?): “— Se eu soubesse a resposta, não seria preciso construir esse instrumento.”⁸⁶

Segundo Narlikar e Burbidge, atualmente Hubble e Eddington não conseguiriam tempo de observação em nenhum telescópio se fornecessem explicações tão vagas. A política atual de financiamento de pesquisa exige que o cientista já diga o que pretende concluir com seu trabalho, antes mesmo de realizar a pesquisa. Isso dificulta a descoberta de quaisquer resultados inesperados, que entrem em contradição com as teorias vigentes⁸⁷.

Fred Hoyle já não estava mais vivo quando a carta foi publicada. Mas um ano antes de sua morte, publicou o livro *Uma abordagem diferente para a cosmologia* (Hoyle *et al.* 2001) em que defendia uma visão semelhante à difundida na carta. O livro foi escrito com dois novos parceiros, o físico inglês Geoffrey Burbidge (1925-2010) e o astrofísico indiano Jayant Narlikar (1938-), defendendo uma nova versão da teoria do Estado Estacionário, conhecida como teoria do “Estado Quase Estacionário”. Segundo os autores, essa nova teoria explicaria inclusive os dados das flutuações da radiação de fundo de micro-ondas medidos pelo satélite COBE (*idem*, p.197).

No prefácio do livro, eles trazem a discussão sobre as dificuldades para publicar seus artigos e obter tempo de observação nos telescópios., por serem defensores de teorias alternativas da cosmologia:

⁸⁵ New Scientist, May 22, 2004, <http://www.cosmologystatement.org/>. Ver também Rocha 2009, p.83.

⁸⁶ Soares, Domingos. Coluna COSMOS, 27 de fevereiro de 2013, disponível em <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/cosmos/13/cosmos4.htm>.

⁸⁷ Domingos Soares, um dos signatários da carta publicada na *New Scientist* em 2004, contou em *Cosmos* a anedota de Narlikar e Burbidge. Ele também apresentou uma série de outros textos muito interessantes, quase sempre com um tom crítico aos adeptos do modelo padrão da cosmologia, como, por exemplo, <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/isnot/isnot.htm>

Com os sucessos observacionais da cosmologia nos últimos anos, ela passou a ser considerada “uma big science”, que precisa de uma grande quantidade de verbas para se sustentar. Isso fez com que muitos cientistas se interessassem pela área, inclusive físicos teóricos sem conhecimentos astronômicos, ou da história da cosmologia. A disputa por grandes verbas acentua a influência das agências financiadoras sobre os objetos de pesquisa [...] um fato da vida que é bem conhecido pelos profissionais, mas que provavelmente ainda não foi bem digerido pelo mundo em geral, é o esforço e a propaganda necessários para utilizar um instrumento de medida como o Telescópio Espacial Hubble ou o satélite COBE. É preciso que antes que se construa o instrumento, se façam previsões extravagantes do que será encontrado. Não é surpreendente que quando eventualmente as observações são realizadas com sucesso, há esforços ainda maiores para mostrar que o que deveria ter sido observado foi de fato encontrado. [...] Não há espaço para a descoberta de fenômenos que ainda não eram esperados. Os poucos cientistas que se dedicam a este tipo de problema, nunca vão conseguir tempo de observação nos telescópios (Hoyle *et al.* 2001, p. viii)⁸⁸.

O cosmólogo Marcelo Byrro Ribeiro e o filósofo da ciência Antonio Augusto Passos Videira, ambos brasileiros, discutiram a presença de uma postura dogmática entre os autores defensores do modelo padrão. Defenderam o pluralismo teórico e a visão das teorias científicas como representação da natureza como forma de neutralizar as influências negativas desse dogmatismo (Ribeiro e Videira 2004, p.519). Segundo esses autores alguns cosmólogos contemporâneos parecem confundir o seu objeto de estudo, o universo, com as suas teorias, que são modelos de universo. Desta forma corre-se o risco de permitir a instauração de um alto grau de dogmatismo na comunidade científica, tornando natural a postura pouco crítica de não se levar a sério as propostas alternativas (Idem, p.523).

3.2.5 Controvérsias cosmológicas na educação

Autores que escrevem livros didáticos e não são tem familiaridade com história da ciência podem acabar transmitindo uma versão equivocada da atividade científica, como se ela fosse dada por série de descobertas lógicas, ignorando os erros cometidos e dúvidas enfrentadas no processo de construção do conhecimento. Ao deixar de mencionar a história da

⁸⁸ Aprofundar estes debates sobre a cosmologia contemporânea vai além dos objetivos desta pesquisa. Contudo vale notar que Hoyle obteve sucesso razoável em sua carreira acadêmica, sendo professor em Cambridge por décadas. Talvez sua dificuldade para publicar seja menos relacionada ao dogmatismo dos adeptos do Big Bang do que a sua própria personalidade e estilo científico. Ao contrário da maior parte dos cientistas de Cambridge, Hoyle veio de uma família pobre. Ele se via como um “outsider”, crítico ao sistema acadêmico dominante. Como Gamow, escreveu muitos livros de divulgação científica, acreditando que isto prejudicou sua reputação científica (Hoyle 1994). Ele tinha personalidade forte e esteve muitas vezes engajado em ataques pessoais enérgicos contra teorias rivais, principalmente contra o astrônomo inglês Martin Ryle (Gregory 2005).

cosmologia, incluindo a história de teorias alternativas, perde-se a oportunidade de mostrar, por exemplo, como um conjunto de dados experimentais permite várias interpretações teóricas; ou que a competição entre teorias rivais é, na prática, um processo muito complicado.

A cosmologia é uma ciência especial, sendo particularmente mais aberta a especulações e influências sociais e culturais do que outras áreas da ciência. Tendo em vista a riqueza das discussões que a história da cosmologia permite realizar, consideramos que a história presentista, encontrada em obras que só apresentam os triunfos do Big Bang rumo a sua aceitação hegemônica, mostram uma visão muito pobre sobre o processo de construção das teorias científicas.

Os pesquisadores formulam hipóteses ou conjecturas que podem não ter nenhum fundamento, baseiam-se em analogias vagas, têm ideias preconcebidas ao fazerem suas observações e experimentos, constroem teorias provisórias ou mesmo contraditórias, defendem suas teorias com argumentos fracos ou até irracionais, discordam uns dos outros em quase tudo, lutam entre si para tentar impor suas ideias. As teorias científicas vão sendo construídas por tentativa e erro, elas podem chegar a ser bem estruturadas e fundamentadas, mas jamais podem ser provadas. O processo científico é extremamente complexo, não é lógico e não segue nenhuma fórmula infalível. Há uma arte da pesquisa, que pode ser aprendida, mas não uma sequência de etapas que deve ser seguida sempre, como uma receita de bolo (Martins, R. 2006, p. xix).

Lakatos e, principalmente, Feyerabend concordariam com esta descrição da prática científica, feita pelo historiador da ciência Roberto Martins. Ambos defendiam que o estereótipo do cientista como um ser exclusivamente racional se distancia demais da prática científica.

Acreditamos que as reconstruções racionais da história da ciência, criadas com finalidade didática, devam também dar espaço para teorias alternativas, assim como para os erros cometidos pelos cosmólogos em suas investigações sobre o passado e futuro do universo.

Ao levar para a educação essa visão de ciência mais próxima da prática científica e menos racional e idealizada, há um risco de se induzir concepções ingênuas, como um relativismo radical ou desvalorização da ciência por ela não conduzir a verdades absolutas. No entanto, acreditamos que se essa visão for apresentada de modo adequado, problematizando essas possíveis distorções, a visão dos alunos sobre a ciência pode até mesmo se tornar mais positiva.

Por mais que professores de ensino médio não tenham competência para solucionar complexos debates epistemológicos envolvendo a racionalidade da ciência, ou para argumentar solidamente contra alguma das teorias alternativas ao modelo padrão da cosmologia, acreditamos que sua formação deveria prepará-los para poderem apresentar estas controvérsias aos estudantes. Mesmo sem encontrar uma resposta definitiva para as dúvidas suscitadas pelas discussões, este tipo de debate é essencial para que estudantes exercitem a importante habilidade de raciocinar, questionando criticamente o que seus professores lhes ensinam.

4 Ensinando cosmologia no ensino médio

Neste capítulo apresentamos uma análise de uma sequência de ensino e aprendizagem desenvolvida coletivamente por diversos membros do grupo de pesquisa TeHCo, no Instituto de Física da Universidade de São Paulo⁸⁹. Essa sequência começou a ser desenvolvida em maio de 2012 e foi utilizada em aulas para alunos de ensino médio na Escola Estadual Ana Rosa de Araújo, em São Paulo, entre abril e junho de 2013.

Durante a elaboração, participaram de pelo menos uma reunião do grupo TeHCo cerca de 12 professores de física e pós graduandos do Programa Interunidades em Ensino de Ciências, dos quais 4 estavam atuando naquele momento em escolas estaduais, como professores do Ensino Médio. Como ao mesmo tempo o grupo também estava avaliando uma sequência de ensino-aprendizagem sobre relatividade restrita, o grupo se dividiu, de forma que 5 professores permaneceram discutindo as aulas sobre cosmologia até junho de 2013.

4.1 A criação da sequência de ensino e aprendizagem

Como forma de buscar estratégias alternativas para o ensino de história da ciência, evitando criar uma sequência baseada somente na leitura, discussão e interpretação de textos, o grupo decidiu criar um jogo didático. Além de ser um mecanismo para tornar a leitura mais lúdica e significativa, com isso buscamos também estimular a argumentação, capacidade de trabalhar em grupos e a habilidade de selecionar informações relevantes em uma pesquisa. A ideia do jogo foi sendo construída lentamente, ao longo de meses de discussões semanais, até que em setembro de 2012 foi possível escrever os objetivos gerais e específicos da sequência de ensino e aprendizagem.

Muitos pesquisadores têm defendido que o uso de jogos didáticos é uma boa estratégia para aumentar o interesse e promover o engajamento dos estudantes nas aulas de ciências (Gee 2003, Shaffer 2006, Brito e Sá 2010, Mathias e Amaral 2010, Jann e Leite 2010, Bagley e Shaffer 2011, Braga e Matos 2013, Bretones 2013). Alguns desses jogos consistem em estratégias didáticas para melhorar o ensino tradicional, facilitando a memorização necessária de conceitos científicos. Por outro lado, assim como Sabka e colaboradores (2014), acreditamos que os jogos mais promissores são aqueles que buscam uma transformação mais

⁸⁹Inicialmente o grupo foi chamado GraFiE (Grupo de Atualização da Física Escolar) e foi rebatizado para TeHCo (Grupo de Teoria e História do Conhecimento Científico e Escolar). Uma versão digital do material didático desenvolvido está publicada no site: www.if.usp.br/tehco

radical das aulas de ciências, com menos atenção à transmissão de conteúdos e maior foco na promoção de pensamento crítico sobre temas sociocientíficos.

Nós desenvolvemos um jogo inspirado pela prática e pesquisa de educadores que buscam estimular a criatividade e imaginação dos estudantes, assim como promover habilidades importantes, tais como pesquisa colaborativa e trabalho em equipe.

O Epistemic Games Group, da Universidade de Wisconsin, desenvolveu vários jogos educacionais que buscam desenvolver habilidades, conhecimentos, identidades, valores e epistemologia que profissionais usam para pensar de modo inovador (Shaffer 2006). Enquanto os estudantes jogam estes “jogos epistêmicos” em mundos virtuais, eles são convidados a refletir e buscar soluções para problemas do mundo real. Dessa forma, eles podem aprender a pensar e agir de modo semelhante a historiadores, jornalistas, cientistas, profissionais de planejamento urbano e outros profissionais criativos.

Uma das estratégias mais promissoras para promover pensamento crítico na educação científica é a de jogos baseados em debates. Esse tipo de estratégia, às vezes chamada de “Júri simulado”, tem sido usada para ensinar, com enfoque histórico, temas de física (Guerra et al 2002, Silva e Martins 2009, Forato 2009, Ferry e Nagem 2009), química (Brito e Sá 2010, Mathias e Amaral 2010) e astronomia (Ferreira et al 2011, Ferreira 2013).

Na versão de Shaffer (2006, p.17) deste jogo, chamada por ele de “Jogo de debates”, os estudantes são convidados a pensar como historiadores, debatendo a Guerra entre Espanha e EUA, no fim do século XIX. As discussões são organizadas como em debates políticos eleitorais, nos quais os estudantes têm papéis de “debatedores” e parte do “júri”. O júri deve decidir qual grupo de debatedores apresentou os melhores argumentos na discussão, tornando-se então vencedores do jogo.

Shaffer argumentou que a principal diferença entre o modo como estudantes do ensino médio e historiadores profissionais pensam é a importância atribuída à informação e o viés (*bias*) no discurso histórico. Enquanto os estudantes querem memorizar uma grande quantidade de fatos, e vêem o viés como um atributo binário, historiadores buscam investigar como os vieses, que são inevitáveis, podem afetar sua interpretação das fontes históricas (idem, p. 30). Portanto, o “Jogo de debates” é uma forma de transformar aulas de história, de forma que em vez de memorizar grande quantidade de informações históricas, os estudantes são encorajados a pensar como historiadores em debates sobre diferentes interpretações históricas. Ao jogar este jogo, os estudantes não vão aprender a complexa epistemologia de historiadores profissionais, mas podem desenvolver uma visão mais autêntica do processo de

construção da história e também outras habilidades importantes, como escrita, leitura, pesquisa e comunicação.

O jogo “Cosmic” foi desenvolvido entre 2012 e 2013, e só conhecemos os jogos do Epistemic Games Group no ano seguinte. Portanto nossos jogos foram criados de forma independente, mas têm muitos objetivos educacionais e formas de organizar os debates muito semelhantes.

A criação do “Cosmic” também foi inspirada por diversos cursos anteriores ministrados entre 2008 e 2012, tanto no ensino médio quanto na formação inicial e continuada de professores.

A sequência de ensino e aprendizagem “Controvérsias na cosmologia” foi construída para alunos do ensino médio, durante a disciplina “Metodologia de Ensino de Física”, no curso de Licenciatura em Física da USP⁹⁰. Ela foi baseada nos estudos sobre história da cosmologia, com ênfase no período entre 1948 a 1965, da dissertação de mestrado de Alexandre Bagdonas, orientada pela professora Cibelle Silva (Henrique 2011).

Algumas atividades, como os debates do tipo Júri Simulado, foram criadas durante a elaboração de cursos de formação continuada de professores nos Encontros USP Escola, para ensinar história da gravitação, astronomia, e física moderna e contemporânea com enfoque histórico. Estes cursos foram criados coletivamente por diversos colaboradores⁹¹. Uma das versões do Júri Simulado sobre história da cosmologia foi inspirada no texto “Big Bang Brasil”, escrito pelo divulgador de ciências Salvador Nogueira⁹². Nela os estudantes faziam parte de um jogo de interpretação de papéis em que cientistas faziam parte de um reality show, inspirado no programa de televisão *Big Brother Brasil*. Nos chamados “paredões”, eles votavam em um cientista da “casa” para ser eliminado do jogo. Esse tipo de atividade foi investigada em cursos de formação de professores (Henrique e Colombo 2011) e adaptada por um grupo de Teatro, o GTPsi, para ensinar ciências no ensino médio (Ginebro e Bretones 2012).

⁹⁰Disponível em <http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/222/Sequ%Eancia%20Did%E1tica%20-%20Controv%E9rsias%20na%20Cosmologia.pdf>, acesso em dezembro de 2014.

⁹¹ ZANETIC, João ;BAGDONAS, Alexandre; GAMA, Leandro D. ;FERREIRA, F. P. . I Encontro USP- Escola: Gravitação, numa abordagem histórico filosófica. 2011.

BAGDONAS, Alexandre ; CARVALHO, T. F. G. ; SOUZA FILHO, J. O. X. ; BARROS, G. . II Encontro USP-Escola: Astronomia Experimentação, debates e construção de modelos. 2011.

BAGDONAS, Alexandre ; CARVALHO, T. F. G. ; SOUZA FILHO, J. O. X. ; BARROS, G. . IV Encontro USP Escola: Experimentos de Astronomia: a vida, o Universo e tudo mais.. 2012.

BAGDONAS, Alexandre ; CARVALHO, T. F. G. ; SOUZA FILHO, J. O. X. ; BARROS, G. . III Encontro USP-Escola: Astronomia, Observação, Experimentos, Modelos e Debates. 2012.

⁹² <http://mensagemsidereal.blogfolha.uol.com.br/2014/02/03/a-saga-do-bbb-big-bang-brasil/>

4.2 *Tensões entre prescrições de historiadores e educadores*

Um dos principais desafios durante a construção coletiva da sequência de ensino e aprendizagem e do jogo Cosmic foi atender tanto às recomendações de pesquisadores interessados na inserção da história e filosofia da ciência no ensino, quanto às necessidades didáticas, que no grupo eram representadas principalmente pela experiência dos professores em atuação na educação básica. Além disso, quase todos os membros do grupo eram pesquisadores do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP. Portanto por mais que não tenhamos adotado nenhum referencial teórico educacional durante as reuniões que envolveram a criação da sequência de ensino aprendizagem, todos fomos inspirados por leituras semelhantes.

Como resultado de sua tese de doutorado, Forato (2009, vol.1, p.188-196) elaborou um conjunto de 22 parâmetros para auxiliar a criação de sequências didáticas que façam uso da história, filosofia e sociologia da ciência na educação básica. Decidimos aproveitar os resultados dessa pesquisa para auxiliar a construção da nossa sequência de ensino e aprendizagem, principalmente por que eles são estruturados a partir de *tensões* entre os requisitos da historiografia da ciência contemporânea e as prescrições da didática das ciências. A partir do estudo destas tensões, Thaís Forato, Maurício Pietrocola (pesquisadores do ensino de ciências)⁹³ e Roberto de Andrade Martins (historiador da ciência) apresentaram uma série de obstáculos a serem enfrentados pelos pesquisadores que pretendem contribuir para a inserção efetiva da história da ciência nas aulas de ciências e buscaram formas de lidar com essas dificuldades (Forato 2009, Forato *et al.* 2011, 2012).

Dessa forma, esses parâmetros se aproximam muito mais de nossa proposta, que busca evitar *consensos* e valoriza as *controvérsias*. Por isso, esses parâmetros foram debatidos em uma das reuniões do grupo de pesquisa em setembro de 2012, guiando a sistematização da proposta que vinha sendo discutida desde maio do mesmo ano.

Para os profissionais da história da ciência, características como a profundidade do estudo, o rigor histórico e a preocupação com distorções são essenciais para a qualidade das pesquisas. Já no ensino de ciências, há o desafio de apresentar os casos históricos com maior extensão do que profundidade para permitir aos alunos um primeiro contato mais superficial e abrangente de cada período histórico, já que o tempo didático disponível é muito menor para o aluno do que o tempo de pesquisa do historiador profissional. Para os jovens não é possível

⁹³ Ambos fazem parte do LAPEF, grupo onde se iniciou a produção de sequências didáticas sobre Física Moderna e Contemporânea. Ver nota 3.

nem desejável apenas mostrar a complexidade e riqueza de detalhes presentes em qualquer episódio histórico analisado com um olhar profundo. É essencial que sejam feitas simplificações e uma busca por maior compreensibilidade.

Portanto, nessa tensão entre simplificação e complexificação, há sempre o risco de exageros para qualquer um dos lados, tanto através da construção de uma atividade muito pobre, com distorções históricas graves, que inevitavelmente causam muitos danos ao transmitir visões ingênuas sobre a natureza da ciência, quanto ao se construir uma sequência de ensino e aprendizagem excessivamente complicada e específica, que não poderá ser compreendida nem pelos professores nem pelos alunos e também causará danos ao negligenciar outros objetivos de aprendizagem não relacionados à história da ciência.

A seguir apresentamos 19 parâmetros propostos por Forato (2009), e um comentário relatando como o grupo de pesquisa debateu o problema apresentado e tomou decisões que levaram à construção da sequência de ensino e aprendizagem⁹⁴.

1. *Estabelecer os propósitos pedagógicos para os usos da HFSC no ensino.*

O objetivo geral da sequência é permitir aos estudantes uma compreensão mais rica sobre as formas com que a ciência se relaciona com seu contexto histórico-social. Para isso, foi criado um jogo didático, em que os alunos investigam a história da ciência no início do século XX, principalmente entre 1914 e 1939, refletindo e discutindo sobre possíveis relações entre a história política mundial e o desenvolvimento da cosmologia relativística.

Como objetivos específicos, queremos que os alunos possam compreender conceitos de cosmologia, como: constante cosmológica e universo estático; expansão do universo e o desvio espectral para o vermelho; a relação entre desvio espectral e distância (conhecida como lei de Hubble) e as diferentes interpretações para o desvio para o vermelho, percebendo que os mesmos dados podem ser interpretados de diferentes maneiras. Queremos também que eles possam refletir sobre o conceito de “descoberta” na ciência, percebendo as distorções comuns que a mídia faz sobre a criação de teorias como fruto da mente de “gênios” isolados; discutir os possíveis candidatos para a “descoberta” da expansão do universo, percebendo que a construção dessa teoria teve muitos colaboradores; entender o processo de aceitação dos artigos científicos a partir da avaliação por pares; perceber tanto a importância das observações astronômicas para a decisão de qual seria o melhor modelo cosmológico, quanto

⁹⁴ Neste texto, mantivemos apenas a análise feita com os parâmetros antes da intervenção em aula. Após a análise dos dados da intervenção em sala de aula, utilizamos novamente os parâmetros para avaliar a aplicação (Forato e Bagdonas, no prelo).

algumas influências humanas sobre a atividade científica, nas relações de poder entre cientistas, disputas de prioridade e na avaliação dos resultados obtidos.

2. *Explicitar a concepção de ciência adotada e os aspectos epistemológicos pretendidos.*

Nesse jogo, que constitui a estrutura principal da sequência de ensino e aprendizagem, os objetivos gerais são problematizar tanto o *racionalismo ingênuo* (mais comum entre cientistas naturais), a visão do cientista neutro, livre de influências ideológicas; quanto o *relativismo ingênuo* (mais comum entre intelectuais humanistas), a visão do cientista sempre oportunista, inescrupuloso, dominado por influências ideológicas⁹⁵. Esperamos que os alunos vejam a ciência como uma construção humana *influenciada* pelo contexto histórico-social, mas não *determinada* por ele.

3. *Selecionar o tema e os conteúdos históricos apropriados.*

A aceitação da teoria da expansão do universo, entre 1917 e 1939. Esse episódio é adequado para nossa discussão principalmente por que nessa época as influências políticas e religiosas sobre a ciência foram particularmente importantes (Kragh 1996, 2004).

4. *Selecionar os aspectos a enfatizar e a omitir em cada conteúdo da história da ciência.*

Aspectos a enfatizar

O jogo é constituído de três fases, sendo que cada uma corresponde a um período histórico.

Na 1ª fase, enfatizamos o debate entre os cientistas Albert Einstein e Alexander Friedmann sobre a expansão do universo, dando atenção para o sistema de revisão por pares, já que Einstein foi parecerista de um artigo submetido por Friedmann a uma revista alemã.

Na 2ª fase há ênfase sobre as contribuições de Lemaître e Hubble para a teoria da expansão do universo, debatendo quem teria sido o “descobridor” desta teoria. Buscamos assim enfatizar que a construção desta teoria foi um processo coletivo.

Finalmente, na 3ª fase há ênfase sobre teorias alternativas para explicar o desvio espectral para o vermelho (redshift) das galáxias, como forma de discutir diferentes interpretações para os mesmos dados observacionais.

Além disso, vale a pena ressaltar que no processo de argumentação do jogo vários aspectos diferentes podem ser valorizados, dependendo do interesse dos alunos e do professor. Os cartões não apresentam só aspectos da cosmologia, mas também de outras teorias físicas,

⁹⁵ Essa tensão foi apresentada nas seções 2.4 até 2.6.

além de aspectos políticos, sociais e culturais. Por exemplo, em algumas séries, houve meninas que se interessaram pela participação de mulheres na ciência, como Emmy Noether. Já outros meninos se mostraram particularmente interessados na contribuição da ciência para a produção de armas na Primeira Guerra Mundial.

Porém a estrutura do jogo estimula que os alunos passem a se interessar cada vez mais por aspectos mais relacionados a aspectos conceituais da cosmologia.

Aspectos a omitir:

Como a sequência didática buscava um equilíbrio entre abordar conteúdos de cosmologia e seu contexto histórico, vários aspectos conceituais precisaram ser omitidos. Por exemplo, omitimos o formalismo matemático da cosmologia relativística, que envolve equações diferenciais ou tensores, pois tais requisitos matemáticos não seriam adequados para alunos do ensino médio. Também não abordamos certos conceitos complexos, como distâncias comóveis, fator de escala, espaço-tempo quadridimensional, entre outros.

Também omitimos discussões mais aprofundadas sobre diferenças entre Astronomia, Astronáutica, Astrologia e outras formas de conhecimento que se confundem com a Cosmologia, assim como explicações mais detalhadas sobre conceitos astronômicos como métodos de medida de distâncias de galáxias e espectroscopia, magnitude absoluta e aparente, paralaxe, além de explicações físicas mais profundas sobre os desvios espectrais, como a formação dos espectros e conceitos de eletromagnetismo e mecânica quântica envolvidos em sua explicação. Ainda que todos esses conceitos sejam importantes no ensino formal de cosmologia no ensino superior, por estarem diretamente relacionados ao redshift, no nosso contexto de ensino julgamos ser possível apresentar uma visão inicial da cosmologia omitindo estes aspectos.

Além disso, pelo recorte dos estudos históricos já mencionado no parâmetro 3, foram omitidos os desenvolvimentos da cosmologia contemporânea, após a década de 1940: a teoria do Estado Estacionário, física nuclear e partículas, origem dos elementos químicos, matéria escura, energia escura, inflação⁹⁶.

5. *Confrontar os aspectos omitidos com os aspectos da natureza da ciência objetivados.*

⁹⁶O ensino de cosmologia em períodos históricos mais extensos, incluindo o período posterior a 1965, foi abordado nas seguintes teses e dissertações: Magalhães 2003, Oliveira 2006, Aguiar 2010, Arthury 2010, Jardim 2012, Susalla 2013, Skolimowski 2014.

Por termos omitido os aspectos matemáticos mais complexos da cosmologia relativística, há um risco forte de supervalorização das influências políticas, que poderia fortalecer visões relativistas ou fomentar o determinismo social.

A cosmologia é uma ciência especial, com forte influência de questões religiosas e políticas sobre seu desenvolvimento, principalmente no período estudado, quando ainda havia poucas observações astronômicas disponíveis. Por isso ela foi escolhida para conduzir discussões sobre a influência da política sobre a ciência.

Porém, com isso existe o risco de que o que for aprendido sobre esse episódio específico seja generalizado para a ciência como um todo, principalmente num curso em que os aspectos matemáticos foram omitidos.

Discussões sobre a natureza da ciência envolvem uma análise da ciência como um todo, logo um estudo de caso como a análise da história da cosmologia em um período específico deve ser necessariamente humilde quanto à possibilidade de generalização. Uma visão geral da “natureza da ciência” só pode ser conseguida pela comparação com outros episódios históricos, e outras ciências.

Por outro lado, existem inúmeros episódios históricos que podem levar a discussões semelhantes, sobre relações entre a ciência e seu contexto sócio-histórico. No âmbito das pesquisas CTS, casos emblemáticos são a história do DDT, pesquisas nucleares e transgênicos. No caso de relações entre ciência e religião, além de episódios envolvendo cosmologia (Henrique 2011), há também o célebre caso de Galileu (Sepúlveda e El-Hani 2001) e os debates envolvendo criacionismo e a teoria da evolução (Sepúlveda e El Hani 2004).

6. *Definir o nível de detalhamento do contexto não científico a ser tratado.*

Como o jogo foi estruturado tanto a partir de uma divisão geográfica quanto histórica, conhecimentos da história política, cultural e econômica do período entreguerras são parte essencial do aprendizado nesta sequência de ensino e aprendizagem.

7. *Mediar as simplificações e omissões, pois enfatizar a influência de aspectos não científicos pode promover interpretações relativistas extremas.*

Como estratégia para evitar o determinismo social sobre a ciência, enfatizamos casos em que dois cientistas em dois contextos sociais diferentes podem chegar aos mesmos resultados (Ex: Friedmann, Lemaître e Robertson); atribuir importância à matemática (Ex: nas discussões entre Einstein e Friedmann) e a observações astronômicas (Ex: observação dos

desvios espectrais para o vermelho das nebulosas de Slipher, melhoria dos métodos de distância realizados por Hubble) nos debates ocorridos.

8. *Avaliar quando é possível superar ou contornar a ausência de pré-requisitos nos conhecimentos matemáticos, físicos, históricos, epistemológicos.*

Não notamos ausência de pré-requisitos históricos, pois os estudantes do Ensino Médio têm certa familiaridade com o período histórico estudado, já que nas aulas de história, em geral, se estuda o século XX no último ano do ensino fundamental. Contudo, o aprendizado seria ainda mais rico se for possível uma abordagem colaborativa entre professores de ciência e história.

Já quanto aos pré-requisitos epistemológicos, há uma série de aspectos importantes sobre a natureza da ciência que não foram abordados na sequência, tais como os conceitos de “lei”, “modelo”, “teoria”, “método científico”, “hipótese”, entre outros. Não esperamos que os alunos memorizem a definição de tais conceitos, mas que compreendam seu significado e utilizem adequadamente tais conceitos.

9. *Combinar um grupo de estratégias e recursos didáticos distintos pode compensar a falta de conhecimento em certos conteúdos físicos e matemáticos. Por exemplo, quando a omissão da matemática não é problemática para os objetivos pretendidos: riscos envolvidos.*

A cosmologia relativística exige uma série de conhecimentos como pré-requisitos, tanto matemáticos (cálculo diferencial, integral e tensorial, geometrias não euclidianas) quanto físicos (ondas eletromagnéticas, espectroscopia, efeito Doppler etc.). Para contornar a ausência de pré-requisitos *físicos e matemáticos* adotamos uma abordagem qualitativa, deixando claro para os alunos que o curso não lhes permite uma visão profunda do assunto, que só seria possível com anos de estudo de física e matemática em nível universitário.

Os estudantes avaliaram a linearidade de propostas da relação redshift-distância de Silberstein, Lundmark e Hubble. André Noronha, um integrante do TeHCo, criou uma animação de computador para apresentar a teoria da luz cansada de Fritz Zwicky. Também foram propostas analogias, incluindo discussões sobre suas limitações, tais como a bexiga para representar a expansão de um universo bidimensional⁹⁷.

10. *Definir o nível de profundidade e formulação discursiva dos conteúdos epistemológicos.*

⁹⁷Ver o arquivo “tired light.zip”, no site www.if.usp.br/tehco. Outra analogia interessante é o Universo da Gominha Esticada (Soares 2014), publicada após a implementação da nossa sequência didática.

Conforme discutido no parâmetro 2, buscamos problematizar visões empírico-indutivistas e relativistas extremas. Foram conduzidos debates envolvendo diferentes visões da natureza da ciência durante o jogo didático, já que neste os estudantes precisaram justificar suas escolhas fazendo o papel de membros de uma instituição de fomento à pesquisa científica. Estas escolhas foram muito ricas para que pudéssemos identificar, analisar e discutir visões de ciência dos alunos.

Evidentemente, não esperávamos dos estudantes uma compreensão profunda de conceitos epistemológicos, tais como “neutralidade” ou “determinismo social”, já que este foi, provavelmente, um de seus primeiros contatos com estudos sobre a natureza da ciência. Foram considerados adequados os argumentos formulados mesmo quando utilizavam termos como “descoberta”, “prova”, “lei”, “modelo” de modo não rigoroso, tal como discutido no parâmetro 8. Como Forato (2009, p.185), construímos textos adotando normas padrão da língua portuguesa, mas não rigorosamente acadêmica, buscando aproximação com a linguagem cotidiana dos alunos. As atividades foram planejadas de modo a utilizar conceitos epistemológicos, sem defini-los formalmente, mas construindo narrativas e discussões que promovessem a sua compreensão.

11. *Ponderar sobre o uso de fontes primárias na escola básica.*

Estão presentes na criação dos materiais e do jogo trechos de cartas, algumas frases de artigos dos cientistas. Porém há também muitos trechos de fontes secundárias, assim como textos adaptados pelos membros do grupo de pesquisa para facilitar a compreensão dos alunos.

12. *Abordar diacronicamente os conteúdos da história da ciência de difícil compreensão atualmente: é interessante estabelecer relação entre resultados relevantes para a construção da ciência com conteúdos descartados ou atualmente considerados “esquisitos”.*

Como nossa sequência trata de assuntos relativamente recentes, há um risco menor de cair em abordagens anacrônicas do que quando se traz episódios mais distantes historicamente, como a física aristotélica, ou até mesmo a revolução copernicana. Porém na física do século XX mesmo os conceitos considerados corretos são vistos pelos não especialistas como “estranhos”: a teoria da relatividade rompe com as noções intuitivas de espaço e tempo, o conceito de criação do universo a partir do nada. As teorias alternativas, que têm menos adeptos, também são estranhas, como a criação de matéria na teoria do Estado Estacionário ou a perda de energia na teoria da luz cansada.

13. *Abordar diacronicamente diferentes concepções de ciência e o pensamento dos filósofos, filósofos naturais e cientistas de distintos períodos e civilizações: apresentar vários pensadores contemporâneos trabalhando com os mesmos pressupostos metodológicos pode auxiliar a crítica ao preconceito e a anacronismos.*

Certamente nossa sequência de ensino e aprendizagem seria mais eficiente se complementada por outras sequências que discutam os mesmos aspectos da natureza da ciência a partir de outros episódios históricos como, por exemplo, os mitos de criação de diferentes civilizações na Antiguidade, a Revolução Copernicana, ou na cosmologia contemporânea, posterior à Segunda Guerra Mundial. Porém, como a história da cosmologia ainda foi muito pouco explorada no ensino de ciências, o estudo dos episódios históricos demandou muito tempo de pesquisa. Com isso, decidimos fazer um recorte histórico no período entre 1914 e 1939, privilegiando a profundidade em detrimento da extensão.

14. *Apresentar exemplos de teorias superadas em diferentes contextos culturais permite criticar ideias ingênuas sobre história e epistemologia da ciência, como a possível concepção de que a ciência atual pode resolver todos os problemas.*

Em nosso episódio histórico apresentamos a superação da gravitação newtoniana pela relatividade geral, para situações em corpos com velocidades próximas à da luz; e a nova visão de um universo com dimensões do Sistema Solar para um universo muito maior, composto por bilhões de galáxias, complexificando a ideia do modelo Heliocêntrico entendendo que o imóvel Sol copernicano (consequentemente todo o sistema solar) também está em movimento; e de um universo estático por um universo em expansão. Ainda assim, as teorias mais atuais, apresentam limitações e aspectos não explicados, por exemplo, o desafio de explicar o que são a matéria e energia escuras, que parecem compor mais de 95% do universo observável.

15. *Defender uma nova ideia conflitante com aquelas predominantes no repertório cultural dos estudantes requer o uso de estratégias capazes de criar desconforto, conflitos que permitam o questionamento de ideias preestabelecidas;*

Buscamos questionar o estereótipo de Einstein como cientista neutro, imparcial e defensor do internacionalismo. Apresentamos Friedmann e Lemaître inicialmente como desconhecidos com ideias “esquisitas”, entrando no contexto da década de 1920, mas que acabaram questionando a autoridade de Einstein e mostrando que ele estava errado.

Outra concepção difícil de ser alterada são as visões ingênuas sobre a natureza da ciência, tais como a possibilidade de *provar experimentalmente* as teorias científicas. Por isso na

sequência buscamos enfatizar sempre a possibilidade de diferentes *interpretações* dos dados experimentais, principalmente do desvio espectral das galáxias.

16. *Compensar a falta de preparo do professor para lidar com saberes da história e filosofia da ciência na sala de aula inclui prepará-lo para identificar e problematizar manifestações anacrônicas. Materiais didáticos poderiam incluir orientações e advertências sobre ideias inesperadas e possíveis modos para se lidar com elas;*

Distorções históricas possíveis, que foram problematizadas na sequência: Hubble não descobriu a expansão do universo. Essa interpretação dos desvios espectrais foi um processo gradual e coletivo, em que Lemaître, de Sitter, Slipher, Lundmark, Silberstein, Wirtz e outros tiveram contribuições relevantes. A constante cosmológica não foi abandonada pelos defensores da expansão do universo, como Friedmann e Lemaître.

17. *Escolher temas que despertem a curiosidade da faixa etária pretendida. A escolha não pode considerar apenas critérios técnicos e objetivos, mas envolver os estudantes é fundamental.*

Como criamos um jogo didático, inspirado em diversos jogos populares entre adolescentes, tais como War, Detetive, Pandemic, Civilization, entre outros. Também demos preferência, na seleção de informações apresentadas nos cartões para certos aspectos biográficos de cientistas relacionados às guerras por seu valor como narrativas interessantes.. Há diversos elementos que podem atrair a atenção de diferentes perfis de alunos, por lembrarem filmes de ação ou romances policiais com elementos dramáticos nas narrativas (tais como o uso de armas químicas na Primeira Guerra Mundial, a viagem de balão de Friedmann quebrando o recorde soviético e o sonho de Tsiolkovskii de comprar uma vaca para sustentar sua família⁹⁸).

18. *Ponderar sobre a quantidade e profundidade dos textos.*

Buscamos facilitar a leitura de uma grande quantidade de informações criando cartões de textos bem reduzidos. Por outro lado, há o risco de que se interprete essas informações como algo a ser memorizado, o que certamente tornaria a sequência de ensino e aprendizagem muito informativa (não formativa) e difícil de ser realizada. Por isso, é importante chamar sempre a atenção dos alunos para a importância de aprender a extrair o mais importante do “mar de informações” disponíveis, uma habilidade cada vez mais importante no mundo contemporâneo, em que os jovens são bombardeados por uma infinidade de informações na internet.

⁹⁸Ver a página 162, na seção 4.3.2.

19. *Questionar cada mensagem objetivada sobre a natureza da ciência em diferentes atividades didáticas e distintos episódios históricos.*

A influência política sobre a ciência aparece inicialmente nas discussões envolvendo a proposta de boicote à ciência alemã após a Primeira Guerra Mundial, como forma de mostrar influências sociais mais amplas sobre a sociedade como um todo, que afetam também os cientistas. Também ilustramos influências psicológicas e estéticas nas crenças individuais de cada cientista, como no episódio da rejeição da proposta de Friedmann, um jovem desconhecido, por Einstein, um cientista já renomado.

Posteriormente, a importância de fatores políticos é minimizada, salientando que Friedmann, Lemaître e Robertson chegaram aos mesmos resultados, estando em contextos distintos; as observações dos desvios espectrais para o vermelho foram essenciais para definir a escolha entre modelos cosmológicos.

Com isso, as diversas formas de influência política sobre a ciência apareceram em diferentes contextos, em diferentes episódios históricos, sendo sistematizadas e organizadas na atividade final.

4.3 A sequência de ensino e aprendizagem produzida

Os parâmetros apresentados acima serviram como forma de sistematizarmos as discussões ocorridas nas reuniões do grupo de pesquisa, de modo que até o começo de 2013 já tínhamos um esboço da estrutura geral da sequência de ensino e aprendizagem, em três fases do jogo didático, que recebeu o nome *COSMIC – Conselho Mundial de Suporte à Investigação sobre Cosmologia*, como será explicado a seguir⁹⁹.

A sequência de ensino e aprendizagem pode ser dividida em quatro partes, uma introdução e as três fases em que é dividido o jogo. Cada fase simula a passagem do tempo, ao longo de três períodos históricos (Primeira fase: 1914-1924; Segunda fase: 1925-1931; Terceira fase 1932-1939). A tabela abaixo mostra as 14 atividades criadas:

⁹⁹ Vários trechos da seção 4.2 foram escritos coletivamente por membros do grupo de pesquisa, em um trabalho apresentado no ENPEC (Gurgel *et al.* 2013) e no SNEA (Bagdonas *et al.* 2014b).

Atividade	Fase	Descrição
1	0	O que é cosmologia? Apresentação do jogo COSMIC
2	0	Panorama científico e político do início do século XX
3	1 ^a	Investigações sobre o período 1914 a 1924
4	1 ^a	Modelos de universo estático e em expansão
5	1 ^a	Debate sobre prêmio da 1 ^a fase
6	2 ^a	Investigações sobre o período 1925 a 1931.
7	2 ^a	Estudos sobre relação redshift-distância
8	2 ^a	Disputa de prioridade sobre “Lei de Hubble”
9	2 ^a	Debate sobre prêmio da 2 ^a fase
10	3 ^a	Investigações sobre o período 1932 a 1939
11	3 ^a	Expansão do universo, teoria da “luz cansada”
12	3 ^a	Idade do universo
13	3 ^a	Debate sobre prêmio da final
14	-	Avaliação final

Tabela 6: Atividades da sequência de ensino e aprendizagem

A introdução, composta de duas aulas, é importante para apresentar aos alunos o contexto histórico em que se dá o jogo didático, assim como para negociar com a classe os papéis atribuídos ao professor e aos alunos nas atividades seguintes.

Nas duas primeiras atividades da sequência de ensino e aprendizagem o professor apresentou todas as atividades propostas, buscando promover o interesse dos alunos e também negociando um novo modo de organizar as aulas, muito diferente em relação ao que os estudantes estavam acostumados nas demais aulas.

Como nesta sequência de ensino e aprendizagem as atividades foram inspiradas tanto no ensino de ciências naturais quanto no ensino de ciências humanas, nas três séries do 1º ano do Ensino Médio (1º A, B e C) os alunos se surpreenderam com a primeira atividade, dizendo que a aula parecia mais uma aula de filosofia do que uma aula de física.

Além disso, na introdução também é importante que os alunos entendam o que é cosmologia, diferenciando-a de outras ciências semelhantes como a astrofísica e a astronomia. Para isso são apresentados vídeos e discussões sobre diversas formas de “tentar entender o universo”, tais como mitos de criação, a imagem de universo de extraterrestres do filme Homens de Preto (M. I. B.) e as teorias cosmológicas contemporâneas, além de comparações entre dimensões e distâncias astronômicas. O objetivo desta aula inicial é apresentar aos alunos o desafio e a pretensão envolvidos na tentativa humana de entender o universo como um todo. No fim da introdução, é apresentado o jogo COSMIC.

4.3.1 Regras e objetivos do jogo COSMIC

O jogo possui um cenário fictício, que se inicia no ano de 1914, com o professor se apresentando como o dirigente de uma subdivisão recém-formada da Fundação Rockefeller, responsável pelo incentivo ao desenvolvimento da cosmologia.

Como boa parte desta tese foi baseada em estudos de história da cosmologia, vale a pena ressaltar que o cenário do jogo foi inventado: no início do século a cosmologia era considerada uma ciência demasiadamente especulativa, de forma que jamais existiu na Fundação Rockefeller, ou mesmo em outras instituições de fomento, nenhuma subdivisão dedicada a financiar este tipo de pesquisa.

A maior parte dos cientistas que trabalharam em cosmologia o faziam como uma pesquisa de dedicação parcial, inserida em meio a investigações de outros assuntos mais tradicionais e tidos como menos especulativos, como a física ou a astronomia.

Como dirigente, o professor apresenta aos alunos os objetivos da Fundação Rockefeller, que é a busca e o financiamento filantrópico a atividades humanas que promovam o desenvolvimento humano, incluindo o desenvolvimento científico. Em seguida justifica o surgimento desta nossa subdivisão, apontando que nesta época estão começando a surgir pesquisas que podem trazer informações relevantes para o entendimento da humanidade sobre nosso universo.

Essa ficção foi criada por motivos lúdicos e por permitir investigar o valor atribuído aos estudantes pela ciência, quando eles decidem onde investir recursos. Os alunos investigam informações sobre a história da ciência e sobre a história política ao redor do mundo, tendo como tarefa encontrar ambientes promissores para o desenvolvimento de estudos sobre cosmologia.

Os alunos, representando membros da Fundação Rockefeller, foram divididos em 7 grupos, 6 grupos de investigadores e 1 grupo que compõe o júri. A meta de cada grupo de investigadores é buscar, ao redor do mundo, informações sobre países e cientistas com potencial para pesquisas sobre cosmologia, para posteriormente argumentar para o júri onde devem ser feitos os financiamentos visados pela Fundação.

O jogo é dividido em três fases, que representam três períodos distintos (1914-1924; 1925-1931; 1932-1939). Cada uma dessas fases possui três etapas, inspiradas nos momentos

pedagógicos freireanos, sistematizados por Delizoicov (1983): 1. Problemática inicial. 2. Organização do conhecimento; 3. Aplicação do conhecimento.¹⁰⁰

Na *problemática inicial* se pretende que o estudo parta do conhecimento vivencial dos alunos, debatidos entre professor e alunos. O papel do professor é questionar, provocar a dúvida e gerar interesse pela discussão.

Porém, em nosso jogo, ao contrário das propostas freireanas de ensino, a problemática inicial não parte do conhecimento cotidiano do estudante. Justamente por tratar de assuntos abstratos como a cosmologia, que não tem quase nenhuma aplicação prática, tivemos que substituir as problemáticas que partem do cotidiano por problemáticas teóricas, pautadas no imaginário. Utilizamos o cenário histórico do jogo para buscar questões curiosas e instigantes, que motivassem a investigação dos alunos em cada aula.

Dessa maneira, em cada fase do jogo há três etapas:

1. Inicialmente uma *aula de investigação*, em que os alunos pesquisam sobre história política e história da ciência, decidindo em que país quer investir recursos.
2. Uma ou mais *aulas de sistematização*, em que o professor seleciona e apresenta os principais eventos históricos e científicos do período.
3. Uma aula de *argumentação e avaliação*, em que a sala coletivamente decide qual cientista deve receber o prêmio da rodada.

Na primeira etapa, de *investigação*, os alunos “viajaram” pelos países da Europa e EUA até recolherem 6 cartões com informações históricas, que seriam produzidas pelos “investigadores de campo” da Rockefeller. Assim, eles tiveram um primeiro contato com os elementos relevantes da época no momento de investigação, de forma que o principal desafio é desenvolver a habilidade de selecionar e organizar informações relevantes, percebendo ao longo do processo o que é mais importante para o aprendizado de cada um.

Após a investigação, um segundo contato dos alunos com os elementos históricos e científicos do período acontece em aulas de *sistematização* e *organização do conhecimento*, em que o professor enfatiza quais elementos históricos foram mais relevantes para entender a história da cosmologia.

Finalmente, na terceira etapa de cada fase há uma aula de *argumentação* entre os alunos a respeito de qual cientista que apareceu na época deve receber um prêmio. O professor relembra quais foram os principais cientistas envolvidos nos eventos apresentados na etapa de

¹⁰⁰ Contudo, esta inspiração foi bastante indireta, já que não houve nenhuma discussão explícita no grupo de pesquisa sobre os Três Momentos Pedagógicos. Diversos membros do grupo já haviam lido e estudado sobre eles anteriormente e a criação do jogo foi um processo complexo, coletivo e espontâneo, o que torna quase impossível falar de inspirações diretas ou aplicações de teorias pedagógicas.

sistematização. Então os alunos, com base em todas as informações obtidas até o momento, argumentam a favor de um cientista como candidato a receber um prêmio especial, que foi inventado por nós como o *Prêmio Rockefeller*. Ao final, o júri decide qual cientista deve receber o prêmio, com base nos argumentos pelos alunos. Nesse processo é importante que recebam auxílio do professor na identificação dos argumentos mais relevantes. Para isso, apresentamos orientações defendendo que eles deveriam buscar as seguintes características: sensibilidade, neutralidade, imparcialidade e clareza. Os jurados se dividiram entre os grupos, verificando se todos os integrantes do grupo participavam, se os argumentos eram plausíveis, baseados nas fichas¹⁰¹.

Antes de serem vistos como fiscais, a proposta era a de que eles seriam colaboradores para promover o aprendizado coletivo. Contudo, constatamos que essa proposta de ruptura radical com a cultura tradicional da avaliação escolar, que normalmente valoriza somente o desempenho individual e competitivo, encontrou muita resistência dos alunos.

4.3.2 A primeira fase 1914 a 1924

Na segunda atividade da sequência de ensino e aprendizagem foi apresentado o contexto histórico do cenário do jogo, com destaque para as alianças da Primeira Guerra Mundial. Para trazer para o jogo as discussões envolvendo nacionalismo na ciência, fizemos uso de trechos do filme *Einstein e Eddington*, que mostram a rivalidade entre ingleses e alemães na ciência causada pela guerra¹⁰².

Com base nos estudos de Noronha e Gurgel (2012), ambos integrantes do TeHCo que participaram da elaboração da sequência, foi apresentada a tese de Peter Galison (2000) sobre a criação da teoria da relatividade restrita por Einstein, Poincaré e Lorentz. Segundo ele, essa teoria foi fortemente influenciada não só por aspectos filosóficos ou problemas restritos à física teórica, envolvendo incompatibilidades entre a mecânica newtoniana e o eletromagnetismo, mas também por problemas tecnológicos. Dentre eles, o principal seria a sincronização de tempos diferentes entre países europeus, cada vez mais frequentes por causa do aumento das viagens de trem.

¹⁰¹ As instruções para jurados estão no site www.if.usp.br/tehco, arquivos "Roteiros para investigadores e jurados.doc" e "Instruções para jurados não-iniciados.pdf".

¹⁰² Foi ao ar na rede de televisão britânica BBC em 2008, dirigido por Philip Martin, http://pt.wikipedia.org/wiki/Einstein_and_Eddington, acesso em maio de 2013. Trechos do filme foram dublados por Natan Balceiro, com auxílio de Alexandre Bagdonas e Vitor Machado.

Na terceira atividade começa a investigação sobre o período 1914 a 1924. Nesse período os cartões com informações históricas enfatizam a questão do nacionalismo na ciência após a primeira Guerra¹⁰³.

Os alunos decidem em quais países querem investigar, e com isso ganham cartões de cores diferentes, que simbolizam cada país. Há vários cartões que tratam do boicote dos países aliados à ciência alemã, contrastando com pacifismo e “internacionalismo” defendidos por Eddington e Einstein, mundialmente famoso após o teste da relatividade geral realizado a partir das observações de um eclipse solar em 1919 no Brasil e na África (Heilbron 1987, Kevles 2005).

O Prêmio Nobel, escolhido pela Academia Sueca de Ciências, foi dado ao químico alemão Fritz Haber em 1918, apesar de ele ter trabalhado na produção de armas químicas na Primeira Guerra. Isso gerou indisposição dos EUA, França e Inglaterra com a Suécia. Por outro lado, com o boicote à ciência alemã, os EUA, França e Inglaterra temiam que os países neutros mantivessem contato com os alemães, pois assim seriam eles os “boicotados” e não os alemães (Kevles 1971).

Entre 1914 e 1924 cientistas alemães ganharam 8 prêmios Nobel de física e de química¹⁰⁴. Também foram laureados 4 britânicos¹⁰⁵, 2 estadunidenses, um suíço, um dinamarquês e um sueco¹⁰⁶. O amplo domínio alemão nas ciências exatas era visto como forma de aumentar o prestígio nacional, em queda com a derrota na Primeira Guerra (Forman 1973).

No campo cultural, apresentamos visões diametralmente opostas sobre as ciências naturais na URSS e na Alemanha¹⁰⁷. Durante o período da república de Weimar havia um ambiente hostil às ciências naturais. Segundo Paul Forman (1971), após a derrota na Guerra se fortaleceu na Alemanha uma visão hostil a ciência, crítica à racionalidade técnica, às ciências exatas e suas aplicações técnicas, principalmente o uso militar da ciência. Uma das palavras odiadas por muitos intelectuais alemães era “causalidade”. Para ele, o abandono da ideia de causalidade na Física, em particular na Teoria Quântica, surgiu principalmente como

¹⁰³ Uma versão completa dos cartões utilizados está disponível em www.if.usp.br/tehc, arquivos "Atividade 3 Fichas 1914 a 1924.pdf"; "Atividade 6 Fichas 1925 a 1931.pdf" e "Atividade 10 Fichas 1932 a 1939.pdf".

¹⁰⁴ 1914: Max Von Laue; 1915: Richard Martin Willstätter; 1918: Fritz Haber; 1918: Max Planck; 1919: Johannes Stark; 1920: Walther Nernst; 1921: Albert Einstein; 1923: Fritz Pregl.

¹⁰⁵ 1915: William Bragg; 1917: Charles Barkla; 1921: Frederick Soddy; 1922: Francis Aston.

¹⁰⁶ 1914: Theodore Richards; 1923: Robert Millikan (EUA); 1920: Eduard Guillaume (Suíça); 1922: Niels Bohr (Dinamarca); 1924: Karl Siegbahn (Suécia), http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/lists/all/, acesso em maio de 2013.

¹⁰⁷ O impacto da Primeira Guerra Mundial sobre a ciência foi discutido por Alexei Kojevnikov, na disciplina “FISB 98 - Newton, Einstein, Bohr: History and Philosophical Lessons of Modern Physics” oferecida no Programa de Pós- Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências com apoio do LACIC - Laboratório Ciência como Cultura, do Instituto de Física da UFBA.

resultado do esforço dos físicos alemães em se adaptar a tal ambiente intelectual hostil, e não como resultado de desenvolvimentos da própria física (Forman 1971). Seria, portanto, um exemplo da influência do ambiente cultural no desenvolvimento da ciência.

Após a derrota na Primeira Guerra, o pioneirismo científico alemão passou a ser uma espécie de substituto para o poder militar. Com o boicote à ciência alemã arquitetado por estadunidenses, ingleses e franceses, os alemães estreitaram suas relações científicas com a URSS. Em 1922, cópias dos artigos alemães foram distribuídas aos cientistas soviéticos, que estavam isolados da ciência internacional desde 1917, durante sua Guerra Civil. Otto Lubarsch (1860-1933), cientista alemão, confessou ter sido bem mais generoso com autores soviéticos, exigindo menos de seus artigos submetidos às revistas alemãs do que era exigido normalmente. Queria evitar com isso que os soviéticos mandassem seus artigos para revistas francesas ou inglesas. (Forman 1973, p.167).

Já na URSS, destruída pelas sucessivas guerras e revoluções, havia otimismo em relação à ciência e à ficção científica. Neste período turbulento, entre guerras e revoluções, Konstantin Tsiolkovskii, professor de matemática em Kaluga, tinha dois sonhos: fazer viagens espaciais e ter uma vaca, o que garantiria pelo menos uma refeição diária para sua família em meio às dificuldades da guerra civil (Andrews 2009). Porém, a partir de 1920, as crianças cresceram num ambiente mais otimista em relação ao futuro. Havia grande entusiasmo com a ficção científica e viagens para outros planetas. Tsiolkovskii acreditava que o Universo seria eterno, mas não as estrelas. Achava que como a vida na Terra não tem futuro, é preciso encontrar outros sistemas. Esses sonhos com viagens espaciais refletem um tipo de “escapismo” que acontecia nesse contexto cultural, com condições de vida tão adversas (Kojevnikov 2011b, p.17).

A recepção entusiástica das ideias de Einstein e Minkowski criou uma turbulência intelectual na Rússia Revolucionária que afetou vários tipos de profissionais, como pintores de vanguarda, poetas futuristas, historiadores, fisiologistas, matemáticos e filósofos místicos. Um exemplo é o de Roman Jakobson (1896-1982), que estudara linguística e poesia na Universidade de Moscou, foi enviado como parte de uma missão diplomática soviética para fazer doutorado em Praga, em 1920. Ao voltar para a Rússia, Jakobson encontrou seu amigo, o poeta russo futurista Vladimir Maiakovski (1893-1930) e lhe contou sobre as novidades que encontrou no exterior. Dentre elas, Maiakovski estava especialmente entusiasmado com a teoria da relatividade geral, por que em sua visão ela poderia ter alguma relação com a “imortalidade”(Kojevnikov 2012).

Maikovski escreveu “Pois eu estou inteiramente convencido de que algum dia não existirá mais a morte. Vão ressuscitar os mortos. Vou procurar um físico que me explique o livro de Einstein ponto por ponto. É impossível que eu não entenda.” Pensava em escrever um telegrama a Albert Einstein, felicitando-o, “da arte do futuro para a ciência do futuro”. Essa inspiração sobre as relações entre a ciência e a imortalidade motivou algumas de suas obras, como *Sobre Isto e O percebejo* (Jakobson 2006, p.29-30).

Nesse período, Alexander Friedmann fez a primeira grande contribuição soviética para a ciência internacional, encontrando os modelos cosmológicos em expansão a partir das equações de campo da relatividade geral (Friedmann 1922, 1924). Ao mesmo tempo, uma série de teorias nada convencionais buscava relacionar conceitos de rejuvenescimento, morte e ressurreição, teorias sobre catástrofes astronômicas e históricas e o eterno retorno. Um destes autores foi Alexander Chizhevsky (1897-1964), que estudou física, matemática e arqueologia em Moscou. Ele desenvolveu uma teoria baseada em dados históricos em que desastres globais como fome, epidemias, guerras e outras grandes perturbações sociais ocorreriam periodicamente na Terra, como resultado de causas naturais: os picos da atividade solar, em média a cada 11 anos. Em 1920 escreveu “O sistema do Cosmos”, um texto sobre cosmologia, defendendo um modelo de universo cíclico, com diversos nascimentos e mortes.

Nossa própria existência evidencia o fato de que o Cosmos já ressurgiu a partir de si mesmo infinitas vezes. O ritmo cósmico, os pulsos que significam o nascimento e morte, seguido de posterior renascimento após a morte das estrelas e sistemas solares, ou mesmo de universos inteiros. A circulação de matéria e a morte dos universos ocorre ciclicamente. A partir das ruínas de um mundo morto surge um novo. O Cosmos não conhece a inanição. Sua vida é eterna, regulada pelo ritmo do pêndulo cósmico colossal. Um período desse pêndulo inclui toda a profundidade do tempo calculável, desde o começo até o fim do universo, que começa sua nova vida com o início do novo período. Somos as crianças de nossa mãe Natureza, que quer que sejamos racionais, que entendamos suas leis e, finalmente, paremos de temer a morte (Chizhevsky 1920 *apud* Kojevnikov 2012, tradução livre).

A mesma ideia seria defendida por Friedmann no livro de divulgação “O universo como espaço e tempo”, publicado em russo em 1923, divulgando a teoria da relatividade geral e a cosmologia na União Soviética:¹⁰⁸

Alguns casos também são possíveis em que o tamanho do universo muda periodicamente: o universo se contrai em um ponto (em nada) e então aumenta seu raio desde o ponto até

¹⁰⁸ Kojevnikov, Alexei <http://www.nba.nbi.dk/files/sem/14feb2011.html>, acesso em fevereiro de 2013.

certo valor, então novamente diminui seu raio de curvatura, transforma-se num ponto etc. Isso traz à mente o que a mitologia Hindu tem a dizer sobre os ciclos de existência e também permite falar sobre “a criação do mundo a partir do nada”, mas tudo isso deve ser considerado como fatos curiosos que não podem ser suportados de forma confiável pelos dados observacionais astronômicos inadequados (Friedmann 1923 *apud* Tropp *et al.* 1993, p. 157, tradução livre).

Os cartões desta fase também tratam da corroboração da teoria da relatividade geral na expedição liderada por Eddington (Videira 2005b); o papel de W. de Sitter como diplomata entre alemães e ingleses no período posterior à Primeira Guerra; a Revolução Russa, Guerra Civil e mudanças sociais com a criação da URSS (Mackenzie e Curran 1987) e o desenvolvimento econômico acelerado nos EUA.

Os cartões com informações cosmológicas apresentam os modelos de Einstein (1917), de Sitter (1917) e Friedmann (1922, 1924), além da rejeição inicial de Einstein ao modelo de universo em expansão (Tropp *et al.* 1993, Frenkel 2002).

Também são apresentados os modelos de universo estático de MacMillan nos EUA (Kragh 2004) e Nernst na Alemanha (Kragh 2012), além das reinterpretações teóricas dos modelos de W. de Sitter, feitas por Cornelius Lanczos e Herman Weyl (North 1965, 2008). Já outros autores, como Slipher, Wirtz, Silberstein e Lundmark, foram apresentados sem destaque na primeira fase, mas recebem mais atenção na segunda fase.

Todas essas informações estão presentes de forma superficial e didatizada nos cartões lidos pelos alunos na fase de *investigação*. Na fase de *sistematização*, o professor apresenta slides contendo os principais fatos históricos e científicos do período. Finalmente na fase de *argumentação* os alunos escolhem entre os seguintes indicados para o prêmio Rockefeller: *Albert Einstein, Willem de Sitter, Alexander Friedmann, Arthur Eddington, Georges Lemaître e Vesto Slipher*.

4.3.3 Segunda rodada 1925-1931

No segundo período, os cartões enfatizam investigações sobre o “Efeito de Sitter” e os desvios espectrais para o vermelho das galáxias (discutidos na seção 3.1). Nas aulas de *sistematização* se discutiram em detalhe as diversas contribuições para o estabelecimento da relação redshift-distância, com destaque para o artigo de Silberstein (1923) e sua seleção de aglomerados globulares, criticada por Lundmark (1924), assim como as controvérsias envolvendo a tradução do artigo de Lemaître (1927) e a atribuição da descoberta da relação linear entre velocidade e distância a Hubble (1929). Nas aulas de *argumentação* sobre o

segundo prêmio os alunos escolhem entre os indicados: *Carl Wirtz, Knut Lundmark, Matvei Bronstein, Georges Lemaître, Arthur Eddington e Edwin Hubble*.

4.3.4 Fase final 1932-1939

Na última fase, na etapa de *investigação* os cartões enfatizam influências ideológicas e religiosas sobre a aceitação dos modelos cosmológicos no período. Aparecem a indecisão de Hubble sobre interpretações dos desvios espectrais para o vermelho (Assis *et al.* 2008), a fuga de cientistas judeus da Europa para os EUA após Hitler tornar-se chanceler da Alemanha, opositores à teoria da relatividade e à cosmologia relativística no ocidente, como Dingle (1937), e os alemães Stark e Lenard (Joravsky 1961); as controvérsias sobre a possível influência da religião nas obras de Lemaître e seu átomo primordial (Lemaître 1931c, Kragh 2004, Henrique 2011, p.144) e as suspeitas de certos autores soviéticos em relação a universos com um começo no tempo, em debates permeados por influências ideológicas (Graham 1966, 1993; Kragh 1996, 2008).

Por outro lado, é importante salientar que estas influências ideológicas não determinaram os rumos da cosmologia relativística nessa época. Por mais que houvesse suspeita de que as teorias de Lemaître, Milne, Eddington e outros autores religiosos estivessem sendo usadas para fazer propaganda religiosa, autores soviéticos como Matvei Bronstein e George Gamow defenderam a cosmologia relativística e aceitaram a interpretação ortodoxa para a expansão do universo.

Na aula de *sistematização*, a proposta é analisar a teoria da luz cansada e o chamado “problema da idade do universo”, que consistia em estimativas da idade do universo tendo como base o modelo de universo em expansão com um começo no tempo, a partir do cálculo da constante $H = v/d$ (conhecida como constante de Hubble)¹⁰⁹.

Também é proposta a leitura pelos alunos do primeiro capítulo do livro *Senhor Tompkins no País das Maravilhas* (Gamow 1940). Nessa estória voltada a crianças e adolescentes, de autoria do físico nuclear russo George Gamow, o Senhor Tompkins, um bancário curioso, tem aulas sobre física com o Professor. Em um de seus sonhos, ele aprende com o professor sobre a expansão do universo e nota que o universo é cíclico, primeiro expande e esfria, e depois se contrai e esquenta. A história foi publicada pela primeira vez na revista britânica *Discovery* (Gamow 1938). Essa foi a primeira vez em que Gamow publicou sobre cosmologia, de forma

¹⁰⁹Esta atividade foi diretamente inspirada pelas atividades da sequência de ensino e aprendizagem “Controvérsias na cosmologia” (ver nota de rodapé 90) e pelo curso “Idade do universo”, criado e ministrado por membros do Grupo Sputnik no SNEF, em 2011. Ver http://gruposputnik.com/idade_do_universo.html

que em seu primeiro artigo, publicado com seu colega Edward Teller, eles agradeceram ao Senhor Tompkins por ter sugerido esse assunto de pesquisa.

Na finalização da sequência de ensino e aprendizagem, os alunos são convidados a debater sobre quem merece o 3º Prêmio Rockefeller, que pode ser dado para qualquer cientista, mesmo por suas contribuições passadas. Essa é uma boa oportunidade para revisar as principais teorias estudadas ao longo da sequência, assim como avaliar os melhores argumentos que foram apresentados ao longo de todo o jogo.

4.4 Investigação de concepções dos alunos sobre a ciência

A investigação da sequência de ensino e aprendizagem aconteceu entre abril e junho de 2013, em três turmas do 1º colegial da E.E. Ana Rosa de Araújo, localizada no bairro Vila Inah, na zona oeste de São Paulo. Muitos dos alunos moram em regiões mais afastadas e têm que viajar grandes distâncias até chegar à escola, que é relativamente próxima ao campus da Universidade de São Paulo. As classes tinham cerca de 40 alunos matriculados e a infraestrutura da escola era similar a outras escolas da região, incluindo laboratório de informática, quadra de esportes coberta, TV e projetor multimídia, que foi utilizado em diversas aulas para apresentar slides.

O professor Vitor Machado, graduado em Licenciatura em Física pelo Instituto Fdereal de São Paulo em 2009, havia defendido recentemente (2012) o mestrado em Ensino de Física no Programa Interunidades em Ensino de Ciências da USP. Como professor temporário, nos últimos anos tinha dado aulas em várias escolas diferentes na zona oeste de São Paulo. Em 2014, após a realização desta investigação, ele tornou-se professor efetivo e continua dando aulas na E.E. Ana Rosa até hoje, onde recebe diversos estagiários do programa PIBID da USP.

Durante toda a sequência, investigamos as concepções dos alunos sobre a ciência, problematizando visões ingênuas e inserindo gradativamente elementos controversos em complexidade crescente ao longo das atividades.

Em diversas atividades dados de pesquisa foram coletados para avaliar a evolução das visões dos alunos sobre a ciência ao longo das aulas. A metodologia de pesquisa utilizada foi a abordagem qualitativa (Bogdan e Biklen 1994), comum em pesquisas de educação.

Houve questões respondidas na classe, oralmente ou por escrito, e no Blog da disciplina, além dos argumentos formulados durante o jogo, primeiro expostos oralmente e posteriormente registrados por escrito. Além disso, houve também anotações feitas pelo professor Vitor Machado e pelo pesquisador Alexandre Bagdonas, presentes em todas as

aulas, assim como vídeos dos seus relatos feitos aos demais pesquisadores do grupo TeHCo. Assim pudemos realizar a triangulação, comparando fontes de dados distintas.

Em todas as transcrições apresentadas a seguir adotamos pseudônimos para os alunos. Nas transcrições de vídeo, indicamos a cor que identifica o grupo ou aluno que enunciou a fala, sua classe (1º A, 1ºB ou 1º C), o tempo contado no arquivo de cada gravação (Minutos: Segundos), e o número da aula. (Ex: Amarelo C, 41:30, Aula 3).

Para analisar as concepções de ciência dos alunos a partir das atividades da sequência de ensino e aprendizagem, adotamos três categorias baseadas nos estudos sobre HFSC apresentados no capítulo 2.

1) “Racionalismo”. Esta categoria é inspirada principalmente na epistemologia de Lakatos e sua defesa de que a história externalista da ciência tem um papel secundário quando comparado com a reconstrução racional da história interna da ciência (ver seção 2.3). Portanto, os adeptos dessa visão dão mais atenção aos conteúdos da ciência, com pouca atenção ao contexto sociocultural. Também são compatíveis com esta categoria os valores descritos no “ethos” mertoniano: universalismo, comunalidade, desinteresse e ceticismo organizado.¹¹⁰ Uma versão ingênua dessa visão foi denominada “racionalismo cientificista” por Marco Barbosa de Oliveira, em seus estudos sobre a epistemologia de Hugh Lacey. Nessa visão, a ciência seria neutra, mas a sociedade pode usá-la para o bem ou para o mal.¹¹¹ Outra visão ingênua da “natureza da ciência” que se enquadra nesta categoria foi denominada “empírico-indutivista” ou “absolutista”, por pesquisadores que adotaram visão consensual da natureza da ciência¹¹².

3) “Relativismo”. Esta categoria é inspirada principalmente no anarquismo epistemológico de Paul Feyerabend e por autores que criticaram a autoridade científica, como certos adeptos do Programa Forte da Sociologia das Ciências. Classificamos nela os alunos que enfatizaram aspectos sociais da ciência, dando mais atenção ao contexto sócio-histórico que aos conteúdos; ou que questionaram a autoridade da ciência e os valores do ethos mertoniano, enfatizando aspectos não racionais das condutas dos cientistas, como orgulho intelectual, disputas por poder e prestígio, adesão dogmática ao paradigma vigente, entre outras.

Marco Barbosa de Oliveira(2003) caracterizou como “relativista” a “corrente pós-moderna de crítica à ciência”, que argumenta que a ciência não é nem neutra nem

¹¹⁰Ver seção 2.4, p.62

¹¹¹ Neutralidade: as inovações tecnológicas decorrentes da ciência são aplicáveis em qualquer sociedade (Oliveira 2003).

¹¹²Por exemplo, Harres 1999, p.200 e Gil Pérez et al. 2001, p.134..

imparcial. No entanto, como discutimos na seção 2.5, há importantes divergências entre autores pós-modernos, autores do Science Studies, muitos dos quais não se dizem relativistas. Vale notar que essa categorização dicotômica entre “Relativismo” e “Racionalismo” foi empregada para analisar as concepções de estudantes do ensino médio, mas é certamente muito simplista e limitada para entender as concepções sofisticadas de profissionais dedicados a estudos sobre a história, filosofia e sociologia da ciência.

2) Posturas moderadas. Vários filósofos da ciência propuseram teorias epistemológicas moderadas, evitando extremos do “positivismo” e do “relativismo”: Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Stephen Toulmin, Larry Laudan, Fourez (1995), Chalmers (1993, 1994), Lacey (1999)¹¹³. No âmbito da pesquisa em ensino de ciências, estes autores influenciaram fortemente a consolidação da chamada “visão consensual da natureza da ciência”, descrita na seção 1.3.

Para nossa análise, classificamos como “moderadas” as visões de ciência que tendiam a um equilíbrio entre internalismo e externalismo, conteúdo e contexto e que defenderam os valores do Ethos Mertoniano, porém reconhecendo que eventualmente os cientistas podem agir em desacordo com estes valores.

Além destas categorias, criamos atividades e questionários baseados nos estudos apresentados nos capítulos 2 e 3, principalmente em investigações de concepções sobre a natureza da ciência de estudantes e professores (Lederman et al. 2002, Teixeira *et al.* 2009, Porra *et al.* 2011).

No Anexo, apresentamos as respostas detalhadas dos alunos às perguntas propostas no blog do curso, após as atividades 1, 2, 4, 7, 8 e 11. Vamos agora mostrar um resumo dos resultados.

4.4.1 Introdução: a ciência é universal?

Após as atividades da introdução, os alunos responderam as primeiras questões no Blog, constituídas por questionários, inspirados em pesquisas sobre concepções de natureza da ciência (tais como Lederman et al. 2002, Teixeira *et al.* 2009, Porra *et al.* 2011), mas adaptados para o nosso contexto, com foco na história da cosmologia.

¹¹³ Hugh Lacey e Marco Barbosa de Oliveira argumentam que a ciência não é neutra, mas é imparcial. Imparcialidade: uso exclusivo de valores cognitivos na seleção de teorias. Os valores não-cognitivos são os valores sociais e morais. Alguns valores cognitivos são a consistência lógica, o poder explicativo, a simplicidade e a adequação empírica: a capacidade de uma teoria de dar conta dos dados observacionais e experimentais disponíveis. Para Oliveira (2003) enquanto o “Racionalismo cientificista” defende a imparcialidade, neutralidade e autonomia da ciência, a teoria epistemológica de Hugh Lacey abdica das outras duas, defendendo apenas a imparcialidade.

A maioria das pesquisas sobre concepções de natureza da ciência de estudantes, que adotou a chamada “visão consensual da natureza da ciência”, concluiu que uma visão muito difundida, que precisa ser problematizada, é a de que experimentos podem ser usados para comprovar que certas teorias são verdadeiras. Gil Pérez e colaboradores (2001, pp. 129-134) denominaram essa visão “empírico-indutivista”, que “destaca o papel ‘neutro’ da observação e da experimentação, esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como das teorias disponíveis que orientam todo o processo”.

Após as duas primeiras atividades, com base na análise dos vídeos das aulas e das perguntas respondidas pelos alunos no Blog, notamos que a maioria dos alunos tinha visões de ciência próximas à categoria 1, “racionalismo”¹¹⁴. Eles confiam mais na ciência do que em outras formas de conhecimento, tais como as religiões, para responder questões sobre a origem do universo, acreditam na neutralidade e universalidade da ciência. Isso confirmou, mais uma vez, o resultado das pesquisas citadas acima, mostrando que a visão “empírico-indutivista” precisa ser problematizada.

Na atividade 2, começamos a problematizar essa postura, debatendo sobre como a rivalidade entre cientistas alemães e cientistas dos países aliados (britânicos, franceses e estadunidenses) influenciou a ciência nesse período.

Na questão 2 do Blog (ver respostas detalhadas na seção 1.3.1 do Anexo), pedimos para que os alunos indicassem sua concordância ou discordância com as afirmações de A até C, justificando com um texto breve.

A) A ciência é neutra e igual em todos os países, mas pode ser utilizada para fins políticos, como nas aplicações militares.

B) A ciência é influenciada pelo contexto histórico de sua época. Por exemplo, a nacionalidade dos cientistas influencia o processo de criação das teorias.

C) A ciência é um instrumento político para determinadas nações poderem impor seu domínio sobre outras.

Alguns alunos optaram por responder a pergunta com base em uma visão *descritiva* da ciência, afirmando como acham que a ciência é, efetivamente. Este é um exemplo de defesa do universalismo na prática:

A) Concordo. Porque a ciência pode explicar alguns fatores que ocorrem na política, a ciência estuda as organizações e os processos políticos.

¹¹⁴ A análise detalhada destas respostas está no Anexo, seção 1.2 e 1.3.

B) Discordo, porque não é a nacionalidade que leva a ciência, e sim o seu estudo, a sua capacidade de vê as coisas, não importa se a pessoa é brasileira ou japonesa.

C) Discordo. Algumas nações têm a ciência mais avançada que as outras, mas não a usam para ser mais poderosas que as outras, mostra apenas que tem cientistas com mais capacidades, mas não usam isso para serem superiores. (Naná C)

Já neste caso, a aluna defendeu uma visão *prescritiva* da universalidade da ciência, sem se posicionar quanto à ciência real:

A) Discordo. A ciência tem que ser objetiva, e para descobertas.

B) Discordo. Não acho que a nacionalidade do cientista tem que alterar em algo. Quem faz o cientista ser quem ele é são as pesquisas dele e o conhecimento dele.

C) Discordo. A ciência deve ser uma coisa boa, algo que tu descobre e quer descobrir e inventar coisas novas e não motivo para conflitos. Na ciência é legal fazer ou descobrir algo e não parar ali, querer saber cada vez mais. (Zazá A).

A maioria dos alunos mostrou que preferia que a ciência fosse neutra, igual em todos os países. Contudo, os alunos se dividiram, como se é de esperar, ao se posicionar sobre se na prática o ideal de universalidade da ciência é obedecido.

A maioria dos alunos aceitou que, às vezes, o nacionalismo influencia a ciência. O exemplo mais citado foi o caso do boicote proposto por ingleses à ciência alemã durante a Primeira Guerra, discutido a partir do filme *Einstein e Eddington*. Porém, mantiveram a defesa da universalidade da ciência como ideal, demonstrando que influências deste tipo são distorções que devem ser evitadas.

Portanto, a postura mais comum é próxima da categoria 1: racionalismo: “a ciência pode ser usada para o bem ou para o mal”. A maioria dos alunos defendeu que a ciência é (ou deve ser) neutra, mas que na prática a sociedade faz um uso dos resultados científicos, de forma fortemente influenciada por valores ideológicos ou políticos.

Alguns alunos (ainda que poucos) mostraram posturas tendendo ao relativismo. Uma aluna considerou que a ciência não é neutra e igual em todos os países porque “cada país tem sua teoria, seu partido, sua opinião.” e que “se você tem uma teoria diferente em outro país, ele pode ocasionar uma possível guerra contra o país adversário. Se você estiver em guerra com outro país e esse país for mais forte que você, isso trará um domínio dele sobre o seu país” (Talita 1 A).

Conforme discutimos na seção 2.6, vários pesquisadores têm mostrado preocupação em estimular visões relativistas ingênuas da HFSC para a educação básica, principalmente no

caso de estudos inspirados em história social ou cultural das ciências. Por isso, nas atividades seguintes, buscamos problematizar tanto o determinismo social quanto a tese da neutralidade, enfatizando o papel de observações astronômicas, teorias físicas, cálculos matemáticos e argumentos racionais nos debates cosmológicos, problematizando a concepção de que os cientistas escolhiam modelos cosmológicos puramente por gosto pessoal, mas também dando atenção a possíveis influências sociais, culturais e políticas sobre sua atividade.

4.4.2 Atividade 3: problematização da neutralidade da ciência

No planejamento do jogo didático, nós consideramos que argumentar sobre conteúdos de cosmologia exigiria uma certa familiaridade dos alunos com o assunto. Por isso, a quantidade de cartões que aborda conteúdos é crescente ao longo das fases do jogo.

Na atividade 3, o início da primeira fase do Jogo Cosmic, havia mais cartões que abordavam aspectos sociais, políticos e culturais do período entre 1914 a 1924. Como eles já tinham um conhecimento prévio de história e geografia sobre este período, foi mais fácil dar argumentos sobre o contexto histórico do que sobre cosmologia.

Os países mais escolhidos inicialmente, tanto na hora de investigar e receber cartões, quanto no fim da fase, após os debates internos de cada grupo, foram EUA (7 votos), Alemanha, França e Inglaterra (3 votos cada). A URSS foi pouco visitada, mas recebeu 2 votos, enquanto os Neutros praticamente não foram visitados e não receberam nenhum voto.

Como esperado, poucos grupos apresentaram argumentos “internalistas”, baseando-se somente em pesquisas científicas (ver detalhamento dos argumentos na seção 1.4 do Anexo). Classificamos ao todo 22 argumentos nas três classes. Destes, 7 eram internalistas e 15 externalistas.

Dentre os argumentos internalistas, 4 eram sobre cosmologia e 3 sobre astronomia, viagens espaciais ou outras áreas da ciência. Os alunos tiveram dificuldade para debater cosmologia: os grupos que propuseram argumentos relacionados aos modelos de universo estático de Nernst e Millikan não defenderam por que estes modelos seriam interessantes, e os demais grupos não conseguiram criar nenhum contra-argumento.

Contudo, o professor valorizou ambas as tentativas de argumentar, lembrando que “somos parte da subdivisão de cosmologia da Rockefeller, então é importante buscar argumentos que tenham a ver com estudos sobre o universo”(Vitor, aula 3, 1A, 41:30).

Quase não houve argumentos combinando elementos internalistas e externalistas, ou debatendo valores da ética científica. Um dos poucos foi este, que tocou na importante questão da *objetividade* da ciência, mas de modo muito superficial:

Voto: EUA. Cartão: “O segundo prêmio Nobel dos EUA”. Votaram nos EUA por que tinham vencido 2 prêmios Nobel e eram mais “objetivos”. O professor pediu para explicarem melhor essa palavra, mas os alunos não tiveram dificuldade em expressar o que queriam dizer (Amarelo C, 41:30, Aula 3).

Este tipo de argumento apareceu mais vezes e com maior profundidade a partir da Atividade 5, conforme discutiremos adiante.

A maioria dos alunos cujos argumentos classificamos como “externalistas” mostraram uma visão de que a ciência deve ser neutra, sem relação com guerras, nacionalismo ou política. Porém, suas aplicações podem ter consequências sociais. Portanto, mantiveram durante o início do jogo essa postura já demonstrada na atividade 2, “racionalismo”.

O tipo de argumento mais comum na atividade 3 foi uma associação direta entre a condição econômica do país e seu potencial para produzir teorias cosmológicas. Para a maior parte dos alunos parece intuitivo que países ricos sejam um ambiente mais adequado para o desenvolvimento da ciência. No neoliberalismo a ciência é vista como parte do mercado, naturalizando-se a relação entre conhecimento e dinheiro. A possibilidade de problematizar esse tipo de ideologia naturalizada é mais uma das vantagens educacionais deste tipo de discussão.

Foi curioso notar que a maior parte dos que defenderam o militarismo, aplicações tecnológicas e o lucro obtido com inovações científicas eram homens, enquanto eram mulheres a maior parte das que contra-argumentaram baseadas em visões pacifistas e críticas ao capitalismo.

Destacamos aqui um argumento do Grupo Amarelo A, que chamou a atenção não só dos alunos, mas também do professor e de todos os pesquisadores que ouviram o relato da aula na reunião seguinte do Grupo TeHCo.

Com base em uma pesquisa feita sem qualquer ajuda ou estímulo do material que apresentamos, as alunas descobriram que segundo Robert Merton a religião influenciou o desenvolvimento da ciência na Inglaterra:

“O campo social da ciência teve uma teoria associada a Robert Merton, que defendeu que o Puritanismo teve uma contribuição significativa para o desenvolvimento da ciência na Inglaterra no século XVII (Amarelo A, 21:33 Aula 3B).

Como era um argumento totalmente novo e não esperado, o professor teve que improvisar uma explicação sobre o Puritanismo para os demais alunos, valorizando essa associação não esperada:

“O Puritanismo, essa dissidência do Catolicismo, que são os protestantes, ajudaram a Inglaterra a fazer ciência. Ele [Merton] está associando duas coisas que até então a gente não costuma relacionar muito, que é ciência e religião (Vitor, 21:40 Aula 3B)

O professor não conhecia Robert Merton e pediu para as alunas pesquisarem se ele era um cientista e se fez alguma contribuição relacionada à cosmologia. Após consultarem o caderno, as alunas descobriram que Merton era um sociólogo da ciência.

Em seguida o professor estimulou que outros alunos apresentassem contra-argumentos, dizendo por que a Fundação teria motivos para não investir na Inglaterra. Como esperado, os alunos não conseguiram improvisar, de imediato, problematizações do complexo argumento apresentado pelo Grupo Amarelo. Dada a riqueza de debates que um argumento como esse tem potencial para gerar, notamos que seria interessante incluir na dinâmica do jogo, em desenvolvimentos futuros, dar espaço para que os alunos tenham a oportunidade de pesquisar em casa sobre os argumentos dos outros grupos, tendo assim oportunidades iguais de acesso às informações para construir argumentos.

O contra-argumento apresentado pelo Grupo Azul foi igualmente bem construído, com base no trecho do filme “Einstein e Eddington”, apresentado na aula anterior.

A Inglaterra tinha a teoria de Isaac Newton. Só que mesmo depois quando ela passou a ser duvidosa, a Inglaterra continuou apoiando essa teoria só pelo patriotismo. O que significa que a ciência deles não era tão certa assim (Azul A, 24:10 Aula 3B)

Este argumento também impressionou os demais alunos, que o aplaudiram. Novamente, seria interessante que todos tivessem tempo para analisar com mais cuidado a lógica de cada argumento. Porém, nessa primeira versão do jogo, a dinâmica dificultou esse tipo de análise mais minuciosa, já que os demais alunos não tiveram acesso a uma versão escrita dos argumentos e todas as decisões tinham que ser tomadas em pouco tempo.

De qualquer forma, o professor ficou extremamente satisfeito com a evolução da capacidade de argumentação dos alunos:

Acho ótimos argumentos. Mas o meu referencial é o do aluno com ele mesmo. Do ponto de vista lógico talvez nem todos argumentos fossem tão fortes, mas vendo que estavam pensando, articulando e até colocando algumas ideias isso já me deixa muito satisfeito (Vitor, Reunião TeHCo 15/05)

Conforme os alunos foram entendendo gradativamente como jogar o COSMIC, ao mesmo tempo o professor também foi aperfeiçoando sua habilidade em conduzir as discussões, ajudado pelos debates sobre cada aula com o grupo de pesquisa.

Na atividade 4, buscando sistematizar as investigações realizadas por todos os grupos na atividade anterior, erramos ao tentar contemplar *todos* esses assuntos, sobrecarregando esta atividade com momentos expositivos utilizando slides. Em uma nova oportunidade, seria importante pensar em metodologias alternativas para o ensino de história, de forma que uma colaboração entre professores de ciências e de história, ou demais ciências humanas, seria certamente muito proveitosa.

Julgamos essencial que o professor leve em consideração os interesses dos alunos, de forma que a cada vez que se joga o COSMIC em uma nova turma, certamente a dinâmica do jogo será bastante diferente. Ao mesmo tempo, o papel da sequência de ensino e aprendizagem não é o de simplesmente levantar as concepções de ciência espontâneas dos alunos, mas também de problematizá-las.

Ainda que tenha ficado sobrecarregada, a atividade 4 teve papel importante na mudança do tipo de argumento apresentado pelos alunos. O professor problematizou diretamente os argumentos sem relação com conteúdos científicos, baseados puramente numa visão simplista da política e da naturalização da ideia do conhecimento como mercadoria. Houve dois tipos de argumentos muito frequentes:

1. Devemos investir em países ricos, por que eles já são um ambiente mais adequado para o desenvolvimento científico.

2. Devemos investir em países pobres, para ajudá-los a sair desta condição.

O professor chamou a atenção dos grupos, mostrando que eles estavam dando argumentos opostos, com base nas mesmas evidências:

Apareceu uma coisa curiosa: o mesmo argumento foi usado para os dois lados. Disseram que se um país está destruído, ou cheio de dívidas, então devemos investir lá. Mas também argumentaram o contrário, que como o país está endividado então *não* devemos investir (Vitor, Aula 3B, 1B, 23:00)

Com isso, na atividade 5, houve maior equilíbrio entre argumentos internalistas e externalistas. Gradativamente os alunos incorporaram aspectos da cosmologia em seus argumentos.

4.4.3 Atividade 5: busca do equilíbrio entre contexto e conteúdo

Notamos, conforme esperado durante a elaboração do jogo, que ao pedir que os alunos escolhessem um cientista para receber o prêmio, naturalmente o foco mudou da sociedade, ou

do contexto, enfatizado na atividade 3, para os conteúdos científicos, enfatizados na atividade 5. Portanto, houve grande aumento do número de argumentos “internalistas”¹¹⁵.

Após a problematização feita pelo Professor, não apareceram mais argumentos sobre países “ricos” ou “pobres”, já que ficou claro que os argumentos mais valorizados seriam os que justificassem como influências econômicas afetaram efetivamente a cosmologia. Com isso, apareceram argumentos que classificamos como “externalistas”, mas que na verdade combinavam aspectos contextuais com conteúdos, de forma mais equilibrada.

Dos 33 argumentos categorizados, 15 foram considerados “internalistas” e 18 “externalistas”. Dentre os internalistas 7 apoiavam defensores do universo estático: principalmente Einstein, além de W. de Sitter, que apareceu nos debates somente por que o professor interveio, já que poucos investigaram os países neutros. Praticamente o mesmo número (5) apoiavam Friedmann, e sua defesa do universo em expansão.

O debate entre Einstein e Friedmann sobre a expansão do universo dividiu os alunos em todas as classes. O Juri ficou do lado de Einstein no 1ºA, do lado de Friedmann no 1º C, e escolheu Eddington no 1ºB, mostrando que nesse jogo complexo, cada vez que se joga novos fatores inesperados aparecem, o que é muito desafiador e exige muito preparo do professor, mas também tem potencial para criar debates muito ricos.

Já dentre os argumentos externalistas, diminuiu muitos o número de argumentos sobre militarismo e economia. Enquanto na atividade 3 houve 12 argumentos nestas categorias, na atividade 5 houve somente 3. Dois grupos votaram em Eddington por seu pacifismo, e outro em Friedmann por ter feito contribuições relevantes apesar de morar na URSS, um país “pobre e sem tecnologia”(Azul B).

Uma nova categoria foi criada para argumentos que não apareceram na atividade 3: D) Debates sobre valores da comunidade científica. Eles surgiram em meio aos debates entre defensores de Einstein e os defensores de Friedmann.

Um dos defensores de Einstein o valorizou por ter se tornado famoso: “logo deve ter tido argumentos melhores que Friedmann” (Laranja B). Ainda que seja um argumento de autoridade, é baseado no reconhecimento da competência dos cientistas em decidir quais foram as melhores teorias.

Einstein também foi valorizado por reconhecer que sua postura sobre o modelo de Friedmann estava inicialmente equivocada. Além de ser uma virtude ética, isso teria ajudado Einstein a aprimorar suas próprias teorias cosmológicas.

¹¹⁵ Ver detalhamento na seção 1.6 do anexo.

Isso gerou um debate intenso, já que um dos defensores de Friedmann discordou:

Marrom: Ele [Einstein] reconheceu o erro, mas e daí? Que isso ajuda na cosmologia? Não é querendo ser arrogante, mas ele é esperto. Reconhecer erro não ajuda em nada a pesquisa

Vermelho: É importante reconhecer um erro porque isso ajuda ele a entender melhor sua própria teoria. Alguém de fora ajudou ele a ver erros que sozinho não conseguiu.

Marrom: tudo bem, é bacana reconhecer mas isso não é um argumento que justifique dar prêmio pra ele. (Atividade 5, 1C, 33')

Já Friedmann, foi valorizado por questionar cientistas renomados, como Einstein, e mostrar que pessoas comuns podem duvidar sobre o que normalmente acredita a maior parte das pessoas, inclusive as autoridades. Trata-se da valorização do que Merton denominou “ceticismo organizado”.

Nas três salas, os valores defendidos pelos grupos vencedores eram algumas das normas éticas da ciência estudadas por Robert Merton: originalidade, coragem de desafiar a autoridade, humildade, autocrítica e reconhecimento dos próprios erros. Vemos assim que mesmo com uma abordagem da HFSC, a maioria dos alunos manteve sua tendência ao racionalismo, estando mais próxima das categorias 1 e 2 do que do relativismo.

Muitos dos que defenderam o universo estático foram influenciados pela fama de Einstein como um cientista excepcional. Eles demonstraram uma compreensível, mas ingênua admiração pelo cientista que foi escolhido pela revista *Time* como a personalidade mais influente no século XX. Isso os levou a considerar que Friedmann deveria estar errado nessa disputa, simplesmente por que “Einstein era um dos melhores físicos da época, pelo fato dele não aceitar muito provavelmente tinha uma explicação muito boa” (Zazá A).

A questão 3 do blog ¹¹⁶convidava os alunos a avaliarem se:

A) Einstein teve uma conduta científica adequada ao rejeitar o modelo de Friedmann, pois não havia nenhum experimento comprovando que ele fosse verdadeiro.

B) Einstein foi influenciado pela visão de mundo de sua época, sendo compreensível que ele evitasse aceitar a ideia do universo em expansão facilmente.

C) O caso de Einstein não foi uma exceção, pois cientistas famosos sempre relutam em aceitar novidades que contrariem as suas próprias teorias.

¹¹⁶ Ver detalhamento das respostas na seção 1.5.1 do Anexo.

Vários alunos demonstraram a crença de que grandes “gênios” excepcionais, como Einstein, não podem ser questionados e ninguém deve duvidar deles. Além disso, Einstein teria feito tudo sozinho, sem a contribuição de nenhum outro cientista.

- A) Discordo. Pois Einstein era muito inteligente e ninguém duvidava dele
- B) Discordo. Ele nunca precisou de ajuda nenhuma para ser quem ele é
- C) Concordo. Cada cientista tem sua teoria, seu modo de falar, seu jeito, seu modo de trabalho. (Lalá)

Mesmo com a problematização do empírico-indutivismo, é compreensível que estas concepções sejam difíceis de se alterar. A análise da questão 3 respondida no Blog, após a atividade 4 nos mostrou que a categoria 1 (Racionalismo), continuou sendo bem mais comum do que as demais.

Contudo, notamos que a análise das visões de ciência dos alunos em situações mais complexas e ensino e aprendizagem, como no caso das escolhas feitas no Jogo Cosmic, nos permitiu reconhecer nuances que dificilmente seriam evidenciadas caso nossa investigação tivesse se limitado ao uso de questionários elaborados pelos autores adeptos da “visão consensual da natureza da ciência”, como o VNOS (descrito na seção 1.2).

Uma das questões mais interessantes foi a possibilidade de notarmos diferenças entre visões prescritivas e descritivas da ciência. Alguns alunos que se engajaram no jogo aceitaram que existem influências teóricas no modo como cientistas interpretam as observações científicas, tendendo às categorias 2 e 3 quando falam da ciência real, sua visão *descritiva*. Porém, mantiveram, como no início, uma defesa *prescritiva* de valores típicos do racionalismo, a categoria 1.

O aluno Jair concordou com a afirmação A, e discordou da afirmação B. Suas justificativas mostram que sua visão é próxima ao “racionalismo” / “empirismo”, enfatizando a comprovação experimental para avaliar como adequada a mudança de visão de Einstein em relação a expansão do universo:

- A) Concordo. Mesmo não tendo aceito que sua teoria esta errada inicialmente, apos ter tido comprovado a hipótese ele se retrata e assume que está errado, na minha opinião ele agiu certo.
- B) Discordo. Einstein não se influenciara pelas teorias da época tanto que ele mesmo provou que muitas delas estavam erradas.

Se ele respondesse a um questionário do tipo VNOS, sua visão seria provavelmente classificada como ingênua: empírico-indutivista, já que fala em provar teorias e dá a noção de o cientista é neutro e individualista, sem se influenciar pelas teorias de sua época.

Porém, notamos que ele também concordou com a alternativa C, mostrando uma tensão entre uma visão racionalista, de como a ciência *deveria ser* e uma visão diferente de como, na prática, cientistas nem sempre agem de modo totalmente racional:

C) Concordo. Creio que todo cientista defenderá suas teorias, porém todos deixam espaço para o desconhecido e geralmente aceitam quando suas teorias estão erradas. (Jair 1 C)

Outros alunos, como Jair, também valorizaram a atitude de Einstein ao admitir que estava errado, após ter debatido o modelo de Friedmann com Kruktov.

C) Discordo. Um cientista sempre tenta provar que está correto, sempre estuda procurar respostas claras para as suas pesquisas, Einstein admitiu que estava errado. Um cientista sempre quer ter a razão cientista sempre tenta provar que está correto (Cacá 1C).

A aluna Lili defendeu que a postura de Einstein foi inadequada, por que cientistas devem se manter sempre abertos a novas possibilidades, analisando-as racionalmente. Porém, reconhece que na prática nem sempre os cientistas são puramente racionais, e defendem suas teorias por orgulho intelectual:

A) Discordo. Não concordo porque mesmo que tal modelo não pudesse ser comprovado como verdadeiro ainda, Einstein deveria levar em conta que se não havia nada comprovado, se poderia analisar a possibilidade de ter alguma lógica.

B) Concordo. Sim, porque baseado nos conhecimentos da época ele foi influenciado a evitar aceitar a ideia do universo em expansão, e por um provável orgulho que também o influenciou.

C) Concordo, porque apesar da ciência em si ser o ponto principal, os cientistas talvez por um certo orgulho quisessem sempre estar certos, assim relutando até que a teoria reversa a sua seja comprovada. No plano pratico da ciência como os fatos são, ou seja, muitas vezes os cientistas por orgulho relutam em aceitar algo que os contrarie ou teorias que contrariem as suas. (Lili A).

Outra postura bem interessante, mostrando tensões entre os valores da comunidade científica e a prática real dos cientistas, foi a de Gabriel, que defendeu que é até saudável que a comunidade científica mostre certa resistência às ideias inovadoras. Uma postura semelhante foi defendida por Thomas Kuhn e Imre Lakatos:

A) Discordo. Porque todo artigo dentre eles conceitos de novas teorias tinham que ser

avaliado por uma pessoa que entendesse do assunto, e o artigo de Friedmann foi para uma avaliação na Alemanha, e a única pessoa que tinha condições para avaliá-lo era o Einstein. Mas o artigo tinha conceitos contrários aos de Einstein, pois sendo o parecerista do artigo, teve como resposta que Friedmann tinha errado e sua teoria era suspeita. Porém falou isso concluindo a teoria de Friedmann como “errada” para defender seu ponto de vista científica não declarando que a teoria de Friedmann estava certa e assumindo que tinha errado.

B) Concordo. Porque a maioria dos cientistas quando tinham pontos de vista estranhos para eles não aceitavam logo de “cara”, analisavam a teoria e comparavam com as suas para ter uma conclusão.

C) Concordo. Porque, eles sempre vão resistir a novos pontos de vista, por terem suas próprias teorias, tendo um ponto de vista contrário não vão aceitar, vão analisar até chegar a uma conclusão que prove que ele está errado, um ex: seria sobre newton e Einstein, quando Einstein teve um ponto de vista contrário ao de Newton e, os ingleses não aceitaram e colocaram Eddington para analisar a teoria de Einstein e provar que ele estava errado e para provar que a ciência inglesa era melhor do que qualquer outra. Porque todo cientista que tem sua teoria mesmo com um que esteja ao contrário, ele vai ter um senso crítico de avaliar, analisar, julgar para ver se o seu ponto de vista estará correto ou não, ou seja, cheguei a conclusão de que todo cientista que tiver uma teoria vai aplicar e defendê-la. (Gagá A).

Lili e Gabriel discordaram de A, concordando com B e C, aproximando-se da categoria 2 ao falar de sua visão *descritiva* de ciência. Entretanto, notamos que eles mantiveram sua defesa *prescritiva* da neutralidade da ciência, ou de valores típicos do ethos mertoniano, como o senso crítico ao analisar teorias de modo racional.

Parece-nos razoável supor que os alunos mais engajados no jogo aprenderam mais sobre como podem se dar influências sociais sobre a ciência, o que os fez se distanciar do empírico-indutivismo ingênuo. Assim, ao contrário dos alunos que ingenuamente argumentaram que Einstein teria sido um grande gênio, seria infalível, estes alunos têm uma confiança mais madura e sofisticada sobre a ciência, vendo erros como parte natural do processo de criação e validação das teorias.

Na segunda fase do jogo notamos um número maior de argumentos mais complexos, gerando debates envolvendo conteúdos de cosmologia e também valores da comunidade científica. Na atividade 6, a etapa de investigação dessa fase, com dinâmica idêntica à da atividade 3, notamos um maior equilíbrio entre argumentos internalistas e externalistas. De

um total de 21 argumentos categorizados, 10 eram internalistas e 11 externalistas. Entre os argumentos internalistas, a principal tensão foi entre teóricos (6 argumentos) e observacionais (4 argumentos). Já entre os externalistas houve um número bem distribuído de argumentos sobre militarismo, economia, religião, feminismo e valores da comunidade científica, como o papel dos erros e disputas de prioridade¹¹⁷.

Os grupos Preto e Laranja debateram o militarismo no 1º C. O grupo Preto, composto só por rapazes¹¹⁸, votou na Alemanha nazista por que ela, segundo o tratado de Versalhes, não poderia investir em armas. Como se trata de um país com muita tecnologia, esse potencial seria bem aproveitado para o desenvolvimento científico. O grupo Laranja discordou, dizendo que a Alemanha tinha mais tecnologia bélica.

Este complexo e interessante debate acabou sendo esquecido graças à influência da ênfase em conteúdos de cosmologia nas atividades seguintes, mas nos mostram o potencial deste jogo para debater relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Outro aspecto interessante que surgiu nas discussões dos alunos, mas que não pode ser aprofundado, foram relações entre ciência e religião. O grupo Vermelho C determinou seu argumento por causa do padre e cientista Georges Lemaître nas duas fases, tanto na atividade 3 quanto na atividade 6.

Vermelho: Eddington e Lemaître tinham uma ideia: o universo tinha.... ou melhor, não tinha um começo.

Professor: Ele tinha ou não tinha?

Vermelho: Não tinha um começo. Mas aí Lemaître passou a acreditar que sim.

Professor: Vocês acham que essa ideia um começo do universo é coerente?

Vermelho: Eu mesmo acho que tudo tem um começo. Então o Universo também.

Professor: E a ideia do Eddington não era diferente?

Vermelho: O Lemaître mudou de ideia no fim das contas, e passou a defender a teoria do átomo primordial (Grupo Vermelho A, Atividade 6, 61')

Outro grupo, o Azul B, argumentou contra a Inglaterra por que segundo eles lá autores ateus criticaram o astrônomo James Jeans, que publicou diversos livros de divulgação científica bastante populares, discutindo relações entre ciência e religião. O grupo foi tímido ao apresentar esse argumento oralmente, não deixando claro que a crítica à religião os

¹¹⁷Ver detalhamento na seção 1.7 do Anexo.

¹¹⁸Notamos que em geral, mais rapazes valorizaram e incentivaram a pesquisa para uso militar, enquanto muitas garotas o condenaram. Os argumentos sobre uso militar na ciência foram detalhados na seção 1.4.2 do anexo.

incomodou. Eles deixaram essa postura mais explícita por escrito: votaram contra a Inglaterra porque lá havia “ateus que criticaram um cientista por ter uma visão que incluía uma mente universal.”

Este polêmico debate sobre relações entre ciência e religião foi estimulado pelo professor, que convidou os defensores de Lemaître a se defender da crítica de alguns grupos, que argumentaram que religião e ciência não deveriam se misturar. Contudo, os alunos não se engajaram nesse debate, já que as principais discussões envolveram aspectos mais internos: tensões entre teóricos e observacionais e disputas de prioridade entre Lemaître e Hubble.

Os debates sobre os erros de Einstein voltaram a aparecer. Quando um grupo de alunos pouco motivados com o jogo, que não haviam participado efetivamente da fase anterior, votou em Einstein porque ele seria “o maior cientista de todos os tempos”, todos os demais grupos criticaram este argumento, percebendo que ele era ingênuo.

Para os defensores da expansão do universo, Einstein errou ao rejeitar a solução de Friedmann como uma possibilidade real, o que gerou debates interessantes na primeira fase do jogo sobre erros na ciência. Na segunda fase, esse debate teve continuidade, já que Einstein rejeitou novamente a solução de Lemaître, encontrada por ele em 1927 sem conhecer que já havia sido publicada em 1922 por Friedmann.

Este debate sobre o suposto “erro de Einstein” levou a uma descrição do progresso da ciência pelo embate de teorias rivais no 1ºB:

Vermelho: Por que investir num país que tem um grande cientista mas ele não reconheceu os erros?

Professor: Boa pergunta. Por quê? Por que isso depõe contra o Einstein, ou contra a Alemanha? Por que ele é orgulhoso?

Azul: O cientista tem que saber que não é só ele, outras pessoas também podem ajudar a criar teorias.

Professor: Aí já é uma opinião minha. Estamos falando de uma questão teórica, não é pessoal. Eles estão discutindo se a equação está errada ou certa. O Einstein achava que a equação estava correta, mas que o Friedmann e Lemaître estavam errados. [Porque a solução matemática não teria relação com o universo real].

Preto: Mas e se não fosse orgulho, a teoria dos caras [Friedmann e Lemaître] não poderia estar errada?

Professor: Sim! Não era pessoal, por orgulho próprio.

Laranja: Tem várias teorias. Uma teoria vai contra a outra [Entonação de voz e gestos

com a mão dão ideia de conflito e sobreposição de teorias]

Professor: Isso mesmo! É assim que a ciência anda (Atividade 6, 1B, 20')

O professor e os alunos chegaram juntos a uma visão das controvérsias científicas não como disputas entre grupos rivais com *opiniões* diferentes. Problematicando o relativismo ingênuo, o Professor enfatizou que os debates sobre cosmologia não eram puramente pessoais, mas pautados em teorias científicas.

Consideramos extremamente positivo que o jogo tenha propiciado ao professor essa oportunidade de falar sobre controvérsias científicas partindo do interesse dos alunos, causado pelos debates em aula. Esse tipo de abordagem é provavelmente muito mais efetivo do que a transmissão de conteúdos sobre a “natureza da ciência”, a partir de listas de tópicos sobre a natureza da ciência a serem ensinados explicitamente, memorizados pelos alunos.

4.4.4 Disputas de prioridade na ciência e aceitação da expansão do universo

Na segunda fase do jogo, referente ao período entre 1925 a 1931, os principais debates envolveram a aceitação da teoria da expansão do universo. Na etapa inicial, de investigação (atividade 6), já apareceu uma polarização entre grupos com uma postura filosófica de maior tendência empirista, que votaram nos EUA, por causa dos grandes telescópios e investigações observacionais relacionadas à cosmologia; e grupos que votaram na França ou Inglaterra, por causa da defesa de Lemaître e Friedmann de que o universo está em expansão.

Essa polarização entre teóricos e experimentais foi intensificada na etapa de organização do conhecimento, já que as atividades 7 e 8 enfatizaram as disputas de prioridade entre Hubble e Lemaître. Nessas atividades adotamos duas posturas implícitas, opostas, sobre a ciência, para investigar como elas afetariam as visões dos alunos.

A atividade 7 enfatizou aspectos mais *racionais e empíricos* envolvidos nos debates sobre a expansão do universo, típicos da categoria 1 (Racionalismo). Os alunos estudaram com mais detalhe as contribuições de Lundmark (1924), Silberstein (1923), Lemaître (1927) e Hubble (1929) para verificação da relação linear entre desvio espectral para o vermelho (redshift) e distância. Analisaram como a relação entre redshift e distância apareceu gradativamente em cada um destes artigos, até ser apresentada com medidas mais confiáveis de distâncias cada vez maiores por Hubble e Humason em 1931.

Pedimos para os alunos compararem os diagramas de Silberstein e Lundmark, de forma que notem, ajudados pelo professor, que Lundmark criticou Silberstein por selecionar apenas alguns dos aglomerados globulares disponíveis. Conforme discutimos na seção 3.1.7, vários

astrônomos nos EUA criticaram essa exclusão dos dados que não se encaixavam em sua teoria, de forma que relações entre redshift e distância passaram a ser vistas com desconfiança.

Este caso nos mostra um exemplo de como as normas da ética científica, como o “universalismo”, “ceticismo organizado” e “desinteresse”, estudadas por Robert Merton (ver seção 2.4), influenciaram os debates sobre a expansão do universo.

A seleção de dados observacionais adequados para embasar uma teoria preferida foi condenada pela ética científica na época, o que fez com que Silberstein fosse ridicularizado e tivesse sua carreira prejudicada.

Já na atividade 8, o objetivo era discutir a possibilidade de influência de aspectos não puramente racionais no processo de aceitação das teorias, e da escolha dos “descobridores” de uma certa teoria. Portanto, esta atividade enfatizava argumentos mais próximos à categoria 3 (Relativismo). Buscamos mostrar que a “descoberta” da expansão do universo não foi pontual e isolada, e sim de uma contribuição coletiva de vários autores. Para isso, analisamos diferentes interpretações de historiadores sobre por que Hubble se tornou mais famoso que Lemaître, assim como as polêmicas sobre a ocultação da equação 24 na tradução do artigo de Lemaître do francês para o inglês (apresentadas nas seções 3.1.9 e 3.1.10).

Comparando as respostas dadas pelos alunos às questões 4 e 5 no Blog, que aconteceram, respectivamente, após as atividades 7 e 8, notamos que a postura predominante continuou sendo o empirismo/ racionalismo (categoria 1). Por outro lado, a atividade 8 influenciou um maior reconhecimento dos alunos de que houve influência de valores não cognitivos na aceitação da expansão do universo. Contudo, houve poucos alunos que tenderam ao relativismo, mantendo a visão de que a ciência como um todo é confiável e influenciada por valores cognitivos (categoria 1), mas que individualmente, às vezes, cientistas são influenciados por valores pessoais ou sociais (categoria 2).

Na atividade 9, em que os alunos aplicaram os conhecimentos organizados anteriormente no processo de escolha da terceira fase, o debate entre teóricos contra observacionais foi o mais marcante e acalorado em todas as classes.

Dos 20 argumentos categorizados, exatamente metade foi classificada como “internalista” e outra como “externalista”, mantendo-se o equilíbrio que começou a se apresentar desde a atividade 5. Porém, dentre os argumentos externalistas, quase não apareceram mais argumentos relacionados ao militarismo, ou às condições econômicas. Como

resultado natural da ênfase em debates científicos, a discussão tornou-se mais voltada para questões “internas” à comunidade científica.

Dentre os argumentos internalistas, 4 eram relacionados a resultados científicos sem relação direta com a cosmologia, tais como a classificação de galáxias proposta por Hubble e os trabalhos sobre evolução estelar de Arthur Eddington; 3 eram de tendência mais observacional e empirista, valorizando os resultados obtidos por Edwin Hubble; enquanto outros 3 eram relacionados a argumentos teóricos, valorizando Eddington e Lemaître. Todos os grupos foram pacificamente convertidos, aceitando a teoria do universo em expansão sem esboçar qualquer resistência, graças à autoridade de Eddington, Lemaître, Einstein, de Sitter e outros cientistas mencionados que aceitaram os resultados do artigo de Lemaître, divulgados por Eddington em 1931.

A maioria dos autores de divulgação científica nas últimas décadas têm apresentado Hubble como o descobridor da expansão do universo. O professor discursou na aula de revisão antes da última aula da sequência de ensino e aprendizagem: conforme discutido anteriormente (seção 3.1), isso é um erro, já que Hubble nem mesmo acreditava na expansão do universo e manteve uma postura cautelosa em relação às interpretações cosmológicas da relação redshift-distância até o fim de sua vida, na década de 1950.

Os grupos com tendência mais empirista valorizaram a medição de distâncias de nebulosas feita por Hubble, que levou à confirmação da relação linear entre redshift e distância em 1929. Alguns deles usaram argumentos tirados de pesquisas da internet para defender seu voto nos EUA.

Por outro lado, muitos dos cartões mostraram que Lemaître e Eddington defenderam a expansão do universo. Em 1927 Lemaître propôs uma relação linear entre redshift e distância, além de defender explicitamente a expansão do universo. Esse artigo foi redescoberto em 1931, por Eddington. Por isso alguns grupos decidiram votar na França, enquanto outros votaram na Inglaterra, por causa dos dois cientistas.

Essa polarização entre teóricos e observacionais levou a uma reprodução de um debate que vem ocorrendo entre historiadores da ciência e cientistas, envolvendo disputas de prioridade sobre a expansão do universo.

O grupo Marrom C foi especialmente enfático e polêmico, ao argumentar que nos EUA cientistas estavam perdendo o foco da pesquisa em cosmologia por se preocupar só em realizar medidas mais precisas sobre nebulosas. Isso gerou um debate acalorado no 1º C, que ocorreu de forma moderada nas outras duas classes.

Os grupos mais empiristas valorizaram as observações astronômicas realizadas por Slipher e Hubble, nos EUA; enquanto outros desvalorizaram estas observações sem teorias, preferindo votar em teóricos europeus como Einstein, Friedmann, Lemaître e de Sitter.

Isso levou, em todas as classes, a importantes discussões sobre o termo “provar”. Por exemplo o grupo Azul A argumentou: “Por mais que outros cientistas já tivessem estudado, só Hubble conseguiu realmente provar a Lei de Hubble”. Nisso, o professor interveio:

Professor: “Apareceu uma palavra importante, pessoal. Quando a gente fala em prova do ponto de vista científico, isso apareceu bastante no Blog, muitas vezes de modo errado. Como o grupo preto falou, o Hubble não considerou a expansão provada.”

Azul: “foi a partir do que o Hubble fez que outros conseguiram provar, calcular a idade do universo.”

Professor: “Ele foi então um precursor, alguém que antecedeu outros estudos importantes.” (Atividade 9, 22:35)

Dessa maneira, além de discutir explicitamente uma questão sobre a natureza da ciência: a problematização da ideia de provas ou verdades absolutas na cosmologia, o professor ajudou o grupo a adequar historicamente seu argumento, reconhecendo o valor das contribuições de Hubble.

No 1º C, o conceito de prova também foi discutido quando o grupo Vermelho defendeu que Hubble “provou que Andrômeda era uma galáxia”.

Professor: Provou? O que é provar?

Grupo Vermelho C: Provar é dizer que é....é realmente!

Isso levou o professor, na aula final, de revisão para a prova, a incluir em todas as classes uma discussão sobre “provas” na ciência, argumentando que nenhuma das teorias cosmológicas discutidas tinha sido provada no sentido de verdade absoluta, por que isso é impossível na ciência. O que se pode dizer é que há evidências razoáveis a favor de certas teorias, mas todas discutíveis.

Por outro lado, vale ressaltar que o aluno falava na prova de que Andrômeda é uma galáxia. Isto é considerado um fato experimental, que dificilmente será alterado por qualquer nova teoria cosmológica. Não há teorias alternativas que não consideram Andrômeda um galáxia.

Dentre os 10 argumentos externalistas, a maioria (7) debatia valores da atividade científica. Somente um tratava de relações entre ciência e religião, sendo que foi praticamente ignorado pelos demais grupos, assim como pelo Júri.

Novamente, o grupo Vermelho A voltou a votar em Lemaître, após ter valorizado seus estudos relacionando ciência com religião desde a atividade 3. Isso levou o grupo Amarelo a propôr um polêmico argumento contra Lemaître: “acusaram-no de ter procedimento não científico por ser padre” (Amarelo A).

O professor valorizou esse argumento: “essa ideia do átomo primordial, muita gente relacionou com Deus. E falou: 'olha você está misturando as coisas. Ciência é uma coisa, religião é outra'. Quem votou no Lemaître precisa se defender disso!” Porém, os demais grupos não entraram nesse debate, e os jurados não deram muita atenção a estes aspectos.

Dois argumentos foram classificados na categoria “Relação entre ciência e economia”, mas eram bem mais “internos” do que os argumentos classificados nesta categoria nas atividades anteriores: um grupo valorizou de Sitter por que estava num país que não foi tão afetado por guerras e outro valorizou Lemaître por ter chegado a resultados semelhantes ao de Hubble, porém contando com menos recursos e equipamentos, como acesso a grandes telescópios.

Os debates envolvendo valores da comunidade científica ocorreram de forma mais intensa nas situações de disputas de prioridade. Os grupos que valorizaram Lemaître defenderam seu pioneirismo (por ter chegado antes aos mesmos resultados de Hubble), assim como sua eficiência, por ter feito o mesmo com menos recursos. Já os grupos que valorizaram Hubble, valorizaram sua cautela e ceticismo.

Os grupos Vermelho, que votou em Hubble, e Marrom, que votou em Lemaître, debateram sobre a postura cautelosa e empirista de Hubble:

Grupo Vermelho: Outra coisa interessante é que ele [Hubble] deixava a interpretação dos redshift pra outras pessoas. Ele chegou na lei, mas deixou a interpretação para os outros.

Grupo Marrom: Mas o Hubble não deu continuidade, ele só fez as medidas.

Grupo Vermelho: Professor, eu não entendi isso aí que eles falaram.

Professor: Jair, você pode explicar melhor isso de que ele não deu continuidade?

Grupo Marrom: Assim, ele tava estudando as medidas, ele não deu continuidade ao assunto de cosmologia.

Grupo Vermelho: Porque ele terminou.

Grupo Marrom: Não, não tem esse negócio de terminar, sempre tem mais coisa pra fazer! (exaltado)

Grupo Vermelho: Ninguém conseguiu achar o que ele [Hubble] achou. Aí ele veio e disse “você que resolvam”. Ele não tava estudando isso [cosmologia], tava estudando outras coisas.

[Exalta-se e dá risada, os colegas fingem que o estão segurando pra ele não bater no adversário. Todos riem da situação.]

Dois grupos valorizaram a *fecundidade* das teorias de Einstein e de Sitter. No primeiro caso, por que o modelo estático de Einstein permitiu vários autores a desenvolverem modelos relativísticos semelhantes, enquanto o “Efeito de Sitter” foi importante para motivar vários autores em estudos que levaram à relação redshift-distância e posteriormente a usá-la como argumento a favor do universo em expansão.

Um grupo condenou a falta de modéstia de Einstein, que teria demorado em reconhecer seus erros ao rejeitar a expansão do universo. Já outro acusou Eddington de falta de imparcialidade, por supostamente ter boicotado Lemaître ao demorar 4 anos em tomar conhecimento de seu artigo publicado em francês, em 1927. O professor contra-argumentou, alegando que não há evidências históricas de que Eddington realmente tenha boicotado Lemaître, mas de qualquer forma este argumento foi interessante para ressaltar os valores científicos valorizados pelo grupo.

Os valores da comunidade científica foram debatidos na maior parte dos argumentos “externalistas”, e todos eles mostraram uma valorização de características típicas da visão clássica de ciência Mertoniana.

Mesmo com uso de elementos de uma história cultural e social da ciência, debatendo teses polêmicas como a não neutralidade da ciência, não houve aumento do relativismo e a maioria dos alunos continuou valorizando a ciência, mantendo ideias como pioneirismo, fecundidade, imparcialidade, modéstia e ceticismo como ideais.

4.5 Limites e possibilidades do jogo COSMIC

Em maio de 2015, pedi ao professor Vitor que escrevesse uma página sobre aspectos positivos e negativos sobre a sequência de ensino-aprendizagem produzida. No pedido, salientei que esperava um texto relatando opiniões, impressões e sentimentos ao longo do processo, para auxiliar a investigação mais acadêmica realizada a partir da coleta de dados apresentada na seção 4.4.

Este texto é, portanto, um resultado tanto de meu relato como participante das reuniões de grupo em que a sequência de ensino-aprendizagem foi criada e debatida, quanto do texto escrito pelo professor Vitor.

De modo geral, o grupo de pesquisa se mostrou bastante satisfeito com a aplicação do jogo na E. E. Ana Rosa de Araújo, durante um bimestre em 2013. Os membros do grupo se

engajaram bastante nas reuniões, participando ativamente e dando sugestões muito criativas. Consideramos também a aplicação na escola muito rica e produtiva, com o envolvimento da maioria dos alunos. Poucos grupos ficaram de fora. Tivemos debates inesperados e bons, pessoas se destacando, algo que normalmente não fariam.

Como esperado, houve certos alunos que se mantiveram desmotivados com a escola, sem nem mesmo prestar atenção nas aulas, reclamando do jogo por que ele exigia “pensar”. Uma limitação desta proposta é que ela exige engajamento nas discussões: se os alunos forem muito apáticos e o professor não conseguir motivá-los, a sequência não será bem sucedida. Trata-se de uma dinâmica arriscada, pois só ocorre adequadamente com a participação da maioria dos alunos.

Consideramos a ideia de ensinar cosmologia com enfoque histórico, a partir de jogos com debates, ousada e original. Porém reconhecemos que ela deve ser melhorada para que se torne cada vez mais exequível.

O grupo elogiou a qualidade estética das fichas, resultado da colaboração voluntária de profissionais de design ligados ao grupo. O professor Vitor também salientou que isso, junto à boa organização dos materiais, determinou o bom andamento da sequência. Também notamos ao ministrar um curso sobre a sequência didática no SNEF em janeiro de 2015, que esta proposta pode ser replicada, mas isso exigirá um novo trabalho para conceber uma nova situação.

O professor Vitor considerou que “o principal ganho dos alunos foi em relação à postura, não tenho dúvida e pude confirmar isso nos anos subsequentes. Aprenderam a debater com maturidade, analisar a posição dos outros, encontrar argumentos etc. Além disso trouxeram a dimensão de que a ciência é sim um construto humano, embora essa noção não seja fácil de mensurar, eu sinto isso..rs. Tiveram atenção, discutiram e discordaram e também fortaleceram a relação deles comigo. ”

Além disso, também apontou ganhos que considera importantes para os pesquisadores em Ensino de Ciências, que em geral têm poucas oportunidades de contato direto com aulas nas escolas públicas: “para o grupo e sobretudo para o pesquisador, lidar com o ambiente de sala de aula em sua efervescência ajuda a dirimir algumas prerrogativas da pesquisa em natureza da ciência, como, por exemplo, ser fácil detectar perfis dos alunos. Estar lá abre uma clareira sobre a complexidade da sala de aula, suas relações de poder, afetivas, cognitivas, engajamento, ludicidade, etc. Que talvez possa lançar luz a críticas metodológicas sobre outras pesquisas ou, quem sabe, assim espero, a possibilidade de desenvolver uma pesquisa

mais complexa e multissensorial sobre o processo ensino-aprendizagem.” Em contrapartida, notou que “não demos devolutivas para eles sobre a pesquisa. Fomos lá, os usamos e nada falamos sobre a colaboração deles. Isso é importante para que eles entendam um processo de construção do conhecimento. Talvez isso possa ainda ser feito. Espero que o trabalho não tenha desanimado os membros e os feito entrar em trabalhos mais teóricos. Não acredito que um grupo de ensino deva se furtar deste trabalho de agir em função da escola.”

Também notamos uma série de limites desta proposta. A questão que gerou mais debates, tanto na construção do jogo, quanto nos relatos semanais nas reuniões de grupo imediatamente após cada aula, foi como criar critérios para avaliar os argumentos dos alunos, auxiliando os jurados a exercer sua importante função, tanto no jogo quanto para promover o aprendizado coletivo. Apesar de muito debatida, consideramos que ainda não encontramos uma solução satisfatória para essa questão.

Percebemos logo no início da aplicação da proposta que o júri deveria ser mais preparado, de forma que seria preciso pensar melhor na avaliação de sua atuação e como escolher quais alunos seriam escolhidos. Como notou o professor Vitor, “trata-se de um colegiado de confiança, deveria ser escolhido pelo professor, mas isso poderia empobrecer as discussões”. Outra sugestão interessante, feita durante a aplicação do jogo para Bacharéis em Física no Instituto de Física de São Carlos em novembro de 2014, foi a de propor uma dinâmica em que os jurados também são avaliados pelos investigadores, de forma a neutralizar possíveis jogos de poder entre os alunos.

Mesmo para os investigadores, o sistema de notas não ficou muito claro. Certos alunos se esforçaram muito, mas como tiveram azar, ou faziam parte de grupos menos motivados, tiveram notas baixas. Um aluno que atualmente está no terceiro ano, dois anos depois do jogo, ainda reclama com o professor Vitor sobre uma nota injusta dada a seu grupo.

Conforme muitas pesquisas sobre educação evidenciam, mudanças da cultura escolar são sempre lentas e graduais, exigindo esforço coletivo ao longo de muito tempo. Intervenções pontuais, como sequências de ensino e aprendizagem têm um impacto modesto nestas questões tão complexas.

Muitas das atitudes dos estudantes eram baseadas na vontade não de aprender, mas de obter sucesso na avaliação. Normalmente, os estudantes são avaliados somente por seu desempenho individual. A introdução de uma forma de avaliação coletiva, em que o desempenho de certos alunos dependia dos demais e principalmente do desempenho dos jurados, levou a uma série de conflitos. Gerenciar estes conflitos foi um dos principais

desafios dessa inovação didática. Buscamos valorizar no jogo a cooperação entre todos, levando em conta o sucesso coletivo na avaliação da turma.

Outra limitação percebida pelo professor Vitor foi que “construímos um conjunto de aulas, não propriamente um jogo. Mas não sei se isso é bom ou ruim, apenas não pode ser vendido como um” e que “a sequência é muito longa para ser um jogo e por vezes perdia este dinamismo. Intercalar aulas no meio, retomar, trazer pontuações, situações, mostraram cada vez mais que os alunos estavam interessados em um tipo diferente de aula, na possibilidade de ter voz, do que em jogar este jogo ou aprender cosmologia. ”

De fato, durante o processo de criação, houve momentos em que buscamos inserir mais aspectos lúdicos inspirados em elementos de jogos comerciais, tais como formas para limitar o movimento dos alunos viajando pelo tabuleiro, uso de recursos financeiros fictícios durante as viagens, entre outras ideias. Contudo, notamos que dado o tempo disponível, não chegamos a uma solução satisfatória para a questão: “como decidir quem ganha o jogo? Como os alunos do Júri podem se considerar vencedores?”. Por isso, decidimos simplificar o jogo. Isso fez com que ele se tornasse mais próximo de uma sequência de aulas intercalada por debates.

Entretanto, por mais que a atividade desenvolvida não tenha muitos componentes destes elementos dos jogos tradicionais brasileiros, ao ler sobre pesquisas envolvendo jogos didáticos, percebemos que o *Cosmic* pode ser considerado um jogo, muito semelhante, por exemplo, ao “Jogo de debates”, desenvolvido pelo Epistemic Games Group¹¹⁹, que teve de enfrentar o mesmo problema de decidir como os jurados podem considerar-se vencedores.

Alguns jogos tradicionais, como Xadrez, War ou Banco Imobiliário, têm regras definidas e claras para eleger o vencedor e o perdedor. Por outro lado, outros jogos com milhões de usuários ao redor do mundo, como *World of Warcraft*, não têm como objetivo vencer ou ganhar, mas sim evoluir durante o processo do jogo. Há pelo menos quatro perfis de jogadores: os que gostam de obter sucesso em tarefas propostas, os que gostam de explorar o mundo virtual do jogo, os que preferem socializar com outros jogadores e os que gostam de obter poder sobre outros jogadores. Além disso, este tipo de jogo complexo tem momentos nada divertidos, que os jogadores enfrentam tarefas desagradáveis e complexas pelo engajamento com o cenário fictício apresentado.

De qualquer forma, reconhecemos que o *Cosmic* está longe de poder ser considerado um jogo tão bem elaborado quanto estes, que são normalmente desenvolvidos ao longo de décadas por equipes enormes, com financiamento milionário. Além disso também não têm os

¹¹⁹Apresentado na seção 4.1.

elementos tradicionais dos jogos brasileiros mais simples, como pontos, vencedores e ganhadores. Assim a ressalva do professor Vitor é importante, não devemos vendê-lo como um jogo tradicional, mas sim como um jogo didático, que tem alguns elementos divertidos, mas que pode frustrar estudantes que tenham uma visão tradicional de o que é um jogo. Sem dúvida, equipes interdisciplinares, incluindo professores de história e especialistas em jogos didáticos poderiam melhorar muito nossa proposta de jogo.

Outro risco importante na aplicação desta sequência didática é que o conteúdo histórico seja abordado de forma tradicional, estimulando a memorização de nomes, fatos e datas. É essencial convencer os estudantes que o mais importante é aprender a pesquisar, selecionar informações relevantes e criar argumentos significativos, problematizando a visão bancária da educação, que vê o ensino como depósito de conteúdos sobre as mentes vazias dos alunos. Esperamos que os alunos compreendam a história, assim como a história da ciência, como construções humanas, entendendo que há diversas influências políticas sobre as interpretações que os historiadores fazem dos documentos históricos.

Na opinião do professor Vitor, “as discussões mais fortes foram as primeiras etapas de escolha do país porque conhecimentos deles podiam ser mobilizados. Já na escolha do cientista nem tanto. Isso leva a um segundo problema que vejo como um obstáculo epistemológico. Os alunos se afiançavam nas informações das fichas e não nas suas articulações. De modo que se via muitas vezes as palavras como objetos e não seus significantes.”

Além disso, infelizmente, como nesse bimestre houve um número atípico de feriados nos dias de aulas de física, e várias aulas de física em junho foram cedidas para preparação da festa junina, não houve tempo de jogar a terceira fase do jogo. O professor Vitor notou que “O tempo foi um obstáculo agudo. Não temos condições de afirmar muitas coisas quando sequer chegamos às outras etapas. O trabalho precisa ter um fechamento e isso não ocorreu ou foi incipiente.”

Finalmente, vale notar que a sequência foi aplicada apenas por um professor, que participou ativamente de todo o processo de construção da sequência, e que com isso aprendeu muito sobre história da cosmologia. Além disso, ele já tinha uma ótima formação sobre história e filosofia da ciência.

Sobre sua própria atuação no grupo, o professor Vitor notou para ele próprio “ganhos em conhecimento e conteúdo, nos processos que o conhecimento se dá. Na articulação e preparo para lidar com situações não esperadas. Embora, acredito eu, somente o domínio dos

conteúdos e a clareza da metodologia e objetivos podem permitir a qualquer professor uma resposta rápida para situações inesperadas. É sempre um processo trabalhoso lidar com dinâmicas desta ordem. Seja no gerenciamento da sala, elaboração, estudo ou na exaustão da mente com tanta coisa acontecendo. Mas isso é coisa pouca perto da experiência proporcionada a eles.”

A sequência produzida ainda precisaria passar por mais processos cíclicos de desenho, aplicação, análise para poder ser considerada efetivamente funcional, segundo a metodologia da *Design Based Research*, como as produzidas e investigadas anteriormente por integrantes do TeHCo e do NUPIC (Nicolau et al 2013, Nicolau 2014).

Dessa maneira, a sequência didática apresentada nessa tese não é um produto validado por pesquisas empíricas, pronto para ser aplicado em diferentes contextos educacionais. Trata-se de uma proposta a ser pensada e readaptada, num processo em que o professor terá muita liberdade para enfatizar os aspectos que julgar mais relevantes.

A riqueza dos debates nos mostrou que o jogo foi bem sucedido em fomentar o engajamento da maioria dos estudantes, que participaram ativamente das aulas e buscaram materiais adicionais de pesquisa para criar argumentos. O jogo também se mostrou uma forma interessante de investigar os interesses dos alunos relacionados a temas envolvendo a ciência e sua relação com a sociedade.

Em contrapartida, notamos uma série de riscos nessa proposta, como a de que alunos busquem somente vencer com argumentos retóricos e não se interessem pelo conhecimento, ou que a história da ciência seja resumida a aspectos biográficos curiosos, anedotas e memorização de fatos e datas. É importante que o professor interessado em utilizar este jogo esteja atento para estes riscos e tenha estratégias para evitá-los, o que exige estudar sobre a inserção da história e filosofia da ciência na educação básica.

Além disso, uma pergunta natural é: os alunos aprendem efetivamente cosmologia com esse jogo? Não é perda de tempo ficar debatendo sobre assuntos técnicos como a relação redshift-distância? Não seria melhor transmitir mais conteúdos, de forma clara e objetiva?

Paulo Freire (1977) respondeu a indagações semelhantes refletindo sobre como agrônomos deveriam realizar a extensão ou comunicação de conhecimentos científicos a camponeses chilenos, num processo de reforma agrária. Freire criticou a invasão cultural realizada no processo de extensão que ignora a cultura prévia dos camponeses, defendendo que esta interação deve ser dialógica.

Porém uma objeção comum dos agrônomos extensionistas é a de que a relação dialógica é lenta e pouco produtiva. Além disso, não faria sentido perder tempo debatendo assuntos técnicos com os camponeses, sobre os quais eles não sabem quase nada. Não faria sentido debater, por exemplo, se 4×4 é igual a 15, ou se a fórmula da água é H_2O , ou como se deu um fato histórico, que se deu em um certo momento e modo.

Freire defende que tudo é problematizável e argumenta que aspectos técnicos não devem ser memorizados, tidos como prontos:

O que se pretende com o diálogo não é que o educando reconstitua todos os passos dados até hoje na elaboração do saber científico (...) [mas sim] a problematização do próprio conhecimento em sua indiscutível relação com a realidade concreta na qual se gera e sobre a qual incide, para melhor compreendê-la, explicitá-la, transformá-la (Freire 1971, p. 52).

Propõe, por exemplo, que se mostre que $4 \times 4 = 16$ apenas se utilizarmos o sistema decimal de unidades, ou que 4×4 seja traduzido para experiência concreta, fazendo 4 tijolos 4 vezes. Da mesma forma, numa demonstração experimental em laboratório de que a água é composta por hidrogênio e oxigênio:

É necessário que o educando perceba, em termos críticos, o sentido do saber como busca permanente. É preciso que se discuta o significado deste achado científico; a dimensão histórica do saber, sua inserção no tempo, sua instrumentalidade. E tudo isso é tema de indagação, de diálogo (Ibidem).

Quando se realiza inovações didáticas na educação básica, com aulas dialógicas, a quantidade de conteúdos é depositada pelo professor sobre os alunos é menor do que nas aulas tradicionais expositivas. Esse processo dialógico é lento e menos produtivo.

No caso da cosmologia, sem dúvida seria mais simples ensinar que “A expansão do universo foi descoberta em 1929” e esperar que os estudantes memorizem esta informação. Com isso sobraria mais tempo para transmitir mais conteúdos, tornando a sequência didática mais produtiva.

Porém, essa postura empobrece a visão de ciência transmitida e peca ao considerar os estudantes como objetos vazios a serem preenchidos por conteúdos, cada vez mais atualizados. Defendemos que vale a pena “perder tempo” com diálogos sobre a história da cosmologia, incluindo a problematização de termos como “descoberta”

Desde 2012, o jogo Cosmic foi construído coletivamente e sendo jogado pelos integrantes do Grupo TeHCo, mas também foi jogado e recebeu contribuições de vários públicos

distintos: professores de física, alunos de pós-graduação de ciências humanas e artes, e pós graduandos em Física formados no Bacharelado em Física.

Notamos que foi completamente diferente jogar com públicos distintos. Enquanto os estudantes de ciências humanas gostaram especialmente de debater relações entre ciência e política, mostrando dificuldade de analisar os conteúdos científicos, os bacharéis em física fizeram o oposto, praticamente ignorando os aspectos sociais e culturais, dando atenção praticamente exclusiva aos conteúdos científicos. Isso reforça a necessidade de inserção de abordagens interdisciplinares na educação básica, para que essa dicotomia entre ciências humanas e ciências exatas seja superada.

Em 2014, investigamos como adaptar este curso para a formação de professores, ministrando um curso de 6 horas no Simpósio Nacional de Ensino de Física. Uma versão piloto do curso foi discutida com o grupo de pesquisa da professora Cibelle Silva, no Instituto de Física da USP de São Carlos.

No curso ministrado no SNEF, depois de jogarmos a segunda fase do jogo e debatermos alguns dos resultados da investigação realizada na Escola Pública paulistana, fizemos também o exercício de pensar como seria adaptar esta metodologia de ensino para outros episódios históricos.

Notamos a necessidade de que sejam disponíveis fontes secundárias confiáveis para a criação de novos cartões para o jogo, assim como a escolha de temas controversos, com potencial para discussões interessantes. Os parâmetros elaborados por Forato (2009) e utilizados na criação e avaliação da sequência de ensino e aprendizagem sobre cosmologia (Forato e Bagdonas 2015) podem ser utilizados para guiar este processo.

Na criação da sequência didática, não houve inspiração direta na pedagogia de Paulo Freire, ou dos Três Momentos Pedagógicos (Delizoicov 1991). Contudo, após a intervenção na escola pública paulistana, notamos que a primeira etapa de cada fase do jogo, em que os alunos têm mais liberdade para argumentar sobre valores envolvendo a ciência de modo relativamente livre, pode consistir numa autêntica *problematização inicial* se os interesses dos alunos forem efetivamente discutidos nas etapas seguintes,

O jogo didático foi criado de modo a valorizar o interesse dos estudantes sobre temas mais amplos envolvendo ciência e suas relações com a sociedade. Isso permitiu que se debatesse uma série de aspectos polêmicos, que emergiram espontaneamente a partir das investigações dos alunos, tais como o papel das mulheres na ciência, impacto na ciência na pesquisa militar, relações entre ciência e criação de alimentos, ciência e religião, o

engajamento de cientistas na divulgação científica e vários outros aspectos envolvendo ciência, tecnologia e sociedade.

Nosso planejamento na sequência de ensino e aprendizagem nos levou a dar uma atenção marginal a estes aspectos, já que o foco era discutir a história da cosmologia. Ainda que esta experiência tenha sido satisfatória, notamos que pode ser interessante adaptar o jogo para o ensino de outros temas da física, incluindo relações mais próximas entre a física, a sociedade e o cotidiano dos estudantes.

5 Considerações finais

Nesta pesquisa argumentamos que educadores não precisam evitar controvérsias ao ensinar ciências com enfoque histórico-filosófico. Após uma revisão da literatura sobre pesquisas que tratam do ensino da chamada “natureza da ciência”, defendemos que educadores preocupados com a formação de indivíduos críticos precisam evitar a adoção dogmática de teorias metacientíficas, com base na autoridade de especialistas das áreas de história, filosofia e sociologia da ciência.

Muitas das questões mais relevantes para a educação científica atualmente envolvem aspectos controversos sobre a natureza da ciência. Dentre elas, estão relações entre ciência, tecnologia e sociedade, a neutralidade da ciência e as tensões envolvendo realismo e relativismo. Em vez de evitar estes aspectos não consensuais na educação básica, defendemos que os pesquisadores em ensino de ciências precisam ajudar os professores a abordar estas questões tão desafiadoras.

Na chamada “Guerra das Ciências”, cientistas naturais se opuseram ao questionamento da autoridade da ciência em estudos realizados nas áreas da história, da filosofia e principalmente da sociologia da ciência. Adotamos uma abordagem inicialmente dicotômica destas tensões, como estratégia pedagógica para apresentá-las no âmbito da pesquisa em ensino de ciências. Contudo, um dos objetivos ao realizar estas discussões era exatamente mostrar que essa dicotomia pode ser dissolvida a partir de uma análise mais cuidadosa.

Por um lado, caracterizamos uma tendência que pode ser chamada de “visão clássica de ciência”, “realismo”, “racionalismo”, “positivismo”, ou “empirismo”, que apesar de incluir várias tensões internas, pode ser grosseiramente associada aos defensores da autoridade científica contra seus críticos, na chamada “Guerra das Ciências”. O outro lado desta disputa, incluiria posturas tipicamente defendidas por intelectuais humanistas críticos à ciência, tais como “relativismo”, “antirrealismo” e “construtivismo social”.

Apresentamos um histórico destas tensões no âmbito da história da ciência, com ênfase na oposição entre história “internalista” e “externalista”; e no âmbito da filosofia da ciência, com ênfase na tensão entre “racionalismo” e “relativismo”, discutida com ênfase nas obras de Paul Feyerabend e Imre Lakatos.

Caracterizamos os valores típicos da visão “Clássica” de ciência, apresentada pelo sociólogo da ciência Robert Merton, tais como universalismo, comunidade, desinteresse e ceticismo organizado. Merton demonstrou, a partir de exemplos históricos, que tensões entre

estas normas que constituem o “ethos da ciência” e a valorização da originalidade e estímulo à competição entre cientistas levam às chamadas *disputas de prioridade*. Porém, como a ética científica condena o culto excessivo da personalidade e estimula o trabalho coletivo, muitas dessas disputas não envolvem os próprios cientistas, mas seus familiares, colegas, compatriotas e outros interessados na história da ciência como fonte de orgulho nacional.

Com base em estudos sobre a história da cosmologia no século XX, buscamos casos históricos que nos permitissem debater estas tensões. Inicialmente, analisamos disputas de prioridade envolvendo a criação da chamada Lei de Hubble, que levou à aceitação da teoria da expansão do universo neste período. Em seguida, inspirados pela oposição entre Lakatos e Feyerabend, analisamos duas versões diferentes sobre a história do triunfo da teoria do Big Bang sobre teorias rivais.

Para investigar a viabilidade de levar estas tensões para a educação básica, criamos uma sequência de ensino e aprendizagem para abordar cosmologia e discutir influências socioculturais sobre a ciência. Esta sequência de ensino e aprendizagem, que foi investigada em aulas de física do Ensino Médio, em uma escola estadual paulistana, é estruturada a partir de debates do tipo “Júri Simulado”, nos quais o professor e os estudantes interpretam papéis como membros de uma instituição de fomento à pesquisa sobre cosmologia.

Os alunos são divididos em grupos de investigadores que fazem pesquisa sobre a história da cosmologia inserida em seu contexto sociocultural, lendo cartões preparados para o jogo que contêm elementos conceituais, mas também aspectos da política, cultura e economia em cada período. O jogo tem uma divisão espacial, já que os investigadores “viajam” por diferentes países, assim como uma divisão temporal, por que cada fase simula um período histórico: 1ª fase: 1914 a 1924; 2ª fase: 1925 a 1931 e 3ª fase: 1932 a 1939.

Muitos pesquisadores mostraram receio de que ao trazer contribuições da sociologia da ciência ou da história da ciência “externalista” para o ensino de ciências haveria o risco de fomentar um relativismo ingênuo, ou até mesmo uma desvalorização da ciências pelos estudantes.

Em nosso estudo, buscamos contribuições da história social e cultural da Física no século XX, tais como os estudos de Peter Galison sobre a teoria da relatividade, de Alexei Kojevnikov sobre a ciência soviética e de Paul Forman sobre a ciência na Primeira Guerra Mundial. Também enfatizamos disputas de prioridade sobre a expansão do universo, influências de argumentos religiosos permeando os debates sobre a suposta “criação do universo” no modelo do átomo primordial de Lemaître e apresentamos teorias alternativas da

cosmologia mantendo o debate aberto, evitando mostrar preferência por qualquer modelo cosmológico.

Porém buscamos gerenciar o risco de relativismo apresentando também ênfase sobre a relevância de argumentos racionais, pautados em observações astronômicas, para as decisões tomadas pelos cientistas que estudaram cosmologia nesse período.

A partir da investigação das visões de ciência dos alunos ao longo das atividades da sequência de ensino e aprendizagem, concluímos que poucos alunos apresentaram visões relativistas ingênuas. A maioria dos argumentos no jogo se pautou nos valores típicos do “ethos da ciência”, descrito por Robert Merton. Mesmo quando reconheciam que certos cientistas agiam contrariando esses valores, viam isso como uma distorção, cujas consequências foram corrigidas pela atuação coletiva da comunidade científica ao longo do tempo. Este resultado parece indicar a viabilidade de levar controvérsias para a educação básica, desde que se tome as precauções necessárias para gerenciar os riscos envolvidos neste processo.

6 Referências

ABD-EL-KHALICK, Fouad. Examining the sources for our understandings about science: Enduring conceptions and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education*, 34(3), 353-374, 2012.

ABD-EL-KHALICK, Fouad; BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D. and Tuan, H.-I. Inquiry in science education: International perspectives, *Science Education*, v. 88, n. 3, p. 397-419, 2004.

ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. Improving science teachers' conceptions of the nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education* v.22, n.7, p.665-701, 2000.

ABRANTES, Paulo. A metodologia de J. C. Maxwell e o desenvolvimento da teoria eletromagnética. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 5, (Número Especial), 58-75, 1988.

AGUIAR, Ricardo Rechi. *Tópicos de Astrofísica e Cosmologia: uma aplicação de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ANTUNES, Adriana M.; Sabóia-Morais, Simone M. T., O jogo educação e saúde: uma proposta de mediação pedagógica no Ensino de ciências, *Experiências em Ensino de Ciências*, v.5, n.2, pp. 55-70, 2010.

AL-KHALILI (Diretor). *Lost Horizons - The Big Bang* [Filme Cinematográfico], 2008.

ALLCHIN, Douglas. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95, 518-542, 2011.

ALPHER, Ralph; BETHE, Hans e GAMOW, George. The Origin of Chemical Elements, *Physical Review*, v.73, n.7, p.803-804, 1948.

ALPHER, Ralph e HERMANN, Robert. Remarks on the evolution of the expanding universe, *Physical Review*, 75, 1089-1095, 1949.

ALPHER, Ralph e HERMANN, Robert. *Genesis of the Big Bang*, Oxford University Press, Oxford, 2001.

ALTERS, Brian. Nature of science: A diversity or uniformity of ideas? *Journal of Research in Science Teaching*, v. 34, p.1105-1108, 1997.

ANDRADE, Victória F.; BAGDONAS, Alexandre. Uma breve história da galáxia. In: *Atas da 61ª Reunião Anual da SBPC*, Manaus, 2009. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/61ra/minicursos/MC_VictoriaAndrade.pdf>, acesso em janeiro de 2010.

ANDREWS, James T. *Red cosmos*:

ANDREWS, James T. Asif A. Siddiqi, *Into the Cosmos: Space Exploration and Soviet Culture*. University of Pittsburgh Press, 2011.

ANGOTTI, José André P. *Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências*. Tese de Doutorado em Educação, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1991.

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. M. Introducción de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-en-acto y determinación de objetivos-obstáculo. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p.01-21, ago. 2006.

ARTHURY, Luiz H. M. *A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos*. 133f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, UFSC, Florianópolis, 2010.

ASIMOV, Isaac. *O colapso do universo* [tradução de Donald Garschagen].Círculo do livro, 1977.

ASSIS, André K. T. e NEVES, Marcos C. D. History of the 2.7K temperature prior to Penzias and Wilson. *Apeiron*, v.3, n.2, p.79-87, 1995.

ASSIS, André K. T. e NEVES, Marcos C. D. Tradução comentada do artigo de Guillaume de 1896 sobre a temperatura do espaço. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31.3, p. 564-570, 2014.

ASSIS, André. K. T.; NEVES, Marcos C. D. e SOARES, Domingos S. d. L. A cosmologia de Hubble: De um universo finito em expansão a um universo infinito no espaço e no tempo. In: NEVES, M. C. D.; SILVA, J. A. P.(Editores), *Evoluções e Revoluções: O Mundo em Transição*, Editora Massoni e LCV Edições, Maringá, pp.199-221, 2008.

AZEVEDO, H. Competência comunicativa de futuros professores frente à diversidade religiosa na abordagem do Tema “origens do universo”. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências. Universidade Estadual Paulista, 2011.

BAGLEY, E. & Shaffer, D. W. Promoting civic thinking through epistemic game play. In R. Ferdig (Ed.), *Discoveries in gaming and computer-mediated simulations: New interdisciplinary applications*, (pp. 111-127). Hershey, PA: IGI Global, 2011.

BAGDONAS, Alexandre. *The Adaptation Of A Soviet Theoretical Physicist To American Empiricist Tradition And The Creation Of Big Bang Theory*. In: Qualicum History Conference, 2014, Parksville. Atas do Qualicum History Conference, 2014.

BAGDONAS, Alexandre. *Gamow como divulgador de ciência: uma nova perspectiva para a teoria do Big Bang*. In: XIV Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 2014, Belo Horizonte. Atas do XIV Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 2014b.

BAGDONAS, Alexandre; ANDRADE, Victória F. e SILVA, Cibelle C. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia: O Grande Debate*. In: Atas do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF. Vitória, ES, 2009.

BAGDONAS, Alexandre ; ZANETIC, João ; GURGEL, Ivã . *O uso da história da ciência no ensino como forma de refletir sobre influências sociais e culturais na cosmologia do século XX*. In: Encontro Nacional de Pós-Graduandos em História das Ciências, 2011, Salvador. Anais do II Encontro Nacional de Pesquisadores em História das ciências ENAPEHC. Salvador: UFBA / UEFS / UFMG,. p. 15-31, 2011.

BAGDONAS, Alexandre; ZANETIC, João; GURGEL, Ivã. *O que podemos aprender sobre a natureza da ciência a partir da história da ciência soviética?* In: Anais do 13º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia, 2012a.

BAGDONAS, Alexandre; ZANETIC, João ; GURGEL, Ivã . *Críticas à Visão Consensual da Natureza da Ciência e a Ausência de Controvérsias na Educação Científica..*

In: XIV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 2012, Maresias. Atas do XIV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 2012b.

BAGDONAS, Alexandre ; ZANETIC, João ; GURGEL, Ivã . *A favor e contra o método: a tensão entre racionalismo e anarquismo epistemológico na controvérsia entre Big Bang e Estado Estacionário..* In: VIII Encuentro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur (AFHIC)., 2012, Santiago. Anais da VIII Encuentro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur (AFHIC), 2012c.

BAGDONAS, Alexandre ; ZANETIC, João ; GURGEL, Ivã. *A recepção da cosmologia relativística na URSS como forma de analisar influências políticas sobre a ciência.* In: 2nd - Latin-American Conference of the International History, Philosophy, and Science Teaching Group, 2012, Mendoza. Atas do 2nd - Latin-American Conference of the International History, Philosophy, and Science Teaching Group, 2012d.

BAGDONAS, Alexandre ; ZANETIC, João ; GURGEL, Ivã. *O grande erro de Einstein, a descoberta da expansão do universo e as reconstruções racionais da cosmologia.* In: XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2013, São Paulo. Atas do XX Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2013.

BAGDONAS, Alexandre ; ZANETIC, João ; GURGEL, Ivã . Controvérsias sobre a natureza da ciência como enfoque curricular para o ensino de física: o ensino de história da cosmologia por meio de um jogo didático. *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 2, p. 242-260, 2014.

BAGDONAS, Alexandre ; FABRÍCIO, Vitor ; GURGEL, Ivã ; NORONHA, André ; VELÁSQUEZ, Felipe . *Discutindo a Ciência e suas Relações com a Sociedade, Política e Nacionalidade por Meio de um Jogo Didático sobre a História da Cosmologia.* In: III Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 2014, Curitiba. Atas do III Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 2014b.

BAGDONAS, Alexandre ; FABRÍCIO, Vitor ; GURGEL, Ivã ; NORONHA, André ; VELÁSQUEZ, Felipe A didactic game about cosmology designed to discuss controversies about science. In: PIETROCOLA, Maurício, GURGEL, Ivã (orgs.) *Crossing the border of traditional science curriculum: innovative teaching and learning in science basic education, Bold visions in educational research*, Sense publishers, forthcoming.

BARCELOS, Marcília. *História, Sociologia, Massa e Energia. Uma reflexão sobre a formação de pesquisadores em física.* Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 2008.

BARRA, Eduardo S. O. A realidade do mundo da ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica, *Ciência & Educação*, 5(1): 15-16, 1998.

BATISTA, Irinea. *A teoria universal de Fermi: da sua formulação inicial à reformulação*, 122 p. Tese (Doutorado)-Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BAZETTO, Maria Cecilia Queiroga; BRETONES, Paulo Sérgio. *A cosmologia em teses e dissertações sobre Ensino de astronomia no Brasil.* In: Atas do I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, Rio de Janeiro, 2011.

BELENKIY, Ari. The Waters I am Entering No One yet Has Crossed: Alexander Friedmann and the Origins of Modern Cosmology, In: *"Origins of the Expanding Universe:*

1912-1932", M. J. Way & D. Hunter, eds., *ASP Conference Series.*, Vol. 471 (in press), *arXiv preprint*, [arXiv:1302.1498](https://arxiv.org/abs/1302.1498) [physics.hist-ph], 2013.

BERNAL, John D. *The social function of science*. Routledge & Kegan Paul Ltd., London, MIT press, [second edition 1973], 1939.

BERNSTEIN, Jeremy; FEINBERG, Gerald. *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, New York, Columbia University Press, 1986.

BERTOTTI, B.; BALBINOT, R.; BERGIA, S.; MESSINA, A. (eds.), *Cosmology in Retrospect*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.

BLANCHARD, Alain. Lemaître's contribution to the emergence of the Physical Cosmology. *Historical development of modern cosmology*, ASP conference series, v. 252, 2001.

BLOCK, David L. A Hubble eclipse: Lemaitre and censorship. *History and Philosophy of Physics (physics. hHist-ph)*, 2011.

BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari, Investigação qualitativa em educação uma introdução à teoria e aos métodos [tradutores Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos, Telmo Mourinho Baptista]. Porto Editora, 1994. 336 p.

BONDI, Hermann e GOLD, Thomas. The Steady-State Theory of the Expanding Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* v.198, p.252–270, 1948.

BONDI, Hermann. *Cosmology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1952.

BOURDIEU, Pierre. Usos sociais da ciência. Unesp, 1997 [edição de 2004].

BRAGA, Rodrigo G.; Matos, Santer A. Kronus: Refletindo Sobre A Construção De Um Jogo Com Viés Investigativo, *Experiências em Ensino de Ciências*, v.8, n.2, pp. 1-719, 2013.

BRETONES, Paulo S. Disciplinas introdutórias de Astronomia nos cursos superiores do Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, UNICAMP, 1999.

BRETONES, Paulo S. (Org.) Jogos para o ensino de Astronomia. Campinas: Átomo, 2013. 115 p.

BRITO, Jeane Quelle Alves, and Luciana Passos Sá. Estratégias promotoras da argumentação sobre questões sócio-científicas com alunos do ensino médio. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 9, 3, p. 505-529, 2010.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física moderna? *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre 10, n. 3, p.387-404, 2005.

BRUSH, Stephen G. Should the history of science be rated X? *Science*, 183.4130: 1164-1172, 1974.

BRUSH, Stephen G. How cosmology became a science, *Scientific American*, 267, 62-70, 1992.

BRUSH, Stephen G. Prediction and Theory Evaluation: Cosmic Microwaves and the Revival of the Big Bang, *Perspectives on Science*, 1, p. 565-602, 1993.

BRUSH, Stephen G. Is the earth too old? The impact of geochronology on cosmology, 1929–1952. *Geological Society, London, Special Publications*, 190,1 : 157-175, 2001.

BRUSH, Stephen G. Cautious revolutionaries: Maxwell, Planck, Hubble. *American Journal of Physics* 70.2,: 119-127, 2002.

BUKHARIN, N. I. et al. *Science at the crossroads*, London, Frank & Cass, 1971.

CANATO JUNIOR, Osvaldo. *Texto e contexto para o ensino de física moderna e contemporânea na escola média*. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, 2003. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física.

CANTIMORI, Delio. *Los Historiadores y la Historia*. Barcelona: Península, 1985.

CHALMERS, Alan. *O que é a ciência, afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHALMERS, Alan. *A Fabricação da Ciência*. São Paulo: Editora da Unesp, 1994.

CLOUGH, Michael P. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. The Pantaneto Forum, 25, <http://www.pantaneto.co.uk/issue25/front25.htm>, 2007.

COMPIANI, M. *As Geociências no ensino fundamental: um estudo de caso sobre o tema "A formação do Universo"*. 1996. 224p. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

CHRISTIANSON, Gale. *Edwin Hubble. Mariner of the Nebulae*. New York: Farrar, Straus and Giroux, 1995.

DAMINELLI, Augusto. *Hubble: a expansão do universo*, Editora Odysseus, São Paulo, 2003.

DELIZOICOV, D. Ensino de Física e a Concepção Freireana de Educação. *Revista de Ensino de Física*, v. 5, n. 2, p.85-98, 1983.

DELIZOICOV, Demétrio. *Tensões e transições do conhecimento*. Tese de doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1991.

DE SITTER, Willem. Einstein's theory of gravitation and its astronomical consequences, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 78, 3-28, 1917. [Reimpresso em BERNSTEIN, Jeremy; FEINBERG, Gerald. *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, p.28-49, New York, Columbia University Press, 1986.]

DE SITTER, Willem. The expanding universe. Discussion of Lemaître's solution of the equations of the inertial field (Errata: 5 V), *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 5, p.211. 1930.

DeVORKIN, David. Henry Norris Russell and the Expanding Universe, arXiv:1302.0240 [physics.hist-ph], 2013. [In: *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932 ASP Conference Series*, Vol. 471 Michael J. Way and Deidre Hunter, eds, 2013].

DIAS, Valéria Silva. *História e filosofia da Ciência na Pesquisa em Ensino de Ciência no Brasil: Manutenção de um Mito?* Tese (Doutorado em Educação Para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2008.

DINGLE, Herbert. *Modern astrophysics*, London, W. Collins sons & co. ltd., 1924.

DINGLE, Herbert. Modern aristotelianism. *Nature*, 139, p.784-6, 08, 1937 [tradução para o português, Aristotelismo moderno, *Scientiae Studia* (USP), São Paulo, v. 3, n. 2, p.249-254, 2005].

DINGLE, Herbert. Science and modern cosmology. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 113, n.3, p.393-407, 1953.

DURBANO, João Paulo M. , CARVALHO, Eduardo C. , PRESTES, Maria Elice B. Controvérsias científicas como recurso para avaliar percepção sobre o papel da subjetividade na ciência, *Revista da SBEnBio*, n 6, p.122-134, 2013

EDDINGTON, Arthur. *Space, Time and Gravitation. An Outline of the General Relativity Theory*, Cambridge University Press, 1920.

EDDINGTON, Arthur S. *The Mathematical Theory of Relativity*, Cambridge Univ. Press: Cambridge, 1923.

EDDINGTON, Arthur S. On the instability of Einstein's spherical world, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 90, 668, 1930.

EDDINGTON, Arthur S. *The Expanding Universe*, Cambridge Univ. Press: Cambridge, 1933.

EFLIN, Juli; GLENNAN, Stuart e REISH, George. The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science, *Journal of Research in Science Teaching*, v. 36, n.1, p.107-116, 1999.

EINSTEIN, Albert. Kosmologische Betrachtungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin), Seite 142-152., 142, 1917. [tradução para o inglês, Cosmological considerations on the general theory of the relativity, In: BERNSTEIN, Jeremy; FEINBERG, Gerald. *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, p.16-27, New York, Columbia University Press, 1986.

EINSTEIN, Albert. Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedmann Über die Krümmung des Raumes, *Zeitschrift für Physik*, 11, 326. 1922 e 16, 228, 1923 [tradução para o inglês, Comments on the work of A Friedmann, In: BERNSTEIN, Jeremy; FEINBERG, Gerald. *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, p.66-68, New York, Columbia University Press, 1986.

EINSTEIN, Albert, and Willem DE SITTER. On the Relation between the Expansion and the Mean Density of the Universe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 18, 3, p.213, 1932.

EL-HANI, Charbel Niño, TAVARES, Eraldo José Madureira Tavares, ROCHA, Pedro L. B. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências, *Investigações em Ensino de Ciências*, 9, 3, p.265-313, 2004.

EL-HANI, Charbel Niño, & Mortimer, Eduardo F. Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching. *Cultural Studies of Science Education*, 2(3), 657-702, 2007.

ELLIS, George. *Innovation, resistance and change: the transition to the expanding universe*. In: BERTOTTI, B.; BALBINOT, R.; BERGIA, S.; MESSINA, A. (eds.), *Cosmology in Retrospect*, Cambridge University Press, Cambridge 1990.

FALCÃO, Eliane Brígida Morais, SANTOS, Alessandra Guida dos, LUIZ, Ronir Raggio. Conhecendo o mundo social dos estudantes: encontrando a ciência e a religião. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7.2 : 420-438, 2008.

FARRELL, J. *The Day Without Yesterday: Lemaître, Einstein, and the Birth of Modern Cosmology*, Basic Books, 2005.

FERREIRA, Flávia; Gama, Leandro D.; HENRIQUE, Alexandre Bagdonas. Extensão ou comunicação? Discussões sobre um curso de extensão universitária para professores de ciências. In: Atas do VIII ENPEC & I Congresso Iberoamericano de Investigación de Enseñanza de las Ciencias. Campinas, 2011.

FERREIRA, Flávia. A forma e os movimentos dos planetas do sistema solar: uma proposta para a formação do professor em astronomia. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FERRY, Alexandre; NAGEM, Ronaldo. Analogia & contra-analogia: um estudo sobre a viabilidade da comparação entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar por meio de um júri simulado, *Experiências em Ensino de Ciências*, 4, 3, pp. 43-60, 2009.

FEYERABEND, Paul K. Consolations for the specialist. In: LAKATOS, Imre; MUSGRAVE, Alan (eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, pp.197-230, 1970. [tradução para o português, Consolos para o especialista. In: *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, p.5-32, 1979].

FEYERABEND, Paul K. *Against method: outline of an anarchistic theory of knowledge*. Atlantic Highlands, NJ: Humanities Press, 1975. [tradução para o português, *Contra o método*, Editora UNESP, 2007].

FEYERABEND, Paul K. *Farewell to reason*. Verso Books, 1987 [tradução para o português, *Adeus à Razão*, Editora UNESP, 2003].

FEYERABEND, Paul K. *Killing time: the autobiography of Paul Feyerabend*. University of Chicago Press, 1996. [tradução para o português, *Matando o tempo*, Editora UNESP, 1996].

FLIN, Piotr; DUERBECK, Hilmar W. Silberstein, General Relativity and Cosmology, *AIP Conf. Proc.* 861, 1087, doi: 10.1063/1.2399704, 2006.

FOCK, Vladimir A. The Researches of A. A. Friedman on the Einstein Theory of Gravitation, *Soviet Physics Uspekhi*, v 6, p.473_74, 1964.

FORATO, Thaís C. M. A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2009.

FORATO, T. C. M; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 1: p.27-59, abr. 2011.

FORATO, T. C. M; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. History and Nature of Science in High School: Building Up Parameters to Guide Educational Materials and Strategies, *Science & Education*, 21:657–682, 2012.

FORATO, Thaís C. M. BAGDONAS, Alexandre. Overcoming obstacles for the use of history of science to teach science and nature of science. In: PIETROCOLA, Maurício, GURGEL, Ivã (orgs.) *Crossing the border of traditional science curriculum: innovative teaching and learning in science basic education, Bold visions in educational research*, Sense publishers, forthcoming.

FORMAN, Paul. Weimar culture, causality, and quantum theory: adaptation by German physicists and mathematicians to a hostile environment, *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 3, pp 1-115. 1971. Reimpresso In: KOJEVNIKOV, Alexei; CARSON, Cathryn;

TRISCHLER, Helmuth (Eds.). *Weimar Culture and Quantum Mechanics: Selected Papers by Paul Forman and Contemporary Perspectives on the Forman Thesis*, London & Singapore: World Scientific and Imperial College Press, xvi, 2011, 542 pp.

FORMAN, PAUL. Scientific internationalism and the Weimar physicists: the ideology and its manipulation in Germany after World War I, *Isis*, p.151-180, 1973.

FOUREZ, G. A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Editora da UNESP, 1995.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.

FREIRE, P. *Extensão ou comunicação?* Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1971. [consultei a 8ª edição de 1985].

FREIRE, P. *Pedagogia da esperança: um reencontro com a Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 3 ed. 1993.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE Jr., Olival. *Estudo Sobre interpretações da Teoria Quântica (1927-1949) Epistemologia e Física*, Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades em Ensino de Ciências (Faculdade de Educação/Instituto de Física), Universidade de São Paulo, 1990.

FREIRE Jr., Olival. Sobre As Raízes Sociais e Econômicas dos Principia de Newton. *Revista da Sociedade Brasileira de Historia da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 9, p.51-64, 1993.

FREIRE JR., Olival. *A emergência da totalidade. David Bohm e a controvérsia dos quanta*. Tese de doutorado, Departamento de História, Universidade de São Paulo, 1995.

FREIRE JR., Olival; CARVALHO NETO, R. A. ; ROCHA, J. F. M. ; VASCONCELOS, M. J. L.; SOCORRO, M. S. ; ANJOS, E. L.. Introducing Quantum Physics in Secondary School. In: Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference, 1995, Minneapolis. *Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference- Proceedings*. Minneapolis - USA: University of Minnesota, v. 1. p.412-419., 1995.

FRENKEL, Victor. Einstein and Friedmann. In: BALASHOV, Yuri e VIZGIN, Vladimir P. *Einstein Studies in Russia*, Birkhäuser, 2002.

FRIEDMANN, Alexander. Über die krümmung des raumes, *Zeitschrift für Physik*, 10, p.377-386, 1922. [tradução para o inglês, BERNSTEIN, Jeremy; FEINBERG, Gerald. On the curvature of space, In: *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, p.49-59, New York, Columbia University Press, 1986.

FRIEDMANN, Alexander. Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes, *Zeitschrift für Physik*, 21, p.326-332, 1924 [tradução para o inglês, On the possibility of a world with Constant negative curvature. In: BERNSTEIN, Jeremy; FEINBERG, Gerald. *Cosmological constants: papers in modern cosmology*, p.59-66, New York, Columbia University Press, 1986].

FRIEDMAN, Alexander. LEMAÎTRE, Georges. “*Essais de cosmologie*”, preceded by *Luminet, Jean-Pierre. L'invention du Big Bang*. Editions du Seuil, 1997.

GALISON, Peter. Einstein's clocks: The place of time. *Critical Inquiry* 26.2 (2000): 355-389.

GAMA, Leandro Daros. *Autoridade da ciência e educação: abrindo caixas pretas com a problematização de discursos da mídia e temas da física* [online]. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, 2011. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física. [acesso 2013-05-04]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-30092011-145842/>>.

GAMOW, George. A toy universe, *Discovery The Popular Journal of knowledge*, p.431-439, December, 1938.

GAMOW, George. *Mr Tompkins in Wonderland*. Cambridge: Cambridge University Press, 1940.

GAMOW, George. *The Birth and Death of the Sun: Stellar Evolution and Subatomic Energy*. New York: Viking, 1940b.

GAMOW, George. Expanding universe and the origin of elements, *Physical Review*, 70.7-8, 572, 1946.

GAMOW, George. *The Creation of the Universe*. Viking Press, (edição de 1961), 1952.

GAMOW, George. *My world line: An informal autobiography*, New York, NY (USA): Viking Press, 178, 1970.

GEE, James Paul. What video games have to teach us about literacy and learning. New York: Palgrave Macmillan, 2003.

GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, João. Para uma Imagem Não-deformada do Trabalho Científico. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p.125-153, 2001.

GINEBRO, Tiago Nadim; BRETONES, Paulo. Adaptação e encenação da atividade Big Bang Brasil: análise de uma prática para levar a história da cosmologia às escolas. In: Atas do II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, São Paulo, 2012.

GORELIK, Gennady. Hermann Weyl and large numbers in relativistic cosmology. *Einstein Studies In Russia*, 2002.

GORELIK, Gennady. Matvei Bronstein and quantum gravity: 70th anniversary of the unsolved problem, *Physics Uspekhi*, 48 (10), pp.1039- 1053, 2005a.

GORELIK, Gennady. Judging the stars of Stalin's science, *Physics world*, 2005 b, [resenha de Kojevnikov 2004].

GORELIK, Gennady. FRENKEL, Victor. *Matvei Petrovich Bronstein and Soviet Theoretical Physics in the Thirties*, Modern Birkhäuser Classics, [edição de 2011], 1994.

GRAHAM, Loren. R. *Science and Philosophy in the Soviet Union*, Knopf, New York, xii, 584 pp, [edição de 1974], 1966.

GRAHAM, Loren R. *Science in Russia and the Soviet Union: A short history*. Cambridge University Press, 1993.

GRAHAM, Loren. The Socio-Political Roots of Boris Hessen: Soviet Marxism and the History of Science, *Social Studies of Science*, Vol. 15, No. 4, pp.705-722, 1985.

GRAHAM, Loren. R. *What Have We Learned About Science and Technology from the Russian Experience?* Stanford: Stanford University Press, 1998.

GRECA, Ileana M., FREIRE JR., Olival. A “crítica forte” da ciência e implicações para a educação em ciências, *Ciência & Educação*, 10.3, 343-361, 2004.

GREGORY, Jane. *Fred Hoyle's universe*. Oxford University Press, 2005.

GUERRA, Andreia, REIS, José Cláudio; BRAGA, Marco. "Um Julgamento no Ensino Médio – uma estratégia para trabalhar a ciência sob enfoque histórico-filosófico." *Física Na Escola*, São Paulo 3.1, p.8-11, 2002.

GURGEL, Ivã. *A Imaginação Científica como Componente do Entendimento: Subsídios para o Ensino de Física*. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, 2006.

GURGEL, Ivã; BAGDONAS, Alexandre; VELASQUEZ, Felipe; FABRÍCIO, Vitor; NORONHA, André. O Ensino sobre a Natureza da Ciência através de Tópicos de Cosmologia: Análise de uma Proposta Didática Utilizando Jogos. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências IX ENPEC, 2013, Águas de Lindoia. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências IX ENPEC, 2013.

HANSON, Lena e REDFORS, Andrea. Physics and the Possibility of a Religious View of the Universe: Swedish Upper Secondary Students' Views, *Science & Education* 16, 461-478, 2007.

HARRES, João B. S. Uma Revisão de Pesquisas nas Concepções de Professores sobre a Natureza da Ciência e suas Implicações para o Ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 3, 1999.

HARRISON, Edward. R. *Cosmology. The Science of the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

HARRISON, Edward. The redshift-distance and velocity-distance laws, *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 403, no. 1, p.28-31, 1993.

HAWKING, Stephen, *Uma breve história do tempo* [tradução de Maria Helena Torres]. Círculo do Livro, São Paulo, 1988.

HAWKING, Stephen. *O universo numa casca de noz*. Editora Mandarim, São Paulo, 2001. [tradução de Ivo Korytowski, original *The universe in a nutshell*, 2001].

HEATON, Timothy H. Recent developments in young-earth creationist geology. *Science & Education* 18, 10,: 1341-1358, 2009.

HEILBRON, John L. *The dilemmas of an upright man: Max Planck as spokesman for German science*. University of California Press, 1987.

HENRIQUE, Alexandre Bagdonas. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia*. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, 2011. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física. [acesso 2013-05-04]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-19072011-112602/>>.

HENRIQUE, Alexandre Bagdonas ; COLOMBO Jr., Pedro. *Big Bang Brasil: uma peça teatral com abordagem histórico-filosófica para o ensino de cosmologia*. In: Atas do I Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, Rio de Janeiro, 2011.

HERRERA, Nury Isabel Jurado. A dinâmica do universo: Sir Arthur Eddington e as cosmologias relativísticas. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física "Gleb Wataghin", Unicamp.2002.

HESSEN, Boris. The Social and Economic Roots of Newton's Principia In: Nicolai I. Bukharin, *Science at the Crossroads*, London 1931 (Reprint New York 1971), pp.151-212.

[Tradução parcial para o português de João Zanetic e Maria Regina Kawamura, em Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 6, n. 1, pp.37-55, abr. 1984. Tradução. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol06a06.pdf>>].

HETHERINGTON, N. S. The measurement of radial velocities of spiral nebulae, *Isis*, l xii , 309-13, 1971.

HETHERINGTON, Norriss S., ed. *Encyclopedia of Cosmology, Historical, Philosophical, and Scientific Foundations of Modern Cosmology*, New York: Garland, 1993.

HOBBSAWM, Eric. *Era dos Extremos: o Breve Século XX. (1914-1991)*. São Paulo, Companhia das Letras, 2011, original de 1995.

HODSON, Derek. Philosophy of science and science education. *Journal of philosophy of Education*, 20, 2,p. 215-225, 1986.

HODSON, Derek. Nature of Science in the Science Curriculum: Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In: *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, pp. 911-970. Springer Netherlands, 2014.

HOLDER, R. D., & MITTON, S. *Georges Lemaitre: Life, Science and Legacy*, Astrophysics and Space Science Library Series, 395, 2012.

HOLTON, G. A imaginação científica. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

HÖTTECKE, Dietmar. & SILVA, Cibelle. C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge. An analysis of obstacles. *Science & Education*, Volume 20, Issue 3, Page 293, 2011.

HOYLE, Fred. A new model for the Expanding Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v.198, p.372–382, 1948.

HOYLE, Fred. *The nature of the universe*, Oxford, Blackwell, 1952.[New ed.] 1, 1952.

HOYLE, Fred. *Home is where the Wind Blows: Chapters from a Cosmologist's Life*. Mill Valley, CA: University Science Books, 1994.

HOYLE, Fred; BURBIDGE Geoffrey e NARLIKAR, Jayant. *A different approach to cosmology*. Cambridge University Press, 2001.

HUBBLE, Edwin. Cepheids in Spiral Nebulae, *Popular Astronomy*, 33, 252, 1925.

HUBBLE, Edwin. Extragalactic Nebulae., *ApJ*, 64, 321, 1926.

HUBBLE, Edwin. A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15: 168-173, 1929.

HUBBLE, Edwin; TOLMAN, Richard. Two methods of investigating the nature of the nebular redshift, *Astrophysical Journal*, 82: 302-337, 1935.

HUBBLE, Edwin. *The Realm of the Nebulae*, Dover, New York (edição de 1958), 1936.

HUBBLE, Edwin; HUMASON Milton. The velocity-distance relation among extra-galactic nebulae, *Astrophysical Journal*, 74, 43, 1931.

IRZIK, Gürol e NOLA, Robert. A family resemblance approach to the nature of science for science education, *Science & Education*,v.20, 2011.

JAKOBSON, Roman. *A Geração Que Esbanjou Seus Poetas*. [tradução de Sonia Regina Martins Gonçalves], Editora Cosac Naify, 2006.

JANN, Priscila Nowaski; LEITE, Maria de Fátima. Jogo do DNA: um instrumento pedagógico para o ensino de ciências e biologia." *Ciências e Cognição*, v15, n.1, pp-282, 2010.

JORAVSKY, D. *Soviet Marxism and Natural Science, 1917–1932* (London: Routledge), 1961.

JARDIM, Wagner Tadeu. *A abordagem histórico-filosófica como caminho para se introduzir o estudo de cosmologia no ensino*. Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática, 2012.

KANIPE, Jeff. The pillars of cosmology: a short history and assessment. *Astrophysics and Space Science*, v.227, p.109-118, 1995.

KANTOR, C. A. *A ciência do céu: uma proposta para o ensino médio*. 2001. 116p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

KEVLES, Daniel J. Into Hostile Political Camps: The Reorganization of International Science in World War I." *Isis* 62.1, p.47-60, 1971.

KEVLES, Daniel. *Albert Einstein: Relativity, War, and Fame*, in: *A Century of Books*: Princeton University Press, 1905-2005, pp.115-24, 2005.

KOJEVNIKOV, Alexei. *Stalin's great science: the times and adventures of Soviet physicists*. London: Imperial College Press, 2004.

KOJEVNIKOV, Alexei. A grande ciência de Stalin: tempos e aventuras de físicos soviéticos no exemplo da biografia política de Lev Landau, *Revista Brasileira de Historia da Ciência*, v.4, n 1, 6-15, 2011a.

KOJEVNIKOV, Alexei. The Cultural Spaces of the Soviet Cosmos in: *Into the Cosmos: Space Exploration and Soviet Culture*, eds. James T. Andrews and Asif A. Siddiqi, Pittsburgh, p.15-27 and 266-268, 2011 b.

KOJEVNIKOV, Alexei. Notas de aula da disciplina. FISB 98 - Newton, Einstein, Bohr: History and Philosophical Lessons of Modern Physics, ministrada na UFBA, julho de 2012.

KRAGH, Helge. *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*. Princeton, Princeton University Press, 1996.

KRAGH, Helge. Social Constructivism, the Gospel of Science, and the Teaching of Physics. *Science & Education*, 7.3 : 231-243, 1998.

KRAGH, Helge. The construction of cosmology as a physical science, Fifth Biennial History of Astronomy Workshop, Notre Dame University, p.2, <www.hd.edu/~histast4/exhibits/papers/kragh.html>, 5–8 July, 2001.

KRAGH, Helge; SMITH, Robert W. Who discovered the expanding universe?. *History of Science*, v. 41, p.141-162, 2003.

KRAGH, Helge. *Matter and Spirit in the Universe: Scientific and Religious Preludes to Modern Cosmology*. London: Imperial College Press, 2004.

KRAGH, Helge. *George Gamow and the 'Factual Approach' to Relativistic Cosmology*. In: *The Universe of General Relativity*, ed. Anne J. Kox and Jean Eisenstadt Boston: Birkhauser, 175–88, 2005.

KRAGH, Helge. The Origin and Earliest Reception of Big-Bang Cosmology, *Publications of the Astronomical Observatory of Belgrade*, vol. 85, p.7-16, 2008.

KRAGH, Helge. On modern cosmology and its place in science education, *Science & Education* 20.3-4, p.343-357, 2011.

KRAGH, Helge. Walther Nernst: grandfather of dark energy?, *Astronomy & Geophysics*, v. 53, n 1, 2012.

KRAGH, Helge. "The Universe, the Cold War, and Dialectical Materialism." arXiv preprint arXiv:1204.1625, 2012b.

KRAGH, Helge. Naming the Big Bang, *Historical Studies in the Natural Sciences*, Vol. 44, No. 1, pp. 3-36, 2014.

KRAGH, Helge. Masters of the Universe: Conversations with Cosmologists of the Past. Oxford University Press, 2014b.

KRAGH, Helge; LAMBERT, Dominique. The context of discovery: Lemaître and the origin of the primeval-atom universe, *Annals of Science*, 64, 445-470, 2007.

KUHN, Thomas. The Copernican revolution: Planetary astronomy in the development of western thought. Vol. 16. Cambridge: Harvard University Press, 1957 [tradução para o português Lisboa: Edições 70, 1990]

KUHN, Thomas. The Structure of Scientific Revolutions, 1962. [tradução para o português, São Paulo: Perspectiva, 1975].

KUHN, Thomas S. S. Logic of discovery or psychology of research. In: LAKATOS, Imre; MUSGRAVE, Alan (eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, p.1-23, 1970. [tradução para o português Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa. In: *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo: Cultrix, p.5-32, 1979].

KUHN, Thomas S. The essential tension. Selected studies in scientific tradition and change. Philosophy of Science, Chicago: University of Chicago Press, 1977. [tradução para o português, Editora Unesp, 2011.]

KUHN, Thomas. The Function of Dogma in Scientific Research. Pp.347-69 in A. C. Crombie (ed.). *Scientific Change* (Symposium on the History of Science, University of Oxford, 9-15 July 1961). New York and London: Basic Books and Heineman, 1963.

LABURÚ, Carlos E. & SILVA, Marcos R. Do relativismo no ensino de física ao objetivismo na física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(2), 121-154, 2000.

LACEY, Hugh. *Is science value free? Values and scientific understanding*. Psychology Press, 1999. [tradução para o Português, Associação Filosófica Scientiae Studia, 2008].

LAKATOS, Imre. Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In: LAKATOS, Imre; MUSGRAVE, Alan (eds.). *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, 1970. [tradução para o português A crítica e o desenvolvimento do conhecimento. São Paulo: Cultrix, p.109-243, 1979].

LAKATOS, Imre. *History of science and its rational reconstructions*. Springer Netherlands, 1971. [tradução para o português História da ciência e suas reconstruções racionais, Edições 70, Lisboa, 1978].

LAKATOS, Imre; FEYERABEND, Paul; MOTTERLINI, Matteo. For and against method: including Lakatos's lectures on scientific method and the Lakatos-Feyerabend correspondence. University of Chicago Press, 1999.

LANGHI, Rodolfo. *Astronomia nos anos iniciais do ensino fundamental: repensando a formação de professores*. 2009. 370 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2009.

LEDERMAN, Norman G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, v.29, n.4, p.331-359, 1992.

LEDERMAN, Norman G.; ABD-EL-KHALICK, Fouad; BELL, Randy L. and SCHWARTZ, Renée S. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science, *Journal of research in science teaching* 39, no. 6, p.497-521, 2002.

LEDERMAN, Norman. Nature of science: past, present, and future. In S Abell & N Lederman (Eds), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates pp.831-880, 2007.

LEMAÎTRE, Georges. Note on de Sitter's universe, *Journal of Mathematics and Physics*, 4, 188, 1925.

LEMAÎTRE, Georges. Un Univers Homogène de Masse Constante et de Rayon Croissant Rendant Compte de la Vitesse Radiale des Nébuleuses Extra-Galactiques, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, 47, 49, 1927.

LEMAÎTRE, Georges. Expansion of the Universe, A Homogeneous Universe of Constant Mass and Increasing Radius Accounting for the Radial Velocity of Extra-Galactic Nebulae, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 91, 483, 1931a

LEMAÎTRE, Georges. The Expanding Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 91, 490, 1931 b.

LEMAÎTRE, Georges. The beginning of the world from the point of view of the quantum theory, *Nature*, v. 127, p.706, 1931c.

LEMAÎTRE, Georges. Evolution of the Expanding Universe, *Proceedings of the National Academy of Science*, 20, 12, 1934.

LÉVY-LEBLOND, J. M. É possível ensinar a física moderna na educação básica? In: MORIN, E. (Org.). *A religação dos saberes : o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 69-72, 2002.

LIGHTMAN, Alan P., BRAWER, Roberta. *Origins: the lives and worlds of modern cosmologists*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990.

LIVIO, Mario. Lost in translation: Mystery of the missing text solved, *Nature* 479, no. 7372, 171-173, 2011.

LÓPEZ-CORREDOIRA, Martín. Non-standard models and the sociology of cosmology. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46,p. 86-96, 2014.

LUMINET, Jean-Pierre. Editorial note to: Georges Lemaître, The beginning of the world from the point of view of quantum theory, *Gen Relativity and Gravitation*, 43:2911–2928, DOI 10.1007/s10714-011-1213-7, 2011.

LUNDMARK, Knut. The Determination of the Curvature of Space-Time in de Sitter's World, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84, 747, 1924.

LUNDMARK, Knut. The Motions and the Distances of Spiral Nebulae (Plates 18, 19.). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 85, 8, 865-894, 1925.

MACH, Ernst. On instruction in the classics and the sciences." Popular scientific lectures. Open Court Publishing Company, La Salle.: 338-374, 1896 [edição de 1910].

MACKENZIE, David and CURRAN, Michael. *A history of Russia, the Soviet Union, and beyond*, Wadsworth/Thomson Learning, 3ª edição, 1987.

MAGALHÃES, M. H. M. S. Uma introdução à cosmologia: Proposta para a formação de professores do ensino básico e secundário. Dissertação (Mestrado em Ensino da Astronomia) – Universidade do Porto, 2003.

MARTINS, André F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.24, n.1, p.112-131, 2007.

MARTINS, André F. P (Org.) *Física ainda é cultura?* São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

MARTINS, André F. P.; Ryder, J. Há realmente um consenso acerca da Natureza da Ciência no Ensino de Ciências? In *XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física* (pp. 1–8). Maresias: Atas do XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2014.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *A teoria cromossômica da hereditariedade: proposta, fundamentação, crítica e aceitação*. Tese (Doutorado em Genética). Universidade Estadual de Campinas, 1997.

MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, v.9, p.3-5, 1990.

MARTINS, Roberto de Andrade. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução*. Ed. Moderna, São Paulo, 1994.

MARTINS, Roberto de Andrade. Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do eletromagnetismo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 5, (Número Especial), 49-57, 1988.

MARTINS, Roberto de Andrade. O que é a ciência do ponto de vista da epistemologia? *Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa*, n.9, p.5-20, 1999.

MARTINS, Roberto de Andrade. Que tipo de história da ciência esperamos ter nas próximas décadas? *Episteme. Filosofia e História das Ciências em Revista*, (10): 39-56, 2000.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle. C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, p.17-30, 2006.

MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle Celestino and PRESTES, Maria Elice Brzezinski. History and Philosophy of Science in Science Education, in Brazil. In *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*, pp. 2271-2299. Springer Netherlands, 2014.

MATTHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.

MATTHEWS, Michael R História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 12 (3), pp.164-214. Trad. Cláudia Mesquita de Andrade, 1995.

Matthews, M. (Ed.) *Constructivism in science education: A philosophical examination*. Springer, 1998.

MATTHEWS, Michael. *Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS)*. In: KHINE, M.S.: *Advances in Nature of Science Research*. Dordrecht : Springer, 2012.

MATHIAS, Gisele N; Amaral, Carmen. Utilização de um jogo pedagógico para discussão das relações entre ciência Matthews, M. (Ed.). (1998). *Constructivism in science education: A philosophical examination*. Springer. tecnologia/sociedade no ensino de química experiências em ensino de ciências, *Experiências em Ensino de Ciências*, v.5, n.2, pp. 107-120, 2010.

McCOMAS, Willian F., Almazroa, H. & Clough, M. P. The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education*, 7: 5 11-532, 1998.

McCONNELL, Craig Sean. The Big Bang-steady state controversy: Cosmology in public and scientific forums. 2000. ProQuest Dissertations And Theses; Thesis (Ph.D.)- The University of Wisconsin - Madison, 2000.

McMULLIN, Ernan. Is Philosophy relevant to cosmology? *American Philosophical Quarterly*, v.18, n.3, p.177-189, 1981. Artigo reproduzido em LESLIE, John (ed.) *Physical cosmology and philosophy*, New York, MacMillan Publishing Company, 1990.

MENEZES, Luis Carlos de; HOSOUKE, Yassuko. Para lidar com o mundo real, a física escolar também precisa ser quântica. Atas do XII SNEF. Belo Horizonte, MG p.282-287, Jan. 1997.

MENEZES, Luis Carlos de; *Crise, cosmos, vida humana: física para uma educação humanista*. Tese de Livre-docência, Instituto de Física da USP, 1988. 271p.

MERLEAU-PONTY, Jacques. *Cosmología del siglo XX: estudio epistemológico e histórico de las teorías de la cosmología contemporánea*. Madrid, 1965 660 p.[edição de 1971].

MERTON, Robert K. Priorities in scientific discovery: a chapter in the sociology of science. *American sociological review*, v. 22, n. 6, p.635-659, 1957.

MERTON, Robert K.. *The Sociology of Science*, Univ. of Chicago Press, 1973.

MERTON, Robert K. *Ensaio de sociologia da ciência*. Editora 34, São Paulo, 2013. Tradução de Sylvia G. Garcia e Pablo Mariconda, organização Anne Marcovitch e Terry Shin.

MOURA, Breno A. *A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a natureza da ciência no ensino*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 2008.

MOURA, Breno. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

MIKULAK, M. W. Soviet Cosmology and Communist Ideology, *The Scientific Monthly*, Vol. 81, No. 4 , pp.167-172, 1955.

NARLIKAR, Jayant Vishnu, Burbidge, Geoffrey R. *Facts and speculations in cosmology*. Cambridge University Press, 2008.

NARDI, R. *A área de ensino de Ciências no Brasil: fatores que determinaram sua constituição e suas características, segundo pesquisadores brasileiros*. Tese (Livre Docência). Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005, 169p.

NEVES, M. C. D. Uma perspectiva fenomenológica para o professor em sua expressão de “o que é isto, a ciência?”, Tese de doutorado, Faculdade de Educação, UNICAMP, 1991.

NEVES, Marcos C. D. A questão controversa da cosmologia moderna: uma teoria e suas incongruências - parte 1. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.17 n.2, p.189-204, 2000 a.

NEVES, Marcos C. D. A questão controversa da cosmologia moderna: uma teoria e suas incongruências - parte 2. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.17 n.2, p.205-228, 2000 b.

NICOLAIDIS, E. Astronomy and Politics in Russia in the Early Stalinist Period - 1928-1932, *Journal for the History of Astronomy*, Vol.21, n. 4, P.345, 1990.

NICOLAU, Jorge, GURGEL, Ivã, PIETROCOLA, Maurício. *Estrutura baseada em Fluxo: sequência de ensino-aprendizagem sobre Relatividade do Tempo*. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências IX ENPEC, 2013, Águas de Lindoia. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências IX ENPEC, 2013.

NICOLAU, Jorge. *Estrutura didática baseada em Fluxo: Relatividade Restrita para o Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

NOLA, Robert. Constructivism in science and science education: a philosophical critique. *Science and Education*, 6(1), 55 -83, 1997.

NOLA, Robert; IRZIK, Gürol. *Philosophy, science, education and culture*. Vol. 28. Springer, 2005.

NORONHA, André B.; GURGEL, Ivã. Reflexões sobre diferentes ênfases históricas do episódio das origens da Teoria da Relatividade Especial e implicações para o ensino de ciências. *Anais do 13 Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia*, São Paulo, v. 13. p.1-15, 2012.

NORONHA, André. *Interpretando a Relatividade Especial: Discutindo o Debate Realismo e Antirrealismo Científicos no Ensino de Ciências*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

NORONHA, André; GURGEL, Ivã. Beyond the Wittgenstein's silence: some considerations about the debate realism x anti-realism in science education and a call for the philosophical plurality. *Atas do 10th European Science Education Research Association*, University of Cyprus, Nicosia, 2014.

NORTH, John David. *Measure of the universe: a history of modern cosmology*. New York: Dover, (edição de 1991), 1965.

NORTH, John. The early years. IN: BERTOTTI, B.; BALBINOT, R.; BERGIA, S.; MESSINA, A. (eds.), *Cosmology in Retrospect*, p.365 - 399. Cambridge University Press, Cambridge 1990.

NORTH, John. *Cosmos: an illustrated history of astronomy and cosmology*. University of Chicago Press, 2008.

NOVELLO, Mário. *O que é cosmologia?* Editora Jorge Zahar, 2006.

NOVELLO, Mário. *Do Big Bang ao universo eterno*. Editora Jorge Zahar, 2010.

OLIVEIRA, Marcos Barbosa de. Considerações sobre a neutralidade da ciência. *Trans/Form/Ação*, Marília, v. 26, n. 1, p. 161-172, 2003.

OLIVEIRA, A. S. e Soares, M. H. F. B. Juri Químico: uma atividade lúdica para discutir conceitos químicos. *Química Nova na Escola*, 21, 18-24, 2005.

OLIVEIRA, Jorge H. Noções de cosmologia no ensino médio: o paradigma criacionista do Big Bang e a inibição de teorias rivais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, Universidade Estadual de Maringá, 2006.

OLIVEIRA, Adalberto. *Física e ficção científica: desvelando mitos culturais em uma educação para a liberdade* [online]. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, 2011. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física. [acesso 2013-05-04]. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-06032012140321/>>.

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, jan. 2000.

OMNÈS, Roland. *A filosofia da ciência contemporânea*, UNESP, São Paulo, 1996.

PEDUZZI, Luiz. As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica, Doutorado em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

PEEBLES, James. *Physical Cosmology*, Princeton, 1971.

PEEBLES, James. Discovery of the Hot Big Bang: What happened in 1948. *The European Physical Journal H*, Volume 39, Issue 2, pp 205-223, 2014. Pereira,

PEREIRA, Alexsandro; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente (modern and contemporary physics teaching: a review on recent literature), *Investigações em Ensino de Ciências*, 14, 3, : 393-420, 2009.

PESSOA JR., Osvaldo F. *Measurement in Quantum Physics: Experimental and Formal Approaches*. Thesis (Ph.D.)--Indiana University, bibcode: 1990PhDT.....116P, 1990.

PESSOA JR., Osvaldo F. *Conceitos de Física Quântica*. Livraria da Física, São Paulo, 2003.

PESSOA JR, Osvaldo F. *Filosofia & Sociologia da Ciência*. Aula ministrada na disciplina de HG-022 Epistemologia das Ciências Sociais do curso de Ciências Sociais da Unicamp, não publicado. Disponível online: http://www_ch.usp.br/df/opessoa/Soc1.pdf, 1993.

PESSOA JR., Osvaldo F. A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência, *Cognitio-Estudos*, v.6, n.1, p.54-60, 2009.

PIETROCOLA, Maurício. *Élie Mascart et l'optique des corps en mouvement*, Tese de doutorado, Université de Paris 7, 1992.

PIETROCOLA, Maurício. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(3), 213-227, 1999.

PIETROCOLA, Maurício; GURGEL, Ivã; NICOLAU, Jorge; WATANABE, Graciella; TAGIKU, Armando; SANTOS, Itamar; VICENTINI, Hélio; OLIVEIRA, Leandro; BEIG, Fábio; FAGUNDES, Maria Beatriz; BAGDONAS, Alexandre. Development of a TLS on the relativity of time and the Twin Paradox: Analysis of its Structural Elements. In: *WCPE -The World Conference on Physics Education*, Turquia, 2012.

PINTO, Alexandre C. ZANETIC, João. É possível levar a Física Quântica para o ensino médio? *Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis*, v. 16, n. 1, p.7-34, abr. 1999.

PINTO, Alexandre C. *Tradição cultural, contraste entre teorias e ensino de física*. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, 2011. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física. 2003.

PIUS XII, Proofs of the existence of God in light of modern natural science. Address of Pope Pius XII to the Pontifical Academy of Sciences, November 22, 1951. Disponível em: www.papalencyclicals.net/Pius12/P12EXIST.HTM

PORRA, A.C. ; SALES, N. L. L. ; SILVA, C. C.. Natureza da ciência: concepções de licenciandos em ciências exatas. In: I Encontro de Física, 2011, Foz do Iguaçu, Pr. Atas do XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2011.

RAIFEARTAIGH, Cormac. The Contribution of V. M. Slipher to the Discovery of the Expanding Universe, arXiv:1212.5499 [physics.hist-ph], 2012. [In: *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932 ASP Conference Series*, Vol. 471 Michael J. Way and Deidre Hunter, eds, 2013].

RAMOS, João E. ; BAGDONAS, Alexandre . *George Gamow, um cientista fanfarrão e suas contribuições para o ensino de física*. In: XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2014, Maresias. Atas do XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2014.

REGNER, Ana Carolina K. P. Feyerabend e o pluralismo metodológico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.13, n.3, p.231-247, 1996.

REINES, Frederick (ed.). *Cosmology, Fusion and Other Matters: George Gamow Memorial Volume* (Boulder: Colorado Associated University Press, 1972.

REIS, José Claudio; GUERRA, Andreia ; BRAGA, Marco. Ciência e arte: relações improváveis? *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v. 13, (suplemento), p.71-87, outubro 2006.

REIS, José Claudio; GUERRA, Andreia ; BRAGA, Marco. *Estudo de cosmologia moderna no ensino médio através da história da física: diálogos interdisciplinares* . Em: Cibelle Celestino Silva; Maria Elice Brzezinski Prestes. (Org.). *Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas*. 1ed.São Carlos. : Tipographia Editora Expressa, p. 405-418, 2013.

RIBEIRO, Marcelo B. e VIDEIRA, Antonio A. P.; Cosmologia e Pluralismo Teórico. *Scientiae Studia* (USP), São Paulo, v. 2, n. 4, p.519-535, 2004.

ROBERTSON, Howard. Relativistic cosmology, *Rev. Mod. Phys.* 5, pp. 62–90 1933. [Reimpresso em *General Relativity and Gravitation* (2012) 44:2115–2144].

ROBILOTTA, Manoel Roberto. O cinza, o branco e o preto da relevância da história da ciência no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 5, 7-22, 1988.

ROCHA, Gustavo Rodrigues. Controvérsias científicas: o caso do modelo padrão da cosmologia, *Caderno de física da UEFS*, 07, 01 e 02, p.65-85, 2009.

ROCHA, Gustavo Rodrigues. Divulgação Científica e Natureza da Ciência. In: Alvaro Santos Alves; José Carlos O. de Jesus; Gustavo Rodrigues Rocha. (Org.). *Ensino de Física – Reflexões, Abordagens & Práticas*. 1aed.São Paulo: Editora Livraria da Física, p. 41-42, 2012.

ROUXINOL, Estevam. *Física no Brasil para o Ensino Médio: uma abordagem para compreensão da ciência e da atividade científica*, Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado em Ensino de Física, 2007.

ROZENTALSKI, Evandro; BAGDONAS, Alexandre & NORONHA, André B. Realismo e Antirrealismo Científicos: Pela pluralidade filosófica no Ensino de Ciências. Atas do II *International History and Philosophy of Science Teaching Group Latin America*, Universidad de Mendoza, Mendoza, pp.1-22, 2012.

ROZENTALSKI, Evandro; PORTO, P. Uma questão não consensual no ensino de química – o caso dos orbitais, Atas do IX Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, p. 3109-3113, Girona, 2013.

RUGH, Svend; ZINKERNAGEL, E. Henrik. Weyl's principle, cosmic time and quantum fundamentalism, *Explanation, Prediction, and Confirmation*, Springer Netherlands, 411-424, 2011.

SABKA, Diego; LIMA Júnior, Paulo; PEREIRA, Alessandro. Jogos na educação científica para a cidadania: uma análise da produção acadêmica recente. In: *Atas do XV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Maresias, 2014.

SALÉM, Sonia; KAWAMURA, Maria Regina. *Ensino de Física no Brasil: catálogo analítico de dissertações e teses (1972-1992)*, São Paulo: Projeto USP/BID Formação de Professores de Ciências, 1992. 110 pg.

SALÉM, Sonia; KAWAMURA, Maria Regina. *Ensino de Física no Brasil: catálogo analítico de dissertações e teses (1992-1995)*, São Paulo: Projeto USP/BID Formação de Professores de Ciências, 1996.

SALÉM, Sonia; KAWAMURA, Regina (coord.). *Ensino de Física no Brasil: catálogo analítico de dissertações e teses (1996-2006)*. São Paulo: Instituto de Física da USP / PROFIS, 2009.

SANTOS, P; MATSUURA, O. The astronomer Alexander I. Potoiev (1900-1976), *Astronomical and astrophysical transactions*, vol.17, pp.263-279, 1998.

SARDANASHVILY, G. Dmitri Ivanenko - Soviet Physics Superstar: Unpublished Memoirs, USSR press, Moscow, 2010.

SEITTER, W.C., DUERBECK H. W. Carl Wilhelm Wirtz - an early observational cosmologist. In: BERTOTTI, B.; BALBINOT, R.; BERGIA, S.; MESSINA, A. (eds.), *Cosmology in Retrospect*, p.365 - 399. Cambridge University Press, Cambridge 1990.

SHAFFER, David Williamson. *How Computer Games Help Children Learn*. Palgrave Macmillan, 2006.

SHAPIN, Steven. Discipline and bounding: the history and sociology of science as seen through the externalism-internalism debate. *History of science*, 30.90: 333-369, 1992.

SHAPIN, Steven. Rarely Pure and Never Simple: Talking about Truth, *Configurations*, 7, pp.1-14. Traduzido para o português em Nunca Pura (separata), ISBN: 978-85-8054-076-5. [1ª Edição/2012], 1999. *Estudos Históricos de Ciência como se Fora Produzida por Pessoas com Corpos Situadas no Tempo, no Espaço, na Cultura e na Sociedade e Que Se Empenham por Credibilidade e Autoridade*. Cap. 3: Como Ser Anticientífico. Trad. Erick Ramalho. Col. Scientia. Belo Horizonte: Fino Traço Editora, 2012.

SHAVIV, Giora. Did Edwin Hubble plagiarize?, *arXiv preprint arXiv:1107.0442*, 2011.

SHAVIV, Giora. *The Synthesis of the Elements: The Astrophysical Quest for Nucleosynthesis and what it Can Tell Us about the Universe*. Vol. 387. Springer, 2012.

SILBERSTEIN, Ludwick. *The Theory of Relativity*, Macmillan, 1924a.

SILBERSTEIN, Ludwick, The Curvature of de Sitter's Space-Time Derived from Globular Clusters, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84, 363, 1924b.

SILBERSTEIN, Ludwick, *Nature*, 113, p.818-819, June, 1924 c.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz, André Ferrer Pinto Martins. Júri simulado: um uso da história e filosofia da ciência no ensino da óptica. *A Física na Escola* 10.1, : 17-20, 2009.

SILVA, C. C. & MARTINS, R. de A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* 9(1): 53-65, 2003

SILVEIRA, Fernando Lang, A metodologia dos programas de pesquisa: a Epistemologia de Imre Lakatos, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n.3, p.219 – 230, 1996.

SILVEIRA, Fernando Lang, PEDUZZI, Luiz. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23.1, 27-55, 2008.

SKOLIMOSKI, Kellen. Cosmologia na teoria e na prática: possibilidades e limitações no ensino. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SLEZAK, Peter. Sociology of scientific knowledge and scientific education: Part 1, *Science & Education* 3.3, 265-294, 1994a.

SLEZAK, Peter. Sociology of scientific knowledge and science education Part 2: Laboratory life under the microscope. *Science & Education* 3.4,: 329-355, 1994b.

SLIPHER, Vesto. *The Radial Velocity of the Andromeda Nebula*, Lowell Obs. Bulletin, vol. 2, p.56, 1913.

SLIPHER, Vesto. Nebulae, *Proc. American Phil. Soc.*, 56, p.403, 1917.

SMITH, Robert. The origins of the velocity-distance relation, *Journal of History of Astronomy*, 10, 133, 1979.

SMITH, Robert. *The Expanding Universe: Astronomy's "Great Debate," 1900-1931*, Cambridge University Press, 1982.

SNOW, Charles. *The Two Cultures*. London: Cambridge University Press, 1959. [Edição de 2000].

SOARES, Domingos. O universo estático de Einstein, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, 1302, 2012.

SOARES, Domingos S. L. Os fundamentos físico-matemáticos da cosmologia relativista. *Revista Brasileira de Ensino de Física (Online)*, v. 35, p. 3302-1-3302-6, 2013.

SOARES, Domingos. UGE, Universo da Gominha Esticada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 4, dez. 2014.

SOARES, Domingos ; VAZ, L. P. R. Solar-motion correction in early extragalactic astrophysics. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, v. 108, p. 99-103, 2014.

SOKAL, Alan. Transgressing the Boundaries: Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity, *Social Text*, n. #46/47, 1996a.

SOKAL, Alan. A Physicist Experiments With Cultural Studies, *Lingua Franca*, May/June, pp.62-64, 1996 b.

SOKAL, Alan. Transgressing the Boundaries: An Afterword, *Dissent* 43(4), pp.93-99, 1996 c.

SOUZA, Rosa F de. A renovação do currículo do ensino secundário no Brasil: as últimas batalhas pelo humanismo (1920-1960). *Currículo sem Fronteiras* 9.1, p.72-90, 2009.

STEER, Ian. History: Who discovered Universe expansion?, *Nature* 490.7419, p.176-176, 2012.

STRIEDER, Roseline. *Abordagens CTS na educação científica no Brasil: sentidos e perspectivas*. São Paulo: Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado em Ensino de Física, 2012.

STRÖMBERG, Gustav. Analysis of radial velocities of globular clusters and non-galactic nebulae, *Astrophysical Journal*, 61, 353-362, 1925.

SUSALLA, Peter. *From Philosophy to 'Science: A Cultural and Disciplinary History of Cosmology in the Twentieth Century*. Thesis (Ph.D.)- The University of Wisconsin – Madison, 2013.

TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE JÚNIOR, Olival; EL-HANI, Charbel Niño. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de Física. *Ciência & Educação*, v. 15, p.529-556, 2009.

TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE JR., Olival. The history and philosophy of science in physics teaching: A research synthesis of didactic interventions. *Science & Education*, 21, no. 6, 771-796, 2012.

THEOCHARIS, Theo; PSIMOPOULOS, Mihalis. Where science has gone wrong, *Nature* 329.6140, 595-598, 1987.

THOMPSON, Laird A. Vesto Slipher and the First Galaxy Redshifts, *arXiv:1108.4864*, 2011. [In: *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932 ASP Conference Series*, Vol. 471 Michael J. Way and Deidre Hunter, eds, 2013].

TRÓPIA, Guilherme. Percursos históricos de ensinar ciências através de atividades investigativas, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v.13, n.1, p.121, 2011.

TROPP, E. A.; FRENKEL, Y. A.; CHERNIN, A. D. *Alexander A. Friedmann: The man who made the universe expand* (Cambridge: Cambridge University Press), 1993.

VALENTE, Lígia. A física moderna e contemporânea no ensino médio: caminhos para a sala de aula – Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009

VAN DEN BERGH, Sidney. The Curious Case of Lemaître's Equation No. 24, *JRASC* 105, 151-52, 2011a.

VAN DEN BERGH, Sidney. Discovery of the Expansion of the Universe, *JRASC* 105, 197-98, 2011b.

VÁZQUEZ, Ángel; MANASSERO, María A. Características del conocimiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, pp. 377-395. 1999.

VÁZQUEZ, Ángel., MANASSERO, María A., ACEVEDO-DÍAZ, J. A., & ACEVEDO-ROMERO, P. Consensos sobre la naturaleza de la Ciencia: la comunidad tecnocientífica, *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 331–363, 2007.

VENEZUELA, Osvaldo Dias. *Demarcando Ciências e Pseudociências para alunos do Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, 2008.

VIDEIRA, Antonio A. P. Herbert Dingle e as relações entre ciência e filosofia no alvorecer da cosmologia moderna. *Scientiae Studia* (USP), São Paulo, v. 3, n. 2, p.243-248, 2005a.

VIDEIRA, Antonio A. P. Einstein e o Eclipse de 1919. *Física na Escola*, v. 6, n.1 p.83-87, 2005 b.

VIDEIRA, Antonio A. P. Breves considerações sobre a natureza do método científico. In: SILVA, Cibelle. C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. p.24-40, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

VIDEIRA, Antonio A. P.; MACHADO, Cristina. Estudos Sociais da Ciência: Introdução. *Revista Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 148-150, 2013.

VIGLIONI, Arthur; SOARES, Domingos. Observações sobre as soluções clássicas da equação de Friedmann. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 33, n. 4, 2011.

VILAS BOAS, Anderson; SILVA, Marcos Rodrigues; PASSOS, Marinez Meneghello & ARRUDA, Sérgio de Mello. História da Ciência e Natureza da Ciência: Debates e Consensos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 30 (2) pp.287-322, 2013.

VILLANI, Alberto. O Confronto Lorentz e Einstein e Suas Interpretações. I. A Revolução Einsteiniana, *Revista de Ensino de Física*, v. 3, n.3, p.23, 1981.

VILLANI, Alberto. *Conteúdo científico e problemática educacional na formação do professor de ciência*, São Paulo, Tese (Livre-docência) -- Instituto de Física da USP, 1987. 276p.

VILLANI, Alberto. Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p.169-181, 2001.

VITAL, A. & GUERRA, A. (2014). A natureza da ciência no ensino de Física : estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(2), 225–257.

WAY, Michael J. Dismantling Hubble's Legacy?, *arXiv preprint arXiv:1301.7294*, 2013. [In: *Origins of the Expanding Universe: 1912-1932 ASP Conference Series*, Vol. 471 Michael J. Way and Deidre Hunter, eds, 2013].

WAGA, Ioav. A expansão do universo *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 2, p.163-175, jun. 2000.

WAGA, Ioav. Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 1, p.157-173, mar. 2005.

WEINBERG, Steven. *Gravitation and Cosmology*, John Wiley: New York, 1972.

WEINBERG, Steven. *The first three minutes*. Bantam, New York, 1979.

WIRTZ, Carl. W. Ein literarischer Hinweis zur Radialbewegung der Spiralnebel. *Zeitschrift für Astrophysik* 11: 261. Bibcode 1936ZA.....11..261W, 1936.

ZAKARIYA, Nasser. *Towards a final story: time, myth and the origins of the Universe*. Harvard University, p. 83-157, 2010.

ZANETIC, João. Galileu, Galileu, Ondé Que Ocê Se Meteu? *Revista de Ensino de Física*, v. 2, n.1, p.91-97, 1980.

ZANETIC, João. A Propósito do Artigo de B. Hessen Sobre O 'Principia' de Newton. *Revista de Ensino de Física*, v. 6, n.1, p.33-36, 1984.

ZANETIC, João. Dos “Principia” da mecânica aos “Principia” de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 5, (Número Especial), 23-35, 1988.

ZANETIC, João. *Física também é cultura*. Tese de Doutorado. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1989.

ZANETIC, João. Física e cultura. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 57, n. 3, 2005.

ZANETIC, João. *Notas de aula da disciplina FMT405-Evolução dos Conceitos da Física*, ministrada no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, no primeiro semestre de 2009.

ZELDOVICH, Y. B. The theory of the expanding universe as originated by AA Fridman. *Soviet Physics-Uspekhi*, 6(4), 475-494, 1964.

ZYLBERSTAJN, Arden. Galileu: um cientista e várias versões. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5 (Número Especial), 36-48, 1988.

Anexos

1 Descrição detalhada das atividades da sequência de ensino e aprendizagem

1.1 Atividade 0

Apresentação das regras do jogo e panorama da sequência. Por causa de uma excursão, havia poucos alunos em sala, de forma que a apresentação acabou sendo feita junto com a atividade 1. Como a excursão era usada como prêmio para alunos com bom comportamento, os que estavam em aula se sentiram excluídos. Exatamente neste grupo estavam alguns alunos do 1º B que decidiram ser jurados no jogo, surpreendendo o professor por seu engajamento atípico.

1.2 Atividade 1 – O que é cosmologia?

Na primeira atividade diferenciamos cosmologia de astronomia, que é uma ciência que estuda os componentes do universo (planetas, cometas, estrelas, galáxias), mas não sua evolução em larga escala. Após assistirem vídeos sobre escalas no universo, os alunos discutiram sobre diversas formas de tentar entender o universo, percebendo o desafio e a pretensão envolvidos em tentar entender algo tão grande, investigando nossa própria existência como espécie humana. O professor motivou discussões sobre questões como: “O universo teve um começo ou sempre existiu? Ele é finito, ou infinito?” e problematizou a ideia de que é possível entender o universo como um todo.

Alunos em todas as classes ficaram positivamente impressionados com os vídeos. Esboçaram várias opiniões diferentes sobre a origem do universo, sem dar quase nenhum argumento para suas preferências. Alguns exemplos:

1. O universo começou por causa do Big Bang. (Jim B)
2. O universo não deve ter um fim, por que ele é infinito. Implicitamente assumindo que o que é muito grande não deve ter um fim. (Juju C)
3. Tudo o que a gente conhece, um dia não era conhecido. A gente precisa continuar tentando saber pra evoluir.

Houve manifestações espontâneas de curiosidade sobre temas de cosmologia comuns na divulgação científica, como buracos negros, supernovas, colisão da galáxia com Andrômeda, a mudança de status de Plutão como planeta anão¹²⁰.

No Blog da disciplina, os alunos responderam a questão 0 (ver seção 1.2.1) e a questão 1 (ver seção 1.2.2) que tratam da importância de estudar cosmologia. Como esperado, foram poucos os que se atreveram a dizer que o estudo de cosmologia não é importante, já que evidentemente assumiram que o professor e os pesquisadores acham que vale a pena estudar esse assunto. Assim, suas respostas se mostraram mais próximas da categoria 1, “racionalismo”, defendendo a neutralidade da ciência.

De modo geral, analisando as justificativas, praticamente não encontramos nenhum caso de relativismo radical. Poucos alunos desafiaram explicitamente a confiança atribuída à ciência. Dentre estes, a maioria era religiosa, mostrando que confiam igualmente, ou até mais em suas crenças religiosas sobre a origem do universo do que no discurso dos cientistas.

O grande interesse demonstrado pela maioria dos alunos pelos vídeos confirmaram a defesa da comunidade de pesquisa em ensino de astronomia (Kantor 2001, Langhi 2009) de que esta disciplina tem grande potencial para tornar mais atraentes outras áreas da física, não tão presentes em obras de divulgação científica.

1.2.1 Questão 0 (Atividade 1)

Sendo o universo tão grande e nós tão pequenos você acha que é possível entender o universo como um todo? Vale a pena estudar esse tipo de coisa?

Em todas as questões do Blog, havia três ou mais afirmativas e os estudantes deveriam indicar se concordam ou não com cada uma delas, além de justificar por extenso. A seguir, apresentamos em tabelas o enunciado, o número de alunos de concordou, e entre parênteses a porcentagem deste número de alunos que concordaram em relação ao total de respostas, que variou em cada questão.

É possível entender o universo como um todo e vale estudá-lo	33 (50%)
O universo é muito grande ou complexo para ser entendido, mas, mesmo assim, vale a pena estudá-lo.	23 (34%)
Não vale a pena estudar cosmologia. Há outras prioridades mais relevantes.	10 (15%)

Tabela 7: Respostas à questão 0 no Blog.

¹²⁰Mesmo que o ensino destes conceitos astronômicos não fossem centrais nessa pesquisa, foi interessante notar que os alunos confundiam uma mudança de nome, com existência, perguntando “por que Plutão deixou de existir?”.

Como esperado, foram poucos os que se atreveram a dizer que o estudo de cosmologia não é importante, já que evidentemente assumiram que o professor e os pesquisadores acham que vale a pena estudar esse assunto.

A maioria que disse que é possível entender o universo como um todo e que este estudo vale a pena, defendeu que sempre vale a pena estudar o que não se sabe, valorizando qualquer tipo de conhecimento, sem dar nenhum argumento que valorize a cosmologia especificamente.

Ex: Sim, vale a pena descobrir coisas novas que existe no universo; somos pequenos mais a mente vai além! (Pri B)

Outros argumentos foram a valorização do estudo da cosmologia com intenções práticas para o futuro da humanidade, tomando emprestado vantagens de estudos sobre astronomia ou exploração espacial:

Sim por que a inteligência do ser humano e grande o suficiente para estudar o universo inteiro. Sim se a gente ir fundo nisso nos iremos descobrir várias coisas novas como planetas estrelas e até vida. (IoÍó C) Porque assim podemos achar vida em outros planetas e descobrir de onde viemos (Leo C)

Muitos alunos também consideram que não é possível entender o universo como um todo atualmente, mas que com a evolução da ciência isso talvez seja possível e que esse tipo de investigação é importante:

O Universo é infinito e, portanto, não pode ser medido, seria impossível entender ele como um todo, mas acho que vale sim a pena estudar o universo porque assim aprendemos mais sobre ele. (Gu A)

Não, eu acho que somos todos míseros idiotas q nunca vão entender o universo. não passamos de grãos de areia q não temos capacidade de entender a verdadeira razão da vida. Não q eu ache que será fácil saber tudo sobre o universo mas eu acho q é um estudo muito importante e no caso, vale a pena sim estudar, porque muita gente diz que nós somos os únicos, eu por mim mesmo acho que não é verdade, e queria muito saber quais são os outros seres que existem por ai e para saber disso é preciso estudar esse assunto. (Gagá B)

"Entender o universo é uma coisa que precisa ser estudada e aprofundada porque ele é grande demais para que possamos entender tudo de uma vez só, ainda mais hoje em dia, em que só as pessoas que gostam muito do céu, de estrelas, etc, são capazes de estudar matérias como: cosmologia, astronomia, etc. Para mim não é possível entender o universo, porque cada vez surge uma nova estrela, e então o universo vai se tornando cada vez mais intocável. Vale a pena estudar se a pessoa tiver interesse, vontade de conhecer e aprender mais sobre o universo." (Eve B)

O principal argumento bem estruturado pelos que disseram que não vale a pena estudar cosmologia foi o de que há outras prioridades mais úteis, mais importantes atualmente:

Não acho q vale a pena, pois mesmo com muitos anos de estudo não poderíamos mudar nada, não mudaria nosso jeito de viver. (Dedê A)

Não dá pra entender o universo como um todo por que em cada parte do universo pode ter algo diferente, qualquer tipo de estudo sempre vale a pena por que sempre esta acrescentando algo em nós. Porém esses estudos são muitos caros e este conhecimento nem sempre poderá trazer resultado. Gasta-se milhões/bilhões nestas pesquisas enquanto este dinheiro poderia estar ajudando pessoas q realmente precisam. (Fê B)

"Eu não acho que vale a pena estudar o universo, pois devemos nos preocupar com coisas mais importantes como a política que está em decadência em nosso país. Ao mesmo tempo o estudo do universo é muito importante, pois é muito interessante a história sobre como tudo surgiu, tudo tão grande e nós tão pequenos. Tudo tem o seu ponto positivo e o seu ponto negativo. É isso que eu penso sobre o estudo do universo como um todo." (Mimi B)

Vale a pena estudar o universo, mas no mundo de hoje não muito, pois enquanto eles (cientistas) gastam milhões em pesquisas. tem milhões de pessoas no mundo que estão passando fome e que precisam desse dinheiro (Aline C)

Na minha humilde opinião, creio que seja perda de tempo. Claro, pode trazer-nos descobertas maravilhosas e responder-nos questões sobre nossa existência, que normalmente não tem resposta definitiva, mas não é algo que seja prioridade, não é algo que se deve apostar tanto. Realmente, nós, sendo tão pequenos em comparação ao universo, jamais poderíamos entender o universo como um todo sem se passar algumas dezenas de milênios. (Juju C)

1.2.2 Questão 1 (Atividade 1)

Indique sua concordância ou discordância com as afirmações de A até C, justificando com um texto breve.

A) A cosmologia é uma forma de sabermos “quem somos”, “de onde viemos” e se o universo teve um começo ou sempre existiu, de uma maneira confiável e neutra.	53 (80%)
B) A cosmologia não é mais confiável ou importante do que outras formas de explicar o começo do universo. São formas distintas de abordar as mesmas questões, mas que são igualmente importantes.	45 (68%)
C) Os cientistas afirmam reconhecer a verdade sobre o universo, mas suas ideias não são mais seguras do que outras crenças.	39 (59%)

Tabela 8: Respostas à questão 1 no Blog.

A alternativa A, a mais popular (80%) entre os alunos, defende a neutralidade da ciência, se aproximando da Categoria 1: “racionalismo”.

A alternativa B, defendida por uma quantidade intermediária de alunos (68%), se aproxima de um racionalismo que nega o cientificismo (categoria 2), assim como com um relativismo moderado (categoria 3). Notamos que esta postura foi mais comum entre alunos religiosos, que criticam a autoridade da ciência, especialmente em situações de conflito entre ciência e suas crenças religiosas.

Finalmente a alternativa C, defendida por um número menor de alunos (59%), tende a um relativismo moderado, compatível com as categorias 2 e 3.

Nesta questão, houve predomínio de posições que valorizam a ciência, acreditando que ela tem mais autoridade que outras formas de conhecimento.

A) Concordo. A cosmologia nos ajuda a entender o Universo, com isso nos ajudando a entender melhor a nossa origem que nos faz compreender melhor o que somos.

B) Concordo porque existem outras ciências da mesma importância que explicam o possível sobre o universo.

C) Discordo. Discordo porque a ciência explica de maneira mais segura do que a simples crença, comprovando os argumentos. Eu acredito que a ciência explica de forma mais segura e comprovada." (Lili A)

Uma quantidade intermediária de alunos confia na ciência, mas expressou algum tipo de desconfiança em relação às respostas científicas a questões cosmológicas.

A) Discordo. A cosmologia é sim uma forma de sabermos quem somos, de onde viemos e se o universo teve um começo ou sempre existiu e sim, é uma forma confiável porém, é confiável até certo ponto, não é uma forma que nos traz todas as respostas requisitadas, não é uma forma de respostas que podemos chamar de completas e essas respostas baseadas em teorias não tem meios para comprovar com toda convicção, saindo desse campo de teorias o motivo da nossa existência, ou de onde ela veio ou mesmo, pra onde vai.

B)Discordo. A cosmologia é mais confiável do que as outras diversas teorias pois, trata-se de algo baseado na ciência, porém, não é mais ou menos importante do que qualquer outra teoria. Cada pessoa acredita numa forma de existência do universo, e pensando de forma mais aberta, nenhuma delas esta errada, afinal, não existe a forma correta.

C) Concordo Eles conhecem verdades sobre o universo, baseadas em teorias firmes, digamos assim; porém, essas “verdades” são incertas, não há, até o presente tempo, formas de comprovar essas verdades, por tanto, elas se tornam uma forma de crença. Todas as Teorias sobre o universo

estão de certa forma corretas; e eu acredito que a ciência seja sim, muito importante para esse entendimento, talvez seja a grande “solução” para tantas dúvidas porém, não significa que esta a cima das outras, mesmo estando “á frente” com teorias bem articuladas. (Sasá A)

A) Concordo. Como a Cosmologia é o estudo do mundo, do universo, utilizam a ciência como estudo procurando os fatos para saber como tudo começou, e nos tempos atuais temos um método que facilita muito, que é a tecnologia, com a tecnologia que fica cada vez mais avançada, fica mais fácil entender tudo e tentar ter uma conclusão, dessa forma com a tecnologia estudando a cosmologia pode-se dizer que é sim uma maneira confiável de saber “quem somos” e “de onde viemos” e é neutra.

B) Concordo Pois todas as formas da existência do universo é importante, porque se pode dizer que cada estudo, tem seu lado “certo” e que juntando tudo consegue ter uma conclusão melhor, cabe saber “selecionar” o que é mais provável dos que não são muito prováveis, e acredito que a cosmologia seja sim um estudo muito importante porque é um estudo que você procura o saber.

C) Concordo. Pois a ciência vai mais pela base da razão, das provas, dos fatos que tem, e a religião vai mais pela base da fé, do que acreditam, na crença sobre Deus, mas nenhum dos tipos de crença são mais seguras que as outras, vão todas ou pela fé ou pela razão. A ciência é muito importante para o estudo do mundo e saber como tudo é, e não “achar que sabe” e sim saber mesmo, pela base dos fatos e o conhecimento da ciência ajuda a compreender o mundo e suas transformações, e essencial para o desenvolvimento da sociedade, sem a ciência muitas coisas talvez não teriam soluções que hoje em dia tem, com a base desse estudo, mas, por outro lado, tem que saber “selecionar” e saber até onde pode ir com a ciência para não tornar um exagero, devemos priorizar outros assuntos como a pobreza, a miséria do mundo. (Ana B)

Poucos alunos desafiaram explicitamente a confiança atribuída à ciência, mostrando que confiam igualmente, ou até mais em suas crenças religiosas sobre a origem do universo do que no discurso dos cientistas:

A) Concordo. Eu concordo porque a Cosmologia estuda da onde viemos e quem somos e pra entendermos melhor a origem das “coisas”.

B) Concordo Porque nada é totalmente seguro que é verdade e a Cosmologia tenta relatar o começo do universo e da onde viemos de alguma forma, como existem várias formas diferentes de explicar isto.

C) Concordo porque eu realmente acredito que a origem do universo foi Deus e não acredito na teoria dos Cientistas mesmo que faz um “pouco” de sentido. (Vivi C)

A) Discordo. Porque a pessoa não é obrigada a estudar a cosmologia, ela (pessoa) estuda por

interesse, por vontade própria, para aprender mais sobre o universo e não para saber de onde veio ou quem ela é, porque isso a pessoa aprende a definir com a ajuda da família, e não necessariamente com uso de estudos ou pesquisas.

B) Concordo. Concordo porque há várias teorias que explicam o surgimento, o começo do universo. Mas todas essas teses podem ou não ser verdadeiras, mas a quem acredite, por exemplo, na teoria do Big Bang, que foi comprovada, pois deixou rastros muito evidentes, e a também que acredite na Bíblia. Mais isso vai de religião, crença, etc.

C) Concordo. Concordo, mas como eu já disse na B, a sociedade hoje em dia é livre pra acreditar no que quiser. Por isso podem haver várias pessoas com pensamentos diferentes dos cientistas, por exemplo. Existem pessoas que confiam mais na ciência do que na religião (e vice e versa), mas nem uma é mais importante que a outra. (Eve B)

A) Concordo que a cosmologia tenta mostra se o universo sempre existiu ou se teve um começo, mas discordo que ela mostra sobre quem somos ou de onde viemos. Muitas pessoas sabem que foi Deus quem nos criou, mas ciência e religião são opostos, pois a ciência sempre que mostrar uma resposta mais fácil de entender, mas a religião tem como sua base a fé. Então muitas pessoas preferem seguir o caminho da ciência.

B) Concordo. Tem várias ciências que tentam responder a mesma questão, mas todas elas estão indo para o mesmo caminho, mas nenhuma sabe se está indo para o caminho certo, podem achar que sabem, mas não sabem. Mas todas são importantes para o universo.

C) Concordo. Como eu disse na alternativa A, ciência e religião não trabalham juntas; a ciência quer mostrar uma resposta fácil, mais segura de se acreditar; já a religião, trabalha com a fé da pessoa, se não há fé como a pessoa poderá acreditar em Deus, ele e seu filho Jesus Cristo são o nosso salvador, Jesus se sacrificou por nós, porque não podemos fazer o mínimo e confiar neles? Depende de qual caminho a pessoa vai seguir: o da ciência, com respostas materialistas. Ou da religião, com SUA fé. Acredito que a religião vence a ciência, mas também acredito que sem a ciência o mundo não teria avanços. (Naná C)

C) Concordo. Porque a cada dia que passa é provado a existência de Deus, se pararmos pra ler a bíblia em alguns capítulos dela estará descrito acontecimentos nos quais, dia apos dia são mostrados para nós. Então podemos afirma que as ideias dos cientistas não estão mais seguras. Exemplo: Na bíblia diz que o mar morto só voltara a ter vida quando Jesus voltar para buscar aqueles que serão salvos e viveram no reino de glória, hoje alguns biólogos descobriram que está começando a ter vida no mesmo. Este mar a alguns anos atrás os cientistas afirmavam com toda certeza que jamais haveria vida ali por inúmeras razões." (Paulo A).

1.3 *Atividade 2 – Relações entre ciência e sociedade*

Nesta atividade buscamos fornecer um contexto histórico para ambientar os alunos no período que seria estudado ao longo da sequência de ensino e aprendizagem. Assim, a aula apresenta uma contextualização política, tecnológica e científica na Europa no início do século XX. Basicamente, os conteúdos históricos propostos referem-se a fatos históricos entre 1900 e 1914, isto é, até o início da Primeira Grande Guerra.

A ideia central é ilustrar como a ciência se relacionava fortemente com a política naquele período específico. Durante a Primeira Guerra Mundial Rússia, Inglaterra e França se aliaram contra a Alemanha, Império Austro Húngaro e Império Otomano. Após a guerra, essa rivalidade levou a um boicote imposto por cientistas estadunidenses, franceses e ingleses à ciência alemã.

Discussões sobre o nacionalismo na ciência foram realizadas a partir do filme Einstein e Eddington, que trata da defesa da teoria da relatividade, uma teoria “alemã” proposta por Einstein, pelo inglês Arthur Eddington, exatamente num período de intensa rivalidade entre ingleses e alemães¹²¹.

Além disso, na atividade também se discutiu o rápido desenvolvimento tecnológico europeu, em especial no que concerne ao crescimento de malhas de trens europeias, e como isso teria se relacionado com o surgimento da teoria da relatividade especial de Einstein. As discussões sobre ciência e política, iniciadas nessa atividade, são de importância central para o restante da sequência e também para que os alunos se situem no tempo e espaço imaginados durante o jogo.

Notamos que esta atividade produziu uma aula sobrecarregada, que precisa ser repensada em uma aplicação futura da sequência. Os alunos não tiveram tempo suficiente para discutir a questão da influência da nacionalidade durante a aula, e a problematização esperada com o filme não funcionou. Os alunos mais dedicados, contornaram esse problema fazendo uso do Blog, descrevendo reflexões interessantes após a aula. Porém, a maioria dos alunos que não fez esta atividade fora da classe, teve bastante dificuldade para entender os debates sobre nacionalismo na ciência nas atividades seguintes. Após a atividade 2, novamente, no Blog os alunos responderam a questão 2, discutida a seguir.

1.3.1 **Questão 2 (Atividade 2)**

Indique sua concordância ou discordância com as afirmações de A até C, justificando com um texto breve.

¹²¹Foi ao ar na rede de televisão britânica BBC em 2008, dirigido por Philip Martin, http://pt.wikipedia.org/wiki/Einstein_and_Eddington, acesso em maio de 2013. Trechos do filme foram dublados por Natan Balceiro, com auxílio de Alexandre Bagdonas e Vitor Machado.

A) A ciência é neutra e igual em todos os países, mas pode ser utilizada para fins políticos, como nas aplicações militares.								52 (78%)
B) A ciência é influenciada pelo contexto histórico de sua época. Por exemplo, a nacionalidade dos cientistas influencia o processo de criação das teorias.								45 (67%)
C) A ciência é um instrumento político para determinadas nações poderem impor seu domínio sobre outras.								44 (66%)
ABC	AB	AC	BC	A	B	C	X	Total
21	13	12	8	6	3	2	2	67
31%	19%	18%	12%	9%	4%	3%	3%	%

Tabela 9: Respostas à questão 2 no Blog.

A alternativa A é a defesa da neutralidade e universidade da ciência, próxima à categoria 1. A alternativa B é intermediária (categoria 2), enquanto a alternativa C, mais radical é mais próxima ao relativismo (categoria 3).

Categoria 1

A maioria dos alunos (78%) concordou com A, logo se enquadra no “racionalismo”, defendendo que a ciência deve ser neutra, mas pode ser usada “para o bem ou para o mal”. Ex:

A) Concordo. "Eu concordo, independente do lugar a ciência é a mesma. É um fato que ela é utilizada para fins políticos, porém há controversas pois as vezes é usada de maneira inadequada, chegando a prejudicar as pessoas. Li em um jornal e segue o link <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/ilustrada/107116-o-fantasma-de-bin-laden.shtml>

B) Discordo. Existem vários cientistas estrangeiros e independente disso a teoria é aplicada em qualquer lugar.

C) Concordo. Algumas nações se aproveitam da ciência para terem mais “poder”, as vezes fazendo bombas químicas, armas, etc. controlado outras nações. (Flá Flá C)

Analisando as justificativas dos alunos que concordaram tanto com A quanto com C, notamos que a maioria se aproxima mais da categoria 1 do que da 3, por consideraram que mesmo que nações usem a ciência para fins políticos, a ciência continua sendo neutra e universal:

A) Concordo. "A ciência é neutra e igual nos outros países, pois os cientistas usam as mesmas ideias para estudá-las. Sim ele pode ser utilizado para fins políticos e militares como por exemplo a invenção do avião de Santos Dumont.

B) Concordo "Porque o cientista que nasceu em um país rico tem mais oportunidade de desenvolver suas teorias.

C) Concordo. Quem tem as melhores invenções terá domínio sobre as outras nações. Acredito que a ciência poderia ser para ajudar as pessoas. (Vitor Pradelli 1B)

A) Concordo. A ciência deve ser neutra, porém por influência militar ou países acabam entrando em desconfronto sobre esta neutralidade para que possa obter mais poder do que os países oponentes ao seu.

B) Concordo. Acabam influenciando, pois os cientistas principalmente em períodos de guerra procuram o poder sobre a verdade na ciência de forma que tentam defender suas teorias de todas as formas para que possam manter suas teorias corretas durante longos períodos.

C) Concordo. A ciência acaba tornando-se instrumento político, pois a partir das descobertas ou invenções de teorias consideradas corretas por muitos, o cientista que realizou este processo passa a ter uma visibilidade maior trazendo-a para o seu país, de forma que aquela teoria começa a pertencer não somente à ciência e o cientista, como também o país de sua nacionalidade (Gabi A)

Categoria 2

Aqui enquadrámos os alunos que defendem que a ciência não é neutra, mas defendem que ela deve ser imparcial. Evidentemente não esperávamos uma diferença sofisticada na enunciação dos conceitos de “neutralidade” e “imparcialidade”, como fizeram filósofos como Hugh Lacey.

Contudo, os que concordaram com a alternativa B (67%) e evitaram o relativismo (discordando, ou mostrando ressalvas em relação à afirmação C, se aproximaram bastante desta postura:

A) Concordo. A ciência é uma só, e não se tem interpretações diferentes, apesar de alguns estudos alternativos. Se a ciência pode ser usada para melhorar um país, tal país não verá mal em fazer uso da ciência.

B) Concordo. Um cientista americano, com certeza, não terá o mesmo ponto de vista em relação a determinado assunto que um cientista alemão. Ambos foram criados em países diferentes e cresceram influenciados por culturas diferentes, e isso faz a diferença sim, nem que seja uma diferença mínima.

C) Discordo. A ciência é algo usado para achar respostas, e melhorar a qualidade de vida dos seres humanos no geral, não para impor "mais poder" sobre outra nação. Acredito que a ciência está no mundo para fazer do mesmo um lugar melhor. Existem prêmios e reconhecimento, prestígio e outras coisas para os cientistas que descobrem algo, e para seu país, é claro, mas, de qualquer forma, é um pequeno passo para o cientista, e um grande passo para a humanidade. Até porque o cientista não viverá para sempre, mas sua descoberta fará a diferença eternamente na ciência e em nossas vidas. (Juju C)

Mesmo alguns alunos que concordaram com A, mostraram uma avaliação neutra, ou até mesmo positiva sobre esse tipo de influência social e principalmente militar.

- A) Concordo. A ciência pode fazer armas mais poderosas para os exércitos e os políticos podem usar como campanha que eles vão investir na ciência para desenvolver a cura do câncer
- B) Concordo. Pois a diferença cultural dos países fazia com que os mais desenvolvidos tivessem acesso a mais informações, com isso seus cientistas conseguiam novas descobertas
- C) Concordo. Em países desenvolvidos a ciência é muito melhor do que em países subdesenvolvidos. A ciência pode ser usada para fins políticos e militares. (Dodô)

Categoria 3

Houve um número relativamente menor de alunos que concordaram com C e discordaram de A (10 alunos, ou 15%). Estes rejeitaram a neutralidade, se aproximando do relativismo:

- A) Discordo. Não concordo pois ela influencia e por influenciar acaba sendo diferente em todos os lugares, exemplo, em lugares em que a ciência é mais reconhecida, a ciência é mais desenvolvida
- B) Concordo. Porque para se criar uma teoria é necessário saber exatamente o que se está falando, e normalmente a dúvida é construída pelo dia a dia, ou seja, na nacionalidade.
- C) Concordo. Tudo pode ser considerado uma maneira de se impor, principalmente na política, porque as nações sempre procuram ser melhor do que as outras, e a ciência é uns dos maiores instrumentos na política. Vivemos numa guerra, não diretamente, como antes, mas indiretamente, porque tem sempre o país que é mais reconhecido do que os outros e por isso possui um poder de fala maior e é sempre nesse país que a ciência é mais avançada. (Bru B)
- A)) Discordo. Pois cada país tem sua teoria, seu partido, sua opinião.
- B) Concordo. Sim, se você tem uma teoria diferente e outro país, ele pode ocasionar uma possível guerra contra o país adversário.
- C) Concordo. Se você estiver em guerra com outro país e esse país for mais forte que você, isso trará um domínio dele sobre o seu país. (Tatá A).

1.4 Atividade 3 – Jogo 1914 a 1924

Nessa atividade os alunos investigam a história da ciência no período entre 1914 a 1924. Como em todas as etapas de investigação do jogo, há um elemento aleatório já que não se sabe quais serão os cartões que cada grupo receberá, e nem quais serão os alunos que interessarão mais os investigadores. Contudo, provavelmente alguns debates importantes surgirão, pois estão presentes em muitos cartões. Alguns deles são a influência do nacionalismo na ciência após a Primeira Guerra, o boicote à ciência

alemã feito por franceses, ingleses e estadunidenses, assim como os modelos cosmológicos de universo estático e em expansão. Mesmo que os alunos não tenham contato com os trabalhos de Einstein, de Sitter e Friedmann, o professor os apresenta na atividade 4.

Na tabela abaixo apresentamos o número de votos para cada país, nas três classes.

País	EUA	Alemanha	França	Inglaterra	URSS	Neutros
Votos	7	3	3	3	2	0
Grupos	Laranja A; Laranja, Marrom e Amarelo B; Amarelo, Laranja e Marrom C	Marrom, Preto e Azul A;	Vermelho A, Branco e Preto C	Amarelo A, Vermelho B e Vermelho C	Preto e Azul B	

Tabela 10: Votos em cada país, atividade 3

Classificamos os argumentos apresentados pelos grupos em duas grandes categorias: 1. Internalistas, quando eles tratavam exclusivamente de conteúdos científicos; 2. Externalistas, quando abordavam relações entre ciência e seu contexto, ou até mesmo argumentos sem relação com a ciência. Notamos que inicialmente houve muito mais argumentos externalistas.

Síntese dos argumentos

Categoria	Quantidade	Detalhamento
1	7	
A) Cosmologia	4	Walter Nernst – Alemanha (Marrom A), Georges Lemaître – França (Branco C), Telescópios – EUA (Laranja B), Friedmann – URSS (Preto B)
B) Outras áreas da ciência	3	Ficção científica e viagens espaciais – URSS (Azul B), Prêmio Nobel – EUA (Amarelo C), Expedição para testar teoria da relatividade - Inglaterra (Vermelho C)
2. Externalistas	15	
A) Debatendo ciência com fins militares	9	Pacifistas: EUA (Amarelo B, Marrom C) contra EUA Branco C e Vermelho C x Amarelo C e Laranja C Belicistas: Alemanha (Preto A, Azul A)
B) Relacionados a condição econômica do país.	3	França – pobre (Vermelho B), EUA - ricos (Laranja C), contra a Alemanha (Amarelo A)
C) Outros aspectos contextuais	3	Religião – Lemaître – França (Vermelho A), Mulheres na ciência – Alemanha (Marrom B) Mulheres na política – Inglaterra (Amarelo A)

Tabela 11: Classificação dos argumentos, atividade 3

1.4.1 Internalistas

A) Cosmologia

Voto: Alemanha. Cartão: “Um modelo de universo eterno e estático”. Estudos de Walter Nernst. Não mostraram nenhuma preferência pelo modelo estático, aparentemente escolheram este cartão por que era uma das poucas que tratava de estudos cosmológicos. (Marrom A)

Voto: EUA. Cartão “Construído o maior telescópio do mundo”. Segundo o grupo, o modelo estático proposto por McMillan “ajudar a entender o universo”.(Laranja B).

Voto: Rússia. Cartão: “Einstein rejeita solução de Friedmann”. Baseando-se no sucesso de Friedmann em se defender das críticas de Einstein ao modelo de universo em expansão, este grupo escolheu a URSS por que “tinha um conhecimento científico a ponto de se defender das teorias de Einstein” (Grupo Preto B, Aula 3 36:00).

Voto: França. Cartão: “Relações entre a relatividade e a astronomia”. Trata dos estudos de Georges Lemaître em Cambridge, com Arthur Eddington, com interesse em relacionar relatividade geral e astronomia. Os alunos argumentaram que se deve investir na França por que lá “já estão estudando cosmologia” (Branco C).

B) Pesquisa em outras áreas da ciência

Voto: URSS. Cartão: “Entusiasmo com a ciência e ficção científica na URSS”. O grupo Azul B valorizou K. Tsiolkolski, um professor de matemática que estudava sobre universo, e estava interessado em conhecer planetas além da Terra. Nesse contato inicial com a cosmologia, eles ainda não conseguiam perceber as diferenças entre as abordagens de cientistas profissionais, como Einstein e Friedmann, ou amadores, como Tsiolkolski. O argumento também não diferenciava astronomia de cosmologia, mostrando interesse por qualquer tipo de estudo “sobre o universo” com uma finalidade prática: encontrar outras civilizações desenvolvendo tecnologia para viagens espaciais.

Voto: EUA. Cartão: “O segundo prêmio Nobel dos EUA”. Votaram nos EUA por que tinham vencido 2 prêmios Nobel e eram mais “objetivos”. O professor pediu para explicarem melhor essa palavra, mas os alunos não tiveram dificuldade em expressar o que queriam dizer (Amarelo C, 41:30, Aula 3).

Voto: Inglaterra. Cartão: “Uma expedição para curar as feridas da guerra”. Argumentaram que os ingleses merecem investimento “por que tiveram mais sucesso na ciência” (Vermelho C).

Vale notar que outros grupos não perceberam que esse argumento sobre o prêmio Nobel era fraco, já que outros países como Alemanha e Inglaterra ganharam muito mais que 2 prêmios Nobel no mesmo período. Igualmente, o argumento baseado no discutível “sucesso” da ciência inglesa não foi

problematizado por nenhum grupo. Conforme prevíamos, na primeira fase os alunos ainda não tinham critérios para comparar teorias científicas e nenhum debate pautado em conteúdos científicos foi bem desenvolvido. Houve grande predomínio de argumentos externalistas.

1.4.2 2) Externalistas

A) Debatendo ciência com fins militares

Foi notável que o uso militar da ciência era aprovado e incentivado por muitos rapazes (grupos Azul A e Preto A) e condenado ou lamentado por muitas garotas (grupos Marrom C e Amarelo B).

Uma exceção foi um rapaz do grupo Marrom A que reprovou o uso militar da ciência, dizendo que não se deve investir nos EUA, pois eles usaram armas atômicas em Hiroshima e Nagasaki. Por mais que seja interessante para entendermos sua visão sobre relações entre ciência e sociedade, no jogo este argumento foi desconsiderado, por que nessa fase estávamos debatendo acontecimentos no período 1914-1924.

Os grupos Preto A e Azul A eram formados só por meninos, que valorizaram a ciência Alemã e sua eficiência na Guerra.

Voto: Alemanha. Cartão: “Alemães vencedores do prêmio Nobel trabalhando para a guerra”

País desenvolvido, tem equipamentos necessários para a pesquisa, usaram a ciência para outros fins, como, por exemplo, para a Guerra (Preto A, 39:10, Aula 3)¹²²

Voto: Alemanha. Cartão: “Gases venenosos na I Guerra Mundial” (Ficha sobre Rússia)

O cartão fala da dependência industrial do Império Russo em relação à Alemanha antes da Primeira Guerra Mundial, em que o exército alemão usou armas químicas contra os russos:

Eles [Alemanha] tem o Albert Einstein, já estavam participando da guerra então tinham tecnologia, foram espertos, pararam de vender pra eles e jogaram gás nos russos (Azul A, 40:10, Aula 3).

O professor ficou negativamente impressionado com este argumento, demonstrando clara reprovação pelo tom de voz. Uma aluna do grupo percebeu e conseguiu reformular o argumento na hora de escrevê-lo, depois de pesquisar em casa.

É interessante notar que segundo o critério de “justiça” no jogo, o professor pode querer evitar rephrasear os argumentos dos alunos ajudando-os a ter melhores argumentos. Porém, do ponto de vista educacional, consideramos essa ajuda muito bem vinda, já que o professor pode assim auxiliar os alunos no processo de construir argumentos cada vez melhores.

¹²²Nas transcrições de vídeos gravados durante as aulas, incluímos o tempo decorrido desde o início da gravação de cada aula.

Isso influenciou o resto da discussão no 1º A, já que não houve mais argumentos relacionados a aplicações militares na continuidade do jogo. Por outro lado, nas demais séries (1º B e 1ºC) a aplicação militar da ciência foi amplamente debatida e valorizada por muitos grupos.

Voto: EUA. Cartão: “EUA vão à guerra”. “[Os EUA] queriam paz mas foram atacados pela Alemanha” (Amarelo B).

Voto: EUA. Cartão: “EUA vão à guerra”. “Os Estados Unidos foi atacado pela Alemanha, precisam de ciência para ganhar Guerra”(Marrom C).

O cartão que tratava dos motivos pelos quais os EUA entraram na Primeira Guerra Mundial motivaram dois grupos, em duas séries diferentes, a defender o investimento nos EUA. Esta é uma ótima oportunidade para discutir o quanto devemos confiar nas informações apresentadas nos cartões: apenas as razões da entrada dos EUA na guerra são apresentadas. É importante problematizar: por que a Alemanha atacou os EUA? Que razões levaram os outros países à guerra? Podemos confiar no historiador que escreveu esse cartão? Quais as fontes consultadas?

Todas essas questões são evidentemente muito influenciadas pela nacionalidade do historiador que escreve a versão da história das Guerras. Qualquer livro de história mostrará que os EUA tinham diversos interesses econômicos em entrar na Guerra aliado à França e Inglaterra, e que uma visão maniqueísta da história de guerras é muito ingênua.

Da mesma maneira, na história da ciência precisamos desconfiar criticamente das informações apresentadas, pensando quais podem ser os interesses do historiador que criou a história em questão.

Voto: Contra os EUA. Cartão: “Pesquisas dos EUA sobre armas químicas”. Como os EUA não conseguiram usar as armas químicas que desenvolveram antes do fim da Guerra, o grupo argumentou que as armas deles eram ruins, portanto sua ciência também deveria ser (Vermelho C).

Esse argumento altamente duvidoso gerou um contra-argumento igualmente discutível:

Se os EUA ganharam um prêmio Nobel, como poderiam ser ruins suas armas químicas? (Amarelo C). O professor conseguiu problematizar bem a situação, perguntando “Será que o prêmio Nobel teve a ver com a produção dessas armas? Temos que investigar” (Aula 3b EM1C, 11:00).

O grupo Branco então apresentou um interessante contra-argumento, que nos mostrou como a simpatia ou antipatia pelos EUA e pelo capitalismo marcaram os debates nesta classe:

Voto: Contra os EUA. “Os Estados Unidos está enriquecendo a custa da desgraça dos outros, ia lá e vendia arma pra enriquecer durante a Guerra. Os EUA ofereciam ajuda financeira para eles comprarem armas, e os países Europeus ficaram cada vez mais endividados” (Branco C).

Os grupos que defendiam o investimento nos EUA então contra-argumentaram:

1. Então por que os Europeus compravam? Existe venda sem compra? (Branco C).

2. “Eles [os ingleses] tem cientistas, mas eles todos estão tentando se fortalecer. Que adianta você entender a gravidade, essas coisas, se você está em uma Guerra? Isso não vai ajudar em quase nada! Nessa fase eles estavam com teorias. Não estavam com tipo, certeza. E isso não ia influenciar tipo bomba, radioatividade. Não ia ajudar na guerra.” (Marrom C, 19:45, Aula3b)

O grupo Marrom C que defendia os EUA e argumentava contra a Inglaterra deixou explícita a valorização do militarismo e lucro como resultados da ciência.

B) Relacionados a condição econômica do país.

Voto: França. Cartão: “França: Vitória na guerra e derrota na economia. A França foi “devastada pela guerra, pediu ajuda para EUA. Por isso temos que ajudá-los” (Vermelho B).

Voto: EUA. Cartão: “Prosperidade econômica nos EUA”. Para este grupo, “EUA está investindo no mercado, vendendo carros, na bolsa de valores. Estão tendo muito lucro”. Este seria um ambiente promissor para o desenvolvimento da ciência (Marrom C, 42:00, Aula 3).

Voto: Contra a Alemanha Cartão: “Picard e Hale tentam boicotar ciência alemã”. Não faz sentido votar num país que está sendo boicotado pelos outros. E além disso, ainda tiveram que pagar indenizações após o Tratado de Versalhes. “De que adianta ter Einstein se você está quebrado financeiramente?” (Amarelo A, Aula 3, 44:30).

C) Outros argumentos sobre contexto sociocultural.

Voto: França. Cartões: “Ciência e religião compatíveis”. Estudos de Georges Lemaître relacionando Física e Catolicismo.

Padre queria mostrar para o mundo que a ciência poderia explicar muitas coisas. Por exemplo, a religião e a ciência, eles tem uma certa briga. Porém ele queria mostrar que com a ciência até se poderia explicar coisas religiosas. Por mais que tenha essa briga, uma poderia auxiliar a outra (Vermelho A, 29:09, Aula 3B).

Argumento: Contra a Alemanha. Cartão: “Mulheres na ciência?” Meninas do grupo ficaram indignadas com Emmy Noether não poder dar aulas na universidade por ser mulher. Inicialmente queriam votar na Alemanha, por causa de Albert Einstein, mas mudaram de ideia, votando nos EUA (Marrom B).

Voto: Inglaterra. Cartões: “Mulheres inglesas na política”. Os grupos Marrom B e Amarelo A eram ambos compostos só por meninas. Enquanto as meninas do grupo Marrom B argumentaram contra a

Alemanha pelas dificuldades encontradas por uma cientista alemã, as do Amarelo A valorizaram a participação de mulheres na política inglesa:

[A Inglaterra] foi o primeiro país que deu oportunidade para as mulheres na política. E também ajudou no tratado de Versalhes, ajudando a segurar a Alemanha (Amarelo A, 21:23 Aula 3B).

Nesse momento um aluno do Grupo Preto contra-argumentou: “Guerra não tem a ver, estamos discutindo cosmologia”. Como veremos essa tensão sobre o quanto aspectos “externos” à ciência são ou não importantes nos debates do jogo esteve presente em todas as séries, sendo exatamente este o debate principal que buscamos estimular.

Como a vitória no jogo está associada ao convencimento dos jurados, apresentando bons argumentos, é natural que as evidências encontradas sejam supervalorizadas durante sua apresentação. O cartão não dizia que a Inglaterra foi o primeiro país a dar oportunidade para mulheres na política, o que é falso. Porém este detalhe não foi importante no debate, já que este argumento não foi discutido por outros grupos. O professor problematizou o argumento, perguntando se a participação das mulheres na ciência também era estimulada, mas aparentemente o Grupo não conseguiu desenvolver este argumento nas aulas seguintes.

1.5 Atividade 4 – Universo estático

Nessa atividade o objetivo é discutir e sistematizar as investigações conduzidas pelos alunos na atividade 3, sobre os eventos o período entre 1914 e 1924, tanto na história política, quanto na história da cosmologia.

A partir da relação entre Einstein e Friedmann, estimulamos discussões sobre o processo de avaliação de teorias, apresentando o sistema de avaliação de artigos por pares e refletindo sobre possíveis influências nesse processo.

Nessa aula elaboramos slides com base nos assuntos que mais interessaram os grupos nas fases de investigação: a participação de cientistas na Primeira Guerra Mundial, o boicote à ciência alemã, a influência da ciência para a produção de armas químicas, a participação de mulheres na ciência e política e relações entre ciência e religião.

No fim da atividade, o professor enfatizou os cartões sobre cosmologia mais relevantes deste período: os modelos estáticos de Einstein e de Sitter, e debate entre Einstein e Friedmann sobre a expansão do universo.

No fim da aula, os alunos responderam à questão 3 no Blog, detalhada a seguir.

1.5.1 Questão 3 (Atividade 4)

Indique sua concordância ou discordância com as afirmações de A até C, justificando com um texto breve.

A) Einstein teve uma conduta científica adequada ao rejeitar o modelo de Friedmann, pois não havia nenhum experimento comprovando que ele fosse verdadeiro.							22 (61%)	
B) Einstein foi influenciado pela visão de mundo de sua época, sendo compreensível que ele evitasse aceitar a ideia do universo em expansão facilmente.							23 (56%)	
C) O caso de Einstein não foi uma exceção, pois cientistas famosos sempre relutam em aceitar novidades que contrariem as suas próprias teorias.							30 (90%)	
ABC	AB	AC	BC	A	B	C	X	Total
9	4	8	10	1	0	3	1	36
25%	11%	22%	28%	3%	0%	8%	3%	%

Tabela 12: Respostas à questão 3 no Blog.

A princípio, a alternativa A é uma postura empirista, próxima à categoria 1. As alternativas B e C são compatíveis com as categorias 2 e 3, sendo a alternativa C um pouco mais próxima de um relativismo moderado.

A alternativa A) buscava verificar se os alunos tinham uma visão próxima ao “empírico-indutivismo”. Por outro lado a alternativa B verificava se os alunos reconheciam o papel de hipóteses como orientadoras da investigação, que no caso de Einstein seria sua confiança nas observações astronômicas e modelos teóricos que indicavam que o universo é estático.

Sendo assim, seguindo a tendência de pesquisas que adotaram a chamada “visão consensual da natureza da ciência”, esperávamos que alunos com visões mais “adequadas” discordariam de A e concordariam com B.

Como mais alunos fizeram o oposto, concordando com A e discordando de B, confirmamos novamente o resultado destas pesquisas: a visão empírico-indutivista é muito comum e precisa ser problematizada na educação básica.

Muitos dos alunos que enfatizaram a importância da verificação experimental, concordando com A, também demonstraram uma grande admiração por Einstein, discordando que ele pudesse ser influenciado por fatores “irracionais”, “externos” ou não científicos. Alguns exemplos:

B) Discordo. Einstein não foi influenciado pela sua época, pois não ligava sobre o que os outros falavam, e sim seguia suas próprias conclusões (André Silva 1B).

A) Concordo. Eu concordo com o Einstein, porque sem nenhuma prova, sem nenhum experimento não comprovaria que o Friedmann estaria certo, e por isso que Einstein afirmou que o Friedmann não fez nenhum experimento para comprovar isso!! (Luana Sales 1C).

Sempre que se investiga concepções sobre “a natureza da ciência” a partir de um exemplo histórico específico, é importante lembrar que não se pode generalizar imediatamente para a ciência como um todo o que se argumenta para este estudo de caso.

No caso das discussões entre Einstein e Friedmann, as respostas dadas ao questionário foram fortemente influenciadas pela visão dos alunos sobre os modelos estático e em expansão. Alguns alunos preferem o universo estático, demonstrando um saudável estranhamento em relação aos conceitos não intuitivos da cosmologia relativística:

A) Concordo. Sim, por que Friedmann não levou em consideração a equação ($A_{g_{ik}}$) de Einstein por isso ele negou o artigo. Friedmann para tentar vencer Einstein e o país dele (cientificamente) tentou aprimorar a teoria mais não conseguiu

B) Discordo. Pra onde o universo ia expandir?

C) Concordo. Sim, por que foi ele que desenvolveu a teoria (Luiz Carlos Neto 1B)

Como destacamos acima, muitos defenderam Einstein com argumentos ingênuos, exagerando a autoridade do cientista alemão, visto quase como um mito, que não erra jamais:

A) Discordo. Porque se ele discordou do modelo de Friedmann é porque ele sabia que o modelo não estava correto.

B) Discordo porque na minha opinião ele aceitou a expansão facilmente.

C) Discordo porque Einstein tinha certeza de que as suas teorias eram corretas e a teoria da relatividade é a prova. Na minha opinião Einstein sempre teve certeza de tudo o que criou, de todas as suas teorias e de todas as suas criações. Por isso até os dias de hoje ele é considerado o maior gênio da humanidade. (Vivi C)

Outros, como a maioria da comunidade científica atualmente, concordaram com Friedmann, preferindo os modelos de universo em expansão:

A) Discordo. Pois matematicamente o modelo de Friedmann era correto

B) Discordo. Concordo q ele foi influenciado pela visão de mundo de sua época mas discordo q seja compreensível a não aceitação da teoria de Friedmann (Pá A)

Muitos pesquisaram na internet, ou em outras obras de divulgação científica, percebendo que nessas fontes o universo em expansão é sempre apresentado como correto, e o modelo de Einstein como um grande erro:

Eu concordo com Friedmann a teoria dele é a melhor, com melhores argumentos e estudo, acredito que realmente o universo esteja em constante movimento e em constante mudança e que os

cientistas não aceitam que “contradizem” suas teorias e por isso discordam de todos que vão contra (Ana B).

A) Discordo. Não foi adequada porque a dele também não foi comprovada.

B) Concordo. Sim, pois naquela época não tinha tanta evolução quanto tem hoje. A ciência nos supera a partir dos anos, ou seja, a evolução que a gente tem agora não era a evolução de antigamente. Isso vai evoluindo com o tempo (Dedê A).

Categoria 1

A princípio, apenas 1 aluno que concordou somente com a alternativa A se enquadraria na categoria 1. Porém notamos que sua resposta foi, na verdade, típica da categoria 3, mostrando desconfiança na ciência “tradicional”:

A) Concordo. Sim, por causa que Friedmann utilizava armas.

B) Discordo. Ele costumava dizer: 'O mundo se sustém sobre três coisas: a Torá, o culto e a prática Terra de Canaã jamais estivesse integralmente sob seu domínio.

C) Discordo. Teorias e métodos tradicionais não funcionam e estão em crise e um dos seus aspectos fundamentais, a Dualidade Onda partícula (Rafa B)

A maioria dos alunos que concordou com as alternativas A e C, discordando de B (ao todo 8) mostrou visões empírico-indutivistas, e uma ingênua admiração por Einstein. Porém, conforme já discutido notamos também que alguns deles poderiam também ser incluídos na categoria, combinando as categorias 1 e 3.

Temos também 13 alunos que concordaram tanto com a alternativa A quanto com a alternativa B, que a princípio foram pensadas como contraditórias. Foi difícil classificar suas posições. Alguns mostram tendência maior à categoria 1, e ao empírico-indutivismo:

A) Concordo. Pois feito o experimento você tem mais chances de convencer a pessoa q você está certo.

B) Concordo. Einstein estava certo com sua teoria da relatividade pois estudos recentes comprovam isso.

C) Concordo. Mas Einstein não concordou com a ideia q ele poderia estar errado só depois ele assumiu q poderia estar errado e mesmo assim ele disse que a ideia do outro cientista dificilmente tem algum sentido físico. (Mavi A)

A) Concordo. Sim, pois como não havia experimento não ia ter como provar que aquilo realmente é sim ou não verdadeiro.

B) Concordo em parte, Einstein não foi totalmente influenciado, ele estudava pra provar a sua teoria. Einstein sempre estudou sua ciência e provou que ela era “verdadeira”.

C) Discordo. Muitos tentam achar meios de “justificar” que sua teoria é real (Celma A).

Outros não mostraram nem traços de empírico-indutivismo, nem de relativismo, o que os coloca próximos à categoria 2. Nestes exemplos, vemos alguns que aceitam a expansão do universo pela autoridade da comunidade científica atual:

A) Concordo. Sim, por que segundo Einstein matematicamente a teoria de Friedmann estava certa, mas fisicamente não tinha sentido algum,

B) Concordo "Sim ele foi influenciado pela visão do mundo da quela época, por que para eles o mundo era fixo, e a teoria de expansão só foi criada após a teoria de Einstein. Segundo o site da veja: “Até o início do século XX, filósofos e astrônomos acreditavam que o universo era fixo, sendo apenas um pano de fundo, onde estrelas, planetas e outros corpos celestes se moviam. Este pensamento só começou a mudar após a Teoria da Relatividade. Alguns estudos concluíram que uma das consequências da teoria de Einstein era de que o universo não poderia ser estático, mas estava em constante movimento. Esta expansão do universo implica o afastamento progressivo de cada galáxia em relação a todas as demais. De acordo com a Teoria da Relatividade, é a geometria do espaço o que determina o tipo de expansão. Ou seja, a teoria prediz com que velocidade as galáxias estão se distanciando uma das outras e, com isso, a velocidade com que o universo deve estar se expandindo.”¹²³

C) Concordo. Quando eles sentiam contrariados, eles obviamente se defendiam e relutavam contra a nova teoria, pois se essa nova teoria comprovasse mesmo que ele estava errado para eles isso era uma perda imensa A Alternativa C (O caso de Einstein não foi uma exceção, pois cientistas famosos sempre relutam em aceitar novidades que contrariem as suas próprias teorias.) Isso acontecia sempre, pois os cientistas não gostavam de ser contrariados, principalmente se fosse por um cientista de outra pátria “inimiga” (Bru A)

Categoria 2

Houve 10 alunos que discordaram de A, concordando com B e C. Três deles se destacaram por sua participação efetiva durante o jogo e concordaram com as afirmações B e C, mostrando uma visão de que a ciência sofre influências sociais, mas sem necessariamente perder a confiança na ciência por isso.

¹²³ <http://veja.abril.com.br/noticia/ciencia/einstein-nao-estava-errado-sobre-a-expansao-do-universo>, acesso em maio de 2013.

A visão de Lili e Gagá, já foi apresentada na seção 4.4.2, por mencionar explicitamente a tensão entre visões prescritivas e descritivas da ciência. Lili considerou inadequada a atitude de Einstein ao rejeitar o modelo de Friedmann, mas acredita que essa prática seja comum entre cientistas: “No plano pratico da ciência como os fatos são, ou seja, muitas vezes os cientistas por orgulho relutam em aceitar algo que os contrarie ou teorias que contrariem as suas” (Lili A). Já Gagá considerou compreensível e saudável que cientistas sejam inicialmente cautelosos em relação a propostas inovadoras que contrariem suas teorias.

Juju também desconfiou que o orgulho intelectual de Einstein foi marcante em sua relação com Friedmann. Porém não demonstrou indícios de relativismo ingênuo, nem desprezo pela ciência:

A) Discordo plenamente. Einstein rejeitou o modelo de Friedmann justamente porque estava indo contra o modelo que ele mesmo tinha suposto, e obviamente, ele não iria reconhecer que estava errado, não ele, EINSTEIN.

B) Concordo, pois além dos estudos realizados por ele mesmo, que provavam que o universo era estático, as estrelas se mantinham no lugar após se passaram milhares de anos, permaneciam no mesmo lugar, ou seja, nada no universo se mexia.

C) Concordo. Claro, nada mais natural do que defender o seu trabalho, seu estudo. Se Einstein fez um estudo dizendo que o universo é estático e o mesmo foi reconhecido como conhecimento pela comunidade, então nada mais natural do que Einstein rejeitar o modelo de qualquer um que vá contra seu trabalho. Sem falar em seu nome por ai afora, pegaria muito mal o grande Einstein ter errado algo, pisado em falso, cometido um deslize e esse deslize ser apontado por outro alemão.

Todos os cientistas famosos relutam em aceitar novidades que contrariem suas próprias teorias, pois, para desenvolverem tais teorias, foi necessário tempo, dedicação, estudo e pesquisa, e obviamente, eles não jogariam tudo para os céus aceitando que sua teoria está errada e ponto. (Juju C)

Também foi interessante notar que muitos destes alunos, que discordaram de A e concordaram com as afirmações B e C, mostrando visões mais próximas do “construtivismo social” do que do “empírico-indutivismo”, não viam erros cometidos pelos cientistas como algo negativo:

A) Concordo. Ele só rejeitou porque, foi um erro científico e ele errou ao rejeitar, com o tempo viu que Friedmann estava certo.

B) Concordo. Porque, Einstein achou que sua teoria estava certa, então começou a discordar das teorias do universo. Ele acabou citando uma coisa errada sobre a teoria de Friedmann, e os outros acharam errado da parte dele. Então ele verificou e viu que tinha possibilidade dele estar errado.

C) Concordo. Pois acho que Einstein não foi o único a errar nem a discordar das próprias teorias ou das teorias do próximo, com o tempo todos eles veem que erram (Rô A).

Os já citados Gagá, Juju e Lili não mostraram indícios de relativismo, sendo portanto enquadrados na categoria 2. O mesmo se pode dizer desta resposta:

A) Discordo. Porque nem o de Einstein foi comprovado na prática então se for assim nenhum dos dois estariam corretos.

B) Concordo. Sim, pois naquela época o pensamento era outro, o que agora o pensamento é bem diferente.

C) Concordo. Todos os cientistas querem comprovar sua teoria, e claro que se aparecer outro melhor a dele vai ser jogada de lado. Ninguém quer suas teorias serem contrariadas. (Bru B)

Já este aluno, mesmo discordando de A, mostrou uma justificativa mais próxima à categoria 1:

A) Discordo. Não foi adequada porque a dele também não foi comprovada.

B) Concordo. Sim, pois naquela época não tinha tanta evolução quanto tem hoje. A ciência nos supera a partir dos anos, ou seja, a evolução que a gente tem agora não era a evolução de antigamente. Isso vai evoluindo com o tempo.

C) Concordo. Claro todos querem ser reconhecidos e o jeito é tentar ser sempre o melhor. (Dedê A)

Categoria 3

A alternativa C buscava diagnosticar essa visão de ciência, segundo a qual cientistas seriam motivados puramente por vaidades intelectuais, sem se importar com a racionalidade de argumentos ou adequação empírica de suas teorias.

A maioria dos alunos concordou com a afirmação C. Alguns, mostraram um grau preocupante de relativismo:

C) Concordo. Pois todo cientista defende sua teoria até o fim mesmo que haja chances dela estar errada (Papá A)

C) Concordo. Na maioria das vezes isso ocorre pelo auto índice de patriotismo, de modo que o cientista acaba não se importando somente em procurar a verdade independente de com quem ela esteja e sim que a verdade esteja sob seu país. (Gabi A)

A) Discordo. Ele discordou porque não queria que as teorias de Friedmann superasse a dele.

B) Discordo. Discordo, porque acho que o universo pode ter uma expansão.

C) Concordo. Nem sempre os cientistas aceitam as teorias de outros cientistas (Vivi B)

Mais da metade dos alunos concordou tanto com a alternativa A, quanto com a alternativa C, combinando visões “empírico-indutivistas” e “relativistas”, que a princípio parecem incompatíveis.

Contudo, nos parece que essa dicotomia aparente, muito presente na pesquisa em ensino de ciências, pode ser criada por nós, pesquisadores em ensino. Para os alunos, pode ser natural que a ciência seja confiável, embasada por experimentos rigorosos, mas que na prática, os cientistas, como seres humanos, sejam movidos pela vontade de fama e reconhecimento. Essas características foram condenadas pela ideologia do “ethos da ciência” estudado por Robert Merton, mas como discutimos os cientistas estão sempre lidando com a tensão entre os valores públicos da busca descompromissada pela verdade, e sua vontade pessoal de ver reconhecidos os esforços de uma vida inteira de pesquisas.

C) Concordo. Os cientistas, depois que criam suas teorias passam a acreditar nelas e duvidam de tudo e de todos que especulam sobre elas (Qué A).

C) Concordo. Sim pois eles passavam dias meses e até anos para formar uma tese ai vinha outro cientista e provava ao contrário (Bruce A).

C) Concordo. Claro todos querem ser reconhecidos e o jeito é tentar ser sempre o melhor. (Dedê A)

C) Porque investiram no cientista, ele estudou, criou várias teorias e fez experiências, para depois vir outro cientista provando que tudo oque ele estudou estava errado. A ciência consiste em criações de teorias e experiências, que serão ou não aceitas, e com o decorrer dos anos elas possam ser aprimoradas ou superadas (Cacá C).

C) Concordo. Quando eles sentiam contrariados, eles obviamente se defendiam e relutavam contra a nova teoria, pois se essa nova teoria comprovasse mesmo que ele estava errado para eles isso era uma perda imensa (Bru A).

1.6 Atividade 5 – Avaliação da Primeira Fase

Nas atividades 3 e 4 os alunos investigaram sobre o período entre 1914 e 1924, sendo auxiliados pelo professor no processo de organização das informações pesquisadas. Na atividade 5, que marca o fim da 1ª fase do jogo, os grupos de alunos avaliaram as contribuições realizadas pelos diversos cientistas apresentados.

Na seção 1.6.1 apresentamos uma classificação dos argumentos segundo as categorias 1: Internalismo e 2: Externalismo. Notamos que entre os argumentos classificados como “externalistas”, há alguns que combinam aspectos internos e externos, debatendo valores da comunidade científica. Em seguida, na seção 1.6.2 descrevemos com mais detalhes a dinâmica dos debates em cada classe.

1.6.1 Detalhamento dos argumentos

Nesta seção, classificamos todos os argumentos das três classes, separando-os pelo cientista escolhido (contra ou a favor).

Categoria	Quantidade de argumentos	Número de identificação
1) Internalistas	19	
A) Modelo de universo estático	8	1, 5, 6 (2x), 8, 17, 20, 21
B) Modelo de universo em expansão	8	13 (x5), 4 (x2), 19
C) Valorizando observações astronômicas para testar modelos	3	2, 10, 17
2. Externalistas	15	
A) Relação entre ciência e guerra ou pesquisa militar.	2	3 (2x)
B) Relação entre ciência e economia	1	14
C) Outros aspectos contextuais	0	0
D) Debate sobre valores da comunidade científica	10	9 (x3); 12, 13(x6), 7; 11

Tabela 13: Classificação dos argumentos, Atividade 5.

O número de identificação se refere aos argumentos detalhados a seguir. A contagem do número de argumentos foi feita levando em conta o número de vezes que cada argumento apareceu em todas as salas, já que muitos apareceram mais de uma vez.

De Sitter

A favor:

1. Foi bem além de Einstein. Einstein ainda estava desenvolvendo a relatividade geral. De Sitter descobriu algo novo: o “efeito de Sitter”: as partículas se espalhariam com uma velocidade proporcional à distância. Descobriu que existe gás e explosões interestelares nas galáxias_(Preto A)
Contra Nenhum.

Eddington

A favor

2. O Arthur se interessou em pesquisar na cosmologia para tentar buscar observações mais corretas sobre modelos de Einstein e de Sitter, nisso eles se aprofundaram mais no assunto, tentaram achar coisas mais corretas, buscar coisas melhores sobre o universo (Laranja B, Branco C)

3. Eddington era pacifista e testou teorias de Einstein, mesmo ele sendo de um país oposto. Ou seja, ele não era nacionalista, não queria só defender seu país ele queria saber da teoria (Amarelo, 1º A; Vermelho 1º A).

Contra

4. Era só experimental, não fez uma teoria própria (Preto B; Preto A)

5. Não devemos levar em conta pacifismo ou guerras, e sim o que fizeram pela cosmologia (Marrom 1º A)

Einstein

A favor

6. Criou um modelo de universo estático e inaugurou uma nova área de pesquisa (Amarelo B, Azul 1º A) Muito do que os outros cientistas estudaram é fruto do que ele tinha começado (Azul 1º A)

7. Ficou famoso, logo deve ter tido argumentos melhores que Friedmann (Laranja B)

8. Pesquisa tinha base matemática, era bem estruturada propondo uma teoria do universo e indo contra argumentos de Newton, uma teoria bem considerada por mais de 200 anos. Quis explicar o universo real com seus cálculos matemáticos, ao contrário do Friedmann (Vermelho, 1º C).

9. Reconheceu seu erro em relação ao modelo de Friedmann, mas salientou que ele não tinha sentido físico (Amarelo 1º C, Preto 1º C) É importante reconhecer um erro porque isso ajuda ele a entender melhor sua própria teoria. Alguém de fora ajudou ele a ver erros que sozinho não conseguiu (Vermelho 1º C).

10. Universo parece estático, olhando constelações (Vitor)

Contra

Ele mesmo admitiu que estava errado, e Friedmann certo (Preto B) (contando como a favor de Friedmann)

11. Segundo Umberto Bartocci ele fez plágio da equação $E=mc^2$, criada primeiro por um cientista italiano (Amarelo, 1º A)

12. Ele reconheceu o erro, mas e daí? Que isso ajuda na cosmologia? Não é querendo ser arrogante, mas ele é esperto. Reconhecer erro não ajuda em nada a pesquisa (Marrom C)

Friedmann

A favor

13. Desbancou Einstein, mostrando que ele estava matematicamente errado. Mesmo sendo desconhecido, quis ir contra o Einstein, que era famoso. Teve coragem de desafiá-lo propondo universo

em expansão (Marrom B; Vermelho B; Preto B; Marrom C, Laranja C). Motivou jovens a questionar as autoridades, como Einstein, e descobrir coisas novas. Mostrou que as pessoas podem duvidar das coisas estabelecidas (Azul B, Marrom 1º C).

14. Morava em um país pobre, não teve as mesmas oportunidades que o Einstein. Não tinha tecnologia disponível para testar seus modelos. O Friedmann não tinha tecnologia, e tinha muito talento, fez uma nova teoria (Azul B).

Contra

15. Universo em expansão é matematicamente correto, mas não tem sentido físico (Vermelho C)

16. Não ficou famoso como o Einstein, então seus argumentos não devem ser tão bons e também não pode motivar tantas pessoas como o Einstein (Laranja B)

17. Não tinha observações pra testar sua teoria (Preto B)

Slipher

A favor

18. Desvendou o Efeito de Sitter (Preto A) [Ele investigou o redshift das nebulosas, sem ligá-lo à cosmologia. Quem relacionou o redshift ao modelo de W. de Sitter foi o próprio de Sitter]. Não fez uma teoria própria, mas descobriu algo novo (Preto A)

Contra

19. Apesar de ter os melhores telescópios, não fez uma teoria. Só testou a do de Sitter (Preto B) [na verdade ele não testou nada, o de Sitter que usou as observações dele pra investigar sua teoria]

20. Ele só testou o Efeito de Sitter por que o Eddington divulgou a teoria dele no livro (Vermelho A) [Eddington foi só um divulgador, mas o de Sitter já tinha antes relacionado o modelo dele às observações do Slipher]

Nernst

A favor

21. Ele criou sem a teoria do Einstein, um modelo de universo estático. Queria evitar a morte térmica do universo pelo excesso de entropia

Contra Nenhum.

1.6.2 Debates em cada classe

1º A

GRUPO	VOTO Atividade 3	VOTO Atividade 5	Prêmio
Amarelo	Inglaterra	Eddington	Prata
Azul	Alemanha	Einstein	Ouro
Laranja	EUA	Einstein	Ouro
Marrom	Alemanha	Nernst	Bronze
Preto	Alemanha	Slipher	
Vermelho	França	Eddington	Prata

Tabela 14: Votos 1º A em cada país e cientista, atividade 3 e 5

O grupo Azul argumentou que o merecedor do prêmio da rodada seria Einstein, porque “além de ele criar a teoria da relatividade e feito estudo do universo estático, muito do que os outros cientistas estudaram é fruto do que ele tinha começado” (Grupo Azul, Atividade 5, 23: 15).

O grupo Amarelo novamente pesquisou bastante, se preparando para a disputa. Encontraram que segundo o historiador Umberto Bartocci, Einstein fez plágio da equação $E=mc^2$, que teria sido criada primeiro por um cientista amador italiano e apresentado esta equação 2 anos antes de Einstein.

O professor explicou que as evidências apresentadas pelo Grupo Amarelo não estavam nos cartões preparados por nós, e que relatividade restrita e geral são distintas. “A relatividade restrita não tem muita relação com o universo. Já a relatividade geral, é base do foi usado por ele para defender o universo estático. Ele fez outros trabalhos, por exemplo, sobre eletromagnetismo, que não tem nada a ver com o universo. A gente precisa considerar informações sobre o universo.”

Além disso, o professor mostrou suspeita sobre a acusação de plágio:

A gente precisa olhar o dado, e ver se isso de fato corresponde à verdade. O trabalho que o cara publicou em 1985 cria uma ideia. Ele dá argumentos para dizer que Einstein plagiou. Significa que ele plagiou? Pode ser que sim, pode ser que não. O cara está querendo defender que sim. Qual seria o contraponto? A gente precisaria dar voz a esses dois. Mas isso faz parte do argumento deles contra o Einstein. Eles disseram que essa pesquisa mostrou, ou tentou mostrar, nunca dá pra dizer assim, com certeza, essas coisas, principalmente em história, que o Einstein havia plagiado (Atividade 5, 1A, 26:50).

Os grupos Amarelo e Vermelho votaram em Arthur Eddington. Na atividade 3 estes dois grupos apresentaram argumentos “externalistas” relacionando religião e ciência. Na atividade 5, defenderam o pacifista e religioso Arthur Eddington:

Eddington era pacifista e testou teorias de Einstein, mesmo ele sendo de um país oposto. Ou seja,

ele não era nacionalista, não queria só defender seu país ele queria saber da teoria (Vermelho A, 30:40)

Ele era pacifista, foi defender a teoria de Einstein para comprovar se era certo ou não e isso era bom pra teoria de todos. Tinha interesse em cosmologia. (Amarelo A, 32:00)

Os demais grupos apresentaram argumentos puramente internalistas: o grupo Preto defendeu Slipher por “desvendar” o Efeito de Sitter, e o grupo Marrom votou em Nernst por seus estudos sobre a “morte térmica do universo”. Estes argumentos não geraram quaisquer contra-argumentos, mas também não chamaram a atenção do Júri.

Na visão dos jurados, a disputa se polarizou entre Eddington (indicado pelos grupos Amarelo e Vermelho) e Einstein (indicado pelos grupos Azul e Laranja). Eles decidiram dar o prêmio Ouro para o grupo Azul, Prata para os grupos Amarelo e Vermelho e Bronze para o grupo Marrom.

O grupo Laranja também votou em Einstein, mas como não apresentou nenhum argumento e demonstraram não ter interesse em participar da aula, o professor criticou sua postura e atribuiu uma pontuação baixa ao grupo nesta fase, mesmo Einstein tendo sido escolhido para o prêmio Ouro.

1º B

GRUPO	VOTO Atividade 3	VOTO Atividade 5	Prêmio
Amarelo	EUA	Einstein	Bronze
Azul	URSS	Friedmann	Prata
Laranja	EUA	Eddington	Ouro
Marrom	Alemanha > EUA	Friedmann	Prata
Preto	URSS	Friedmann	Prata
Vermelho	França	Friedmann	Prata

Tabela 15: Votos 1º B em cada país e cientista, atividade 3 e 5

Nesta turma quatro grupos defenderam Friedmann:

“Ele quis ir contra o Einstein, mesmo ele sendo desconhecido. Eu gostei disso por que ele foi contra uma coisa que todo mundo aceitava. Provou que ele tava errado Mesmo que sendo só matematicamente, ele conseguiu provar” (Marrom B, 25:20).

Friedmann teve a coragem de desafiar Einstein. Estava certo ao dizer que o universo não estava estático (Vermelho B).

Morava em um país pobre, não teve as mesmas oportunidades que o Einstein. Não tinha tecnologia disponível para testar seus modelos. O Friedmann não tinha tecnologia, e tinha muito talento, fez uma nova teoria. “O cientista pra ser reconhecido tem que ter uma teoria boa. Ele comprovou que a dele era boa, por que até o Einstein concordou que a dele tava certa. Risos. Ele deveria ganhar por

que meu, ele tem que incentivar as pessoas a descobrir mais coisas. (Azul B)

Uma aluna que tinha prestado pouca atenção nas aulas anteriores disse “essa aula tá ficando interessante” (Atividade 5 38:00). Esse argumento foi bastante valorizado pelo professor, e pelos demais alunos: “isso eu acho ele superlegal. O fato de o Friedmann ter ido contra o Einstein não só mostra essa questão teórica, mas mostra que as pessoas podem duvidar das coisas estabelecidas”.

Os contra-argumentos vieram dos grupos Amarelo e Laranja, os únicos que não votaram em Friedmann. O grupo Amarelo argumentou que Friedmann “fez uma parte só da teoria nova, quem fez a teoria foi o Einstein.” Por isso votaram nele, que “ele criou o modelo estático e também por que ele inaugurou uma nova área de pesquisa”.

O professor contra-argumentou:

O buraco é mais embaixo, olha só. O Friedmann não fez só uma correção, abalou um ponto central da teoria do Einstein. Ele falou que o universo não estava parado, que o universo está em movimento., tem um significado físico profundo, é toda uma visão de mundo.

Outro argumento contra Friedmann veio do grupo Laranja. Ele foi esboçado pela primeira vez em um diálogo com o Professor:

Antonio: O Friedmann tava em um país pobre e ainda sim ele contestou a teoria do Einstein.

Vitor: Se estou entendendo, seu argumento é a favor do Friedmann.

Antonio: não é contra! Porque o Friedmann não foi reconhecido.

Vitor: Por que será que um cientista fica conhecido?

Antonio: Pelos argumentos que ele fez.

Vitor: faz sentido, hoje conhecemos Einstein, mas não Friedmann.

Grupo Amarelo: Mas é que Einstein também fez outras coisas, não só essa teoria.

Vitor: é verdade.

Posteriormente, o grupo registou o argumento por escrito: Friedmann não ficou famoso como Einstein, então “seus argumentos não devem ser tão bons e também não pode motivar tantas pessoas como o Einstein”(Laranja B)

Finalmente, um fator que pode ter sido importante para a decisão do Júri foi que um aluno do grupo preto caiu em contradição, dando um argumento contra Friedmann, o voto de seu grupo:

Grupo Preto: O Eddington não fez sua própria teoria, só trabalhou na dos outros.

Vitor: E o Friedmann?

Aluno: Ah também. [Alunos riem, parece que ele foi pego em contradição.]

Vitor: Não, mas o Friedmann fez uma teoria dele. E aí o mais importante pra vocês é fazer a própria teoria. Lembra que eles vieram para o Ceará, o Eddington ajudou nisso.

Ao longo dos debates na aula os bons argumentos a favor de Friedmann receberam respostas dos grupos Laranja e Amarelo. Porém, por um descuido dos demais grupos, o grupo Laranja argumentou a favor de Eddington, e ninguém apresentou nenhum contra-argumento:

O Arthur se interessou em pesquisar na cosmologia para tentar buscar observações mais corretas sobre modelos de Einstein e de Sitter, nisso eles se aprofundaram mais no assunto, tentaram achar coisas mais corretas, buscar coisas melhores sobre o universo (Laranja B)

Isso parece ter sido determinante na decisão do Júri, que deu o prêmio Ouro para o grupo Laranja, que votou em Eddington; Prata para todos os quatro grupos que votaram em Friedmann e Bronze para o grupo Amarelo, que votou em Einstein..

1º C

GRUPO	VOTO Atividade 3	VOTO Atividade 5	Prêmio
Amarelo	EUA	Einstein	Prata
Branco	França	Eddington	Bronze
Laranja	EUA	Friedmann	Ouro
Marrom	EUA	Friedmann	Ouro
Preto	França	Einstein	Prata
Vermelho	Inglaterra	Einstein	Prata

Tabela 16: Votos 1º C em cada país e cientista, atividade 3 e 5

Nessa sala o debate se polarizou entre Einstein e Friedmann. O grupo Vermelho liderou a defesa de Einstein:

26: 20 Vermelho: pesquisa tinha base matemática, era bem estruturada propondo uma teoria do universo e indo contra argumentos de Newton, uma teoria bem considerada por mais de 200 anos. Quis explicar o universo real com seus cálculos matemáticos, ao contrário do Friedmann.

Os grupos Amarelo e Preto os apoiaram, valorizando o reconhecimento de Einstein de que estava errado ao criticar a solução matemática de Friedmann, mas que esta não teria sentido físico.

Os grupos Marrom e Laranja, defensores de Friedmann, discordaram que devemos dar prêmios para cientistas só por que reconheceram seu erro. Além disso, valorizaram a influência de Friedmann na URSS:

Marrom: Ao bater de frente com o Einstein Friedmann inspirou muitos jovens a estudarem cosmologia, ampliando ela. Mesmo ele tendo errado seus cálculos, ele, pelo menos, deu uma teoria.

Pra ele dar uma teoria contra o Einstein ele estudou muito o que ele fez, ele conhece muito do assunto e pode ajudar muita gente nisso.

Professor: é bacana contestar um cara famoso.

Marrom: Muita gente podia ter medo de encarar o Einstein, ele foi corajoso.

Foi extremamente interessante, que nesse momento um aluno do Grupo Marrom interrompeu o debate:

Jair: pera aí professor, mas o universo é estático ou não é?

Vitor: essa pergunta não tem resposta, é exatamente isso que está sendo discutido.

Jair, mas assim fora da aula eu queria saber (Atividade 5, 1C, 36')

Aparentemente o aluno não se contentou com a resposta do professor, que insistiu em não dizer no que acredita. Logo o debate foi direcionado para a defesa do grupo Branco, que votou em Eddington, por que ele foi “um dos primeiros a ajudar o Einstein a provar sua teoria.”

Este foi exatamente o mesmo argumento que deu a vitória ao grupo Laranja no B, que também não recebeu nenhuma crítica dos demais grupos. Porém neste caso, ao contrário do que aconteceu com o grupo Laranja, o Júri também não se impressionou com este argumento, o que rendeu um prêmio Bronze de consolação ao grupo Branco. O Ouro ficou com os defensores de Friedmann e a Prata com os defensores de Einstein.

1.7 Atividade 6 – Fase 2 do Jogo Cosmic

A dinâmica desta atividade foi idêntica à da atividade 3, só que com novos cartões, referentes ao período entre 1925 a 1931. Os alunos começaram a entender melhor a dinâmica do jogo, conseguindo criar debates mais ricos a partir da problematização dos argumentos dos outros grupos.

País	EUA	Alemanha	França	Inglaterra	URSS	Neutros
At.3	7	3	3	3	2	0
At. 6	5	2	2	5	3	1
Grupos	Marrom e Preto A; Amarelo, Laranja e Vermelho C	Preto B, Branco C	Marrom C Preto C	Amarelo e Vermelho A, Amarelo, Laranja e Vermelho B	Azul A, Marrom e Azul B,	Laranja A

Tabela 17: Votos em cada país, atividade 3 e 6

Como na primeira fase, poucos grupos se interessaram por investigar os países Neutros. Contudo, graças ao esforço do professor em chamar a atenção dos alunos para o interesse de vários cientistas pelo Efeito de Sitter, os Neutros receberam seu primeiro voto. A URSS, graças ao destaque de Friedmann na primeira fase, foi bastante visitada, e tornou-se o segundo país com maior número de

votos. Isso se deu por que as escolhas ficaram bastante equilibradas, com um número ligeiramente maior de votos para EUA e Inglaterra.

Na tabela abaixo categorizamos os argumentos apresentados pelos grupos na atividade 6.

1) Internalistas	10	
A) Valorizando modelos teóricos de universo em expansão	6	Friedmann (Azul A), Lemaître (Amarelo A, Vermelho A), Eddington (Vermelho B, Amarelo B, Laranja B), Borel (Marrom C) x Vermelho C
B) Valorizando observações astronômicas para testar modelos	4	Hubble (Preto A, Amarelo C, Vermelho C e Laranja C)
2. Externalistas	11	
A) Relação entre ciência e guerra ou pesquisa militar.	2	Preto X Laranja B,
B) Relação entre ciência e economia	3	Azul A, Vermelho A, Azul B, Marrom B
C) Outros aspectos contextuais.	3	Lemaître – religião – França (Vermelho A), mulheres na ciência – Inglaterra (Amarelo B), contra Inglaterra, religião, Jeans (Azul B)
D) Sobre valores da comunidade científica	3	Erros de Einstein (Preto contra Vermelho B), Disputas de prioridade entre Lemaître e Hubble: (Preto B, Branco C contra Preto C)

Tabela 18: Classificação dos argumentos, atividade 6

1.7.1 Internalistas

Não houve mais defesas do modelo de universo estático. Os alunos aceitaram com naturalidade a proposta de Eddington, Lemaître e Friedmann do universo em expansão.

A) Valorizando a defesa teórica de um universo em expansão

O grupo Marrom C votou na França, motivado por uma leitura pouco cuidadosa de um cartão sobre Émile Borel, que segundo eles “estudava a possibilidade de haver outras galáxias além da nossa.” Na verdade, ele criticou a pretensão dos cosmólogos em entender o universo como um todo:

“Pode parecer um pouco precipitado tirar conclusões válidas para todo o universo a partir do que se pode ver apenas no pequeno canto a que estamos confinados. Quem sabe se todo o universo visível não é como uma gota de água na superfície da terra? Habitantes dessa gota d’água, que são tão pequenos em relação a ela quanto nós somos em relação à Via Láctea, não poderiam imaginar que ao lado da gota de água pode haver um pedaço de ferro ou um tecido vivo, em que as propriedades da matéria são totalmente diferentes ¹²⁴

¹²⁴Émile Borel, matemático francês. Trecho do livro "Espaço e Tempo" (1926), 227.

Eles valorizaram o que viam como um interesse por estudos teóricos sobre cosmologia na França, em oposição ao argumento dos grupos que votaram nos EUA, desvalorizando a abordagem empirista e cautelosa de cientistas estadunidenses, como Slipher e Hubble. Isso gerou um interessante debate com o grupo Vermelho C:

Marrom: O fato de eles [Hubble e outros astrônomos em Mount Wilson] terem precisão nas medidas não é forte suficiente para votarmos neles.

Professor: Por quê?

Marrom: Eles pararam de estudar, para focar nas medidas.

Vermelho: As medidas fazem parte do estudo. Quanto mais preciso o que se mede, melhor para o estudo.

Marrom: quem disse que a França não tinha a mesma precisão? Estudar o que é nebulosa pode ter atrasado, dispersando os cientistas.

Vermelho: Atrasou o que? [Falas exaltadas de ambos os lados, discussão intensa]

Professor: Pera aí galera. Ter medidas precisas não ajuda a entender o que são as nebulosas.

Marrom: não devia ser o foco, poderia ser para o futuro. EUA perderam o foco, investindo em medidas de distâncias.

Vermelho: Se tem a relação com cosmologia, em que ia atrasar? O Hubble provou relação linear entre distância e redshift das nebulosas.

O grupo Azul A votou na URSS porque “Lá tem uma mulher, a Anna Shektar, que era aluna de Friedmann, começou a estudar relatividade e cosmologia.” Por isso, a solução de universo em expansão encontrada por Friedmann parecia promissora para este grupo, que aceitou a expansão do universo.

Os grupos Amarelo A, Amarelo B, Vermelho B e Laranja B votaram na Inglaterra por que Eddington e Lemaître chegaram à conclusão de que o universo está em expansão. O grupo Amarelo A também valorizou os ingleses porque James Jeans estudava galáxias, mantendo colaboração com astrônomos nos EUA.

Vermelho: Descobriram que o universo estava expandindo e investiam em cosmologia.

Laranja: Eddington acreditou que Lemaître estava certo, ao contrário de Einstein. [Mantiveram voto em Eddington que lhes deu Ouro na fase anterior]

Amarelo: Eddington e Lemaître concluíram que universo estava em expansão e Eddington disse que começo era repugnante para ele.

O professor valorizou estes argumentos, adicionando informações, que foram apresentadas com maior detalhe nas atividades 7 e 8:

O Lemaître foi mais do que o Friedmann, não só disse que o universo podia estar em expansão, ele disse que o universo *está* em expansão. E também disse que o universo teve um começo, o que era muito conveniente para um padre. (...) Já para o Eddington a ideia de um começo era repugnante, ele não digeriria bem essa ideia. (Aula 6b, 1B, 29').

Por mais que o padre seja belga, como no jogo as pistas da Inglaterra tratavam da relação entre Lemaître e Eddington, alguns alunos decidiram votar na Inglaterra por causa destas pistas.

B) Valorizando observações astronômicas para testar modelos

Os Grupos Preto A, Amarelo C, Vermelho C e Laranja C votaram nos EUA, motivados pelos cartões que descreveram os trabalhos de Robertson, Tolman e principalmente Edwin Hubble, que tinha “bons instrumentos para estudar galáxias, e tinha métodos bem precisos e eficazes para determinar distâncias das galáxias.” (Vermelho C, Atividade 6). O grupo Preto A também valorizou que nos EUA Hubble estava continuando o projeto de Slipher, já que eles votaram em Slipher na atividade 5.

Os grupos Amarelo C e Laranja C demonstraram grande dificuldade de leitura e interpretação de textos, considerando muito difíceis os textos dos cartões sobre os EUA. Por isso, consideramos que em uma nova aplicação da sequência, vale a pena o Professor simplificar o texto dos cartões, se achar que ele está complicado demais para seus alunos. De qualquer forma, as atividades 7 e 8 contribuíram para um melhor entendimento destes conceitos.

1.7.2 Externalistas

A) Relação entre ciência e guerra ou pesquisa militar.

O Grupo Preto B, formado apenas por rapazes, votou na Alemanha, que “teve maior quantidade de prêmios Nobel. Como perdeu a guerra, investiu muito em tecnologia. Não podia investir em armas, segundo o tratado de paz, por isso deve desenvolver a ciência.”

Esse argumento gerou um debate entre os grupos Preto e Laranja:

Preto: “Tá chegando o nazismo, tá investindo muito em arma e tecnologia pensando na Guerra.”

Professor: Por que desenvolver tecnologia merece nosso dinheiro?

Preto: A tecnologia ajuda a ciência.

Professor: A tecnologia impulsiona a ciência ou contrário?

Laranja: Mas Professor, essa tecnologia é mais de guerra.

Professor: Grupo Laranja, por que quando tecnologia é só pra guerra não merece nosso dinheiro?

Preto: Mas em 1931 ainda não tinha começado a Guerra (Atividade 6b, 1B, 14')

Não era o objetivo desta sequência de ensino e aprendizagem debater as complexas relações entre tecnologia, ciência e sociedade. De qualquer forma é bem interessante que estes debates suscitaram, espontaneamente, questões interessantes como esta.

No anexo, descrevemos os rumos que a discussão levou depois que os grupos Vermelho e Amarelo se juntaram ao Laranja criticando o argumento do grupo Preto. Isso levou o debate da classe de um externalismo relativamente mais ingênuo, com argumentos bem semelhantes aos que apareceram na Atividade 3, para um debate mais rico, misturando elementos da cosmologia com aspectos contextuais.

B) Relação entre ciência e economia

Novamente vários grupos votaram em países seja por que eles estavam se desenvolvendo economicamente ou por que estavam em crise financeira. O grupo Preto B defendeu a Alemanha por seu desenvolvimento econômico, conforme discutimos acima. Os grupos Azul B e Azul A votaram na URSS pelo mesmo motivo: “A URSS além de estar desenvolvendo economicamente e industrialmente, também precisa se desenvolver na ciência” (Azul A, Atividade 6, 59').

Já o grupo Vermelho A argumentou a favor da Inglaterra por que após a crise de 1929, assim como os demais países capitalistas na Europa Ocidental e EUA, estava “quebrada economicamente, precisa de um incentivo.” (Vermelho A, Atividade 6, 63').

O grupo Laranja B, acreditava que o socialismo na URSS era um problema que dificultava o crescimento econômico. Um dos alunos argumentou que “a revolução socialista pode ser um novo atentado terrorista.”

O Grupo Marrom B escolheu seu voto baseado na leitura do cartão sobre Trofim Lysenko. Apesar de não ter relação alguma com a cosmologia, consideramos o caso Lysenko um episódio com grande potencial pedagógico para gerar debates muito interessantes, que infelizmente na nossa sequência não puderam ser aprofundados. O cartão continha o seguinte texto:

Lysenko ataca biólogos teóricos. Com a coletivização forçada das fazendas muitos camponeses passavam fome, por terem que entregar sua produção para o Estado. Nesse ambiente hostil, o agricultor Trofim Lysenko acusou os biólogos teóricos que estudavam a genética das drosófilas de serem “amantes das moscas e odiadores das pessoas”. Ele se engajou em experimentos práticos para melhorar a produtividade agrícola e convencer os camponeses a trabalhar nas fazendas coletivas.

O Grupo Marrom B ignorou o ataque de Lysenko, valorizando sua proposta de ciência aplicada, visando a melhoria das colheitas:

Marrom: Porque os camponeses estavam sendo obrigados a entregar a colheita pro Estado. Um camponês achou um jeito *físico* de ajudar eles a trabalharem e se alimentarem.

Professor: Eu acho esse cartão importante. Depois da Guerra houve muitos mortos, pontes destruídas. Eles falaram que um físico usou métodos científicos pra combater a fome. Não tem nada a ver com cosmologia mas é importante.

Posteriormente, no período entre 1931 a 1939, apareceriam os Grandes Expurgos, quando Lysenko liderou a perseguição a estudiosos de genética na URSS. Este polêmico episódio, carregado de tensões ideológicas por causa da Guerra Fria, é muito delicado. Seria um grande desafio trazer essas discussões para a educação básica. Porém acreditamos que outras sequências didáticas, para o ensino de genética e biologia, poderiam trazer discussões muito ricas ao se aventurar em debater este episódio com maior profundidade.

C) Outros aspectos contextuais

O Grupo Amarelo B repetiu um argumento feito pelo Grupo Marrom B, na primeira fase: “a Alemanha não dava espaço pra mulheres”. Como este grupo não mostrou muita motivação nesse dia, o Professor percebeu, que elas fizeram essa escolha provavelmente para não terem que ler os cartões da fase seguinte.

O grupo Azul B deu um argumento contra a Inglaterra,

Azul: Tinha alguém na Inglaterra [Era James Jeans, mas ela não lembrava no nome] que falou de uma mente universal, que no caso seria Deus. Aí ele foi criticado por muitos ateus na Inglaterra.

Este argumento foi dado com base neste cartão:

James Jeans, astrônomo inglês, estudou sobre a forma da galáxia e discutiu a chamada teoria dos “universos-ilha” com astrônomos estadunidenses. Em 1928 ele propôs um modelo de universo eterno do tipo “estado estacionário” em que haveria criação constante de matéria. Sua visão do cosmo incluía uma “mente universal” que muitos chamariam de Deus. Por isso foi criticado por muitos ateus na Inglaterra.

Como vimos na seção 4.3.3, no argumento por escrito ficou claro que a crítica de ateus a religião incomodou o grupo, que usou essa informação como argumento contra a Inglaterra. O professor lembrou que o mesmo aconteceu com Lemaître: “Ele era padre e físico e também foi criticado quando disse que o universo teve um começo. Isso não era natural. Hoje a gente vê isso como natural, mas nessa época não era.”

D) Debate sobre valores da comunidade científica

O Grupo Vermelho argumentou contra o voto do Grupo Preto na Alemanha, por que em 1927 Einstein encontrou Lemaître e rejeitou novamente o universo em expansão.

O Professor valorizou bastante este argumento:

“Isso é importante. O padre não conhecia o Friedmann. Mas ele chegou aos mesmos resultados do Friedmann sem conhecê-los. Quando ele encontrou o Einstein, o que aconteceu? O Einstein rejeitou o resultado de novo. Esse padre é Belga, estudou na Inglaterra. Mas se vocês quiserem votar em algum país por causa dele, eu sugiro que votem na França, por que aqui nos agrupamos Bélgica e França juntos.”

Este argumento gerou um interessante debate entre o grupo Preto, que defendia seu voto na Alemanha, contra os grupos Azul e Vermelho, que buscavam criticar esse voto.

Isso levou a uma descrição do progresso da ciência pelo embate de teorias rivais. Porém as controvérsias científicas não foram vistas como disputas entre grupos rivais com opiniões diferentes, o Professor enfatizou que os debates sobre cosmologia não eram puramente pessoais, mas pautados em teorias científicas:

Vermelho: Por que investir num país que tem um grande cientista mas ele não reconheceu os erros?

Professor: Boa pergunta. Por quê? Por que isso depõe contra o Einstein, ou contra a Alemanha? Por que ele é orgulhoso?

Azul: O cientista tem que saber que não é só ele, outras pessoas também podem ajudar a criar teorias.

Professor: Aí já é uma opinião minha. Estamos falando de uma questão teórica, não é pessoal. Eles estão discutindo se a equação está errada ou certa. O Einstein achava que a equação estava correta, mas que o Friedmann e Lemaître estavam errados. [Porque a solução matemática não teria relação com o universo real].

Preto: Mas e se não fosse orgulho, a teoria dos caras [Friedmann e Lemaître] não poderia estar errada?

Professor: Sim! Não era pessoal, por orgulho próprio.

Laranja: Tem várias teorias. Uma teoria vai contra a outra [Entonação de voz e gestos com a mão dão ideia de conflito e sobreposição de teorias]

Professor: Isso mesmo! É assim que a ciência anda

A fama de Einstein voltou a gerar debates acalorados. O grupo Branco C votou na Alemanha, porque “Einstein foi o maior cientista de todos tempos e fez a teoria da relatividade. Nada se compara ao Einstein”. Isso gerou um deboche explícito de quase todos os outros grupos, e com mais ênfase do grupo Preto C. Em meio há vários argumentos misturados, gritados por vários alunos ao mesmo tempo, alguém mencionou os tão debatidos erros de Einstein, ao rejeitar as soluções de Friedmann e Lemaître.

O grupo Branco continuou sua defesa de Einstein: “Nenhum cientista é mais conhecido que ele. Todo mundo erra!” o que gerou urros e vaias dos grupos rivais.

O professor então perguntou: “Por que Einstein ficou famoso?” E explicou que dentre outros fatores, por ser judeu e pacifista num período de intensa rivalidade entre cientistas alemães e aliados após a Primeira Guerra Mundial, a sua fama teve muito pouco a ver com suas contribuições para a cosmologia.

O grupo Preto B criou um argumento contra os Países Neutros, baseado na valorização da originalidade e desvalorização das conferências e debates sobre propostas pioneiras. O professor problematizou este argumento falando sobre W. de Sitter, um cientista holandês que mesmo não sendo tão pioneiro como Einstein, fez contribuições originais, e foi muito importante para o desenvolvimento da cosmologia, por muitos cientistas, de ambos os lados na Guerra, debateram o chamado “Efeito de Sitter”:

Preto: A gente não quis votar nos países neutros por que lá não tinha muitos cientistas em destaque. Aconteciam mais conferências lá, mas com cientistas de outros países.

Professor: Nesse período, Henrique, uma grande parte dos cientistas estava estudando um negócio chamado Efeito de Sitter. Alguns de vocês devem ter pegado cartões que falavam disso. Era um efeito estranho que ele tinha notado, ninguém sabia bem o que era. Não que ele seja assim, O GRANDE. Mas ele achou esse efeito e os cientistas vão atrás do que eles não sabem o que é. (Atividade 6, 1B, 22’)

O grupo Azul B criticou os votos na Inglaterra, porque “Eddington ignorou Lemaître”, uma referência ao período entre 1927 e 1931, em que o inglês não deu atenção ao artigo enviado pelo seu colega belga.

1.8 Atividade 7

As atividades 7 e 8 fazem parte da sistematização dos eventos mais importantes do período entre 1925 a 1931 na segunda fase do jogo didático. Como objetivo geral destas duas atividades, esperamos que os alunos possam perceber que Hubble teve um papel importante no processo de aceitação da teoria da expansão do universo por causa de seus estudos sobre a relação redshift –distância, mas que não foi um descobridor isolado. Para isso, nesta atividade analisamos com maior profundidade as observações astronômicas que foram utilizadas como evidência da expansão do universo, tendo como objetivos específicos o desenvolvimento da habilidade de interpretar relações de proporcionalidade em gráficos; a compreensão dos conceitos de redshift; e uma visão inicial e superficial sobre métodos de determinação de distâncias de corpos astronômicos.

O roteiro para os alunos partia da questão: Por que Einstein mudou de opinião sobre a expansão do universo? Para responder essa questão, são apresentados diagramas relacionando desvios espectrais e distâncias de nebulosas, tirados dos artigos de Ludwik Silberstein¹²⁵ e Knut Lundmark¹²⁶. Nestes diagramas, um eixo mostra *velocidades radiais* e o outro a distância destes corpos à Terra.

Comparando os dois diagramas, esperamos que os alunos possam perceber, com o auxílio do professor, que Lundmark criticou Silberstein e sua proposta de que há uma relação linear entre redshift e distância. Lundmark mostrou que Silberstein selecionou apenas os aglomerados adequados para embasar sua teoria.

Em seguida, os alunos analisaram o diagrama de Edwin Hubble¹²⁷, notando que ele conseguiu propor uma relação aproximadamente linear a partir de medidas realizadas com nebulosas mais distantes, melhorando a confiabilidade da proposta feita anteriormente por Silberstein.

Após a atividade, no Blog, os alunos responderam à questão 4.

1.8.1 Questão 4 (Atividade 7)

Indique sua concordância ou discordância com as afirmações de A até D, justificando com um texto breve.

A) A relação redshift-distância, descoberta por Hubble, provou que o universo está em expansão.	26 (87%)
B) O processo de criação e confirmação da relação redshift-distância não teve muitas influências políticas. Os debates envolveram principalmente interpretações de observações astronômicas.	22 (73%)
C) Silberstein contribuiu para a criação da relação redshift-distância, propondo uma ideia que foi aperfeiçoada por Lundmark, Lemaître e Hubble.	22 (73%)
D) Silberstein fez algo que os cientistas sempre fazem: manipulou os dados para chegar a resultados que lhe trariam fama. Só teve o azar de ser descoberto.	18 (60%)

Tabela 19: Respostas à questão 4 no Blog.

As alternativas A e B, mais próximas à categoria 1, enfatizavam a importância de observações no teste de teorias. Já as alternativas C e D, ambas sobre Silberstein, sugeriam visões opostas sobre a ciência. A alternativa C mostra uma visão positiva sobre a colaboração na comunidade científica, típica das categorias 1 e 2, enquanto a D uma visão mais pessimista, próxima à categoria 3.

Praticamente todos os alunos concordaram com A, B e C, mostrando visões mais próximas à categoria 1 e do empírico-indutivismo.

¹²⁵ Silberstein, L. 1924, The Curvature of de Sitter's Space-Time Derived from Globular Clusters, MNRAS, 84, 363

¹²⁶ Lundmark, K. 1924, The Determination of the Curvature of Space-Time in de Sitter's World, MNRAS, 84, 747

¹²⁷ Hubble, E. A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. PNAS, 15, 168, 1929

A afirmação A está presente na maior parte das obras de divulgação científica sobre cosmologia sem cuidado com a história da ciência, propagando tanto uma visão ingênua do conceito de prova na ciência, quanto sobre a história da expansão do universo, já que até mesmo Hubble era cauteloso ao abandonar os modelos de universo estático. Essa questão foi problematizada pelo professor nas atividades seguintes.

Apenas 3 alunos discordaram de A: dois por que não acreditam que o universo está em expansão e outro por que não teria sido Hubble quem provou isso. 4 alunos discordaram de B, defendendo que influências políticas foram importantes, o que os coloca próximos à categoria 3. Já os 4 alunos de discordaram de C deram justificativas sem sentido, mostrando que provavelmente não lembravam que era Silberstein.

Já a afirmação D foi mais polêmica. 15 alunos concordaram com a afirmação, demonstrando que acreditam que todos os cientistas buscam mais a fama pessoal do que a verdade, ou seja, tem uma visão bastante relativista. 7 alunos discordaram, por que não acham que a maioria dos cientistas manipulam dados empíricos, o que os distancia da categoria 3. Os demais mostraram que não lembravam quem era Silberstein.

1.8.2 Categoria 1

A) Concordo porque Hubble descobriu com o Redshift que as galáxias estavam se afastando com velocidades proporcionais à sua distância, ou seja, quanto mais distante a galáxia, maior sua velocidade de afastamento. O que foi a primeira evidencia de um universo em expansão.

B) Concordo porque os debates foram influenciados apenas pelo ponto de vista dos cientistas

C) Concordo porque mesmo que os outros tenham contribuído diretamente com a criação da relação redshift-distância, o único que realmente se pronunciou de fato foi Silberstein.

D) Discordo porque ele contribuiu para a criação da teoria que foi aperfeiçoada pelos outros cientistas (Lili 1A)

1.8.3 Categoria 2

Este aluno concordou com A, mas mostrou uma visão diferente do termo “provar”, distanciando das visões ingênuas absolutistas ou empírico-indutivistas. Também discordou de D, distanciando-se do relativismo.

A) Concordo. Pois ele consegui justificar de maneira bem convincente

B) Discordo. Teve uma influência pequena da politica. Todo cientista é influenciado pelo governo

C) Concordo. Ele teve uma boa contribuição

D) Discordo. Não é todos os cientistas q manipulam os resultados Bruno Cintra 1B

1.8.4 Categoria 3

Alunos que concordaram enfaticamente com a afirmação D, tendendo a uma postura mais cínica em relação aos valores da comunidade científica:

A) Discordo. Errada é a conclusão que eles chegaram deste trabalho ao afirmarem que a velocidade de expansão do universo está acelerando, quando na verdade não está.

B) Concordo. O conflito gerou observações, em busca de uma razão.

C) Concordo. Ele achou a ideia coerente.

D) Concordo. Eles manipulam, mesmo sabendo que a teoria está incorreta, eles querem a fama, e faz com que a cosmologia vá para trás! Priscila Fernandes, 1ºB

Houve também alunos que combinaram categorias 1 (concordando com A ou B) e 3 (concordando com D):

A) Concordo. Sim, concordo q ele provou, já q ele tinha melhores equipamentos.

B) Discordo. Pois os cientistas envolvidos na relação eram muito influentes politicamente (Einstein, Hubble)

C) Concordo. Foi sim um dos contribuidores para que Hubble (mais detalhada) e Lemaître criassem a relação redshift distância.

D) Concordo. Porem naquela época, isso era tratado como um crime (Gabriel Alves 1B)

1.9 Atividade 8

Essa atividade se inicia com a proposta de Marcelo Gleiser: Hubble foi o descobridor da expansão do universo. Nessa aula, o professor busca problematizar essa proposta, apresentando as contribuições de vários autores que investigaram o chamado Efeito de Sitter e o redshift das Nebulosas, apresentando os diagramas velocidade – distância criados a partir dos artigos de Slipher (1917), Wirtz (1922), Lundmark (1924), Silberstein (1923), Lemaître (1927) e Hubble (1929).

O roteiro da atividade, entregue aos alunos, apresenta o artigo de Lemaître de 1927, inicialmente rejeitado por Einstein, mas que foi aceito por ele em 1931. Em seguida, aborda polêmicas envolvendo a tradução do artigo de Lemaître do francês para o inglês em 1931 (ver seção 3.1.9):

Após a aula, no Blog, responderam à questão 5, muito parecida com a questão 4.

1.9.1 Questão 5 (Atividade 8)

Indique sua concordância ou discordância com as afirmações de A até D, justificando com um texto breve.

A) O processo de criação e confirmação da relação redshift-distância não teve muitas influências políticas. Os debates envolveram principalmente interpretações de observações astronômicas.	22 (88%)
B) O fato de Lemaître, Friedmann e Robertson terem chegado ao universo em expansão, mesmo vivendo em contextos históricos diferentes, mostra que a ciência é universal, ou seja, a nacionalidade não tem grande influência na criação de modelos cosmológicos.	22 (88%)
C) Houve influências políticas na aceitação da expansão do universo. Por exemplo, no fato de ela não ser aceita quando proposta pelos desconhecidos Friedmann e Lemaître, mas ser aceita quando defendida pelos famosos Eddington e Einstein.	20 (80%)
D) Hubble exemplifica uma conduta comum na ciência: lutou contra seus rivais para ter reconhecimento isolado pelo que não fez sozinho.	17 (68%)

Tabela 20: Respostas à questão 5 no Blog.

Novamente a maioria concordou com as afirmações A e B, típicas da categoria 1: empirismo/racionalismo. Porém a aula influenciou, como esperado, um maior reconhecimento dos alunos de que houve influência de valores não cognitivos na aceitação da expansão do universo.

Muitos alunos concordaram com D, o que os aproxima da categoria 3. Mais uma vez muitos alunos defenderam visões das categorias 1 e 3, uma aparente contradição. Novamente, pensamos que sua visão de ciência considera que a ciência como um todo é confiável e influenciada por valores cognitivos (categoria 1), mas que individualmente, as vezes, cientistas são influenciados por valores pessoais ou sociais (categoria 3).

Categoria 1

A) Concordo, pois tudo era baseado em observações astronômicas, tanto em diagrama, tanto por telescópio. Toda a ciência começa de uma teoria, passando pela observação, e depois a prova. Eu gosto da fase de observação onde pode se deduzir o que bem entender (Não exagerando loucamente, claro), porque, quando a "prova" já foi realizada, e foi provado que algo é de um jeito, as pessoas perdem a imaginação ou até mesmo a coragem de desafiar tal teoria.

B) Concordo. Independente da nacionalidade, quando se fala de ciência, a linguagem é uma só

C) Discordo. Ta "serto".

D) Discordo. Muitos cientistas adotaram a teoria de que o universo estava em expansão, mesmo quando estas teorias eram defendidas apenas por "desconhecidos". Juju C

Categoria 2

A aluna Lili, que classificamos na categoria 1 na questão 4, agora se mostrou mais próxima da categoria 2. Ela manteve a defesa da universalidade da ciência, mas reconhecendo que eventualmente cientistas são influenciados por valores não cognitivos.

A) Discordo. Teve a parte de interpretações de observações astronômicas, mas houve uma manipulação por interesses da parte de Lemaître, Eddington e Hubble.

B) Concordo. Foi pela observação científica que cada um deles chegou a sua ideia de modelo cosmológico independentemente de sua localização

C) Concordo. Concordo porque ficou claro que houve toda uma manipulação por parte dele e de Eddington para que o mérito ficasse todo com ele.

D) Concordo. Concordo porque os interesses políticos faziam com que fosse mais interessante dar a pessoas influentes e com alto conceito na comunidade científica como Eddington e Einstein o mérito científico porque isso confere poder político aos países envolvidos. Nem sempre o reconhecimento científico é dado a quem obtém os resultados que envolvem a ciência. (Lili 1A)

Categoria 3

A) Discordo. Teve muitas influências políticas porque os cientistas buscavam a glória e para isso precisavam de pessoas de confiança em todos os lugares.

B) Concordo. Porque Eddington ajudou Einstein mesmo ele sendo alemão por isso nacionalidade na ciência não significa nada.

C) Concordo não porque Hubble fez seus cálculos isolados igual Lemaître mas teve a sorte de publicar primeiro

D) Discordo. porque Eddington e Einstein eram muito conhecidos por isso a aceitação foi maior Alan Batista Porto 1C

1.10 Atividade 9

A dinâmica da atividade 9 foi idêntica a da atividade 5, com novos indicados ao prêmio da rodada. Como naquela atividade (seção 1.6) inicialmente, classificamos todos os argumentos das três classes, separando-os pelo cientista escolhido (contra ou a favor). Em seguida criamos categorias de argumentos, Internalistas ou Externalistas. O número de identificação se refere aos argumentos detalhados a seguir. A contagem do número de argumentos foi feita levando em conta o número de vezes que cada argumento apareceu em todas as salas, já que muitos apareceram mais de uma vez.

Em seguida, apresentamos o detalhamento dos argumentos de cada grupo

Categoria	Quantidade	Número de identificação
1) Internalistas	10	
A) Modelo de universo em expansão (teorias)	3	2 Hubble, idade do universo; 15, 17 Lemaître, expansão, átomo primordial
B) Valorizando observações astronômicas para testar modelos cosmológicos	3	1 Hubble, redshift- distância; 7 Eddington, eclipse solar 11 Hubble “provou” expansão (sic)
C) Astronomia e outras áreas da ciência	4	3, 4 Hubble, galáxias 8,9 Eddington astronomia e divulgação científica
2. Externalistas	10	
A) Relação entre ciência e guerra ou pesquisa militar.	0	
B) Relação entre ciência e economia	2	6 Hubble só tinha bom telescópio, Lemaître foi mais eficiente 20 de Sitter estava em país com boa infraestrutura, não destruído por Guerras.
C) Outros aspectos contextuais	1	18 contra Lemaître: acusaram-no de misturar ciência e religião
D) Debate sobre valores da comunidade científica	7	5 Cautela, Hubble deixou interpretações para outros; 6, 16 Pioneirismo (envolvendo disputa de prioridade Hubble x Lemaître); 10 Imparcialidade, contra Eddington porque boicotou Lemaître 12 Einstein: fecundidade de seu modelo cosmológico (gerou vários problemas); 20: de Sitter: fecundidade, Efeito de Sitter motivou vários estudos sobre o mesmo problema/ 13: contra Einstein: cometeu muitos erros e demorou pra assumi-los

Tabela 21: Classificação dos argumentos na atividade 9.

1.10.1 Detalhamento dos argumentos

Hubble

A favor:

1. Criou métodos mais confiáveis para estabelecer relação redshift-distância (todos os grupos do 1A, Vermelho C).

Outras versões do mesmo argumento:

Erradas: “Verificou experimentalmente que o universo estava em expansão” (Marrom A, Laranja C); “fez um experimento sobre o universo e também elaborou um cálculo comprovando que o universo estava em expansão” (Laranja B)

Reformulação após problematização do professor: “Seu trabalho permitiu outros astrônomos concluírem que o universo está em expansão (Preto A, Azul A, Vermelho A). “Foi considerado o primeiro a ter comprovado o universo em expansão. Fez igual ao Lemaitre, mas foi mais preciso.” (Laranja B)

2. A partir da Lei de Hubble é possível estimar a idade do universo (Azul A)
3. Fez classificação de galáxias (Marrom A)
4. Conseguiu observar galáxias mais distantes e provou que Andrômeda era uma galáxia (Vermelho C).
5. Deixou a interpretação dos redshift para outras pessoas (Vermelho C).

Contra:

6. Só se baseou na teoria do Lemaitre e por que tinha equipamento sofisticado. Se não fosse isso ele não teria conseguido (Azul B).

Eddington

7. “Fez expedição pra provar a teoria da relatividade do Einstein” (Amarelo A, Preto C)
8. Estudou “a temperatura do universo, descobriu relação luminosidade-raio e que fonte de energia das estrelas veio da fusão nuclear. Concentrou na teoria fundamental, buscando unificar quântica, gravitação, a partir de análise dimensional.” Estudou cefeidas .(Amarelo A)
9. Fez popularização da ciência, escreveu livros de divulgação sobre cosmologia (Amarelo A)

Contra

10. “Eu acho que o Eddington boicotou as informações sobre o Lemaitre. Ele demorou pra reconhecer, depois ele aceitou” (Marrom A)
11. “Ele defendeu mas não provou a expansão do universo (sic)” (Vermelho C, que defendeu que Hubble provou a expansão do universo).

Einstein

12. Todos os modelos relativísticos partiram de suas equações (Preto A)

Contra:

13. “Cometia muitos erros e não era capaz de assumi-los, no final só assumiu para se redimir e a teoria dele não estava fisicamente correta.” (Azul B)

Lemaître

14. “Apesar de toda a historia de se ele entregou a teoria ou foi censurado, foi ele que propôs a ideia, ele que começou com isso. Ambas as partes [Lemaître e Hubble] tem a mesma importância digamos assim: um começou e outro deu os dados principais para que fosse achado o resultado” (Vermelho A)
15. Lemaitre ajudou Einstein e de Sitter a aceitaram o universo em expansão (Marrom A)

Outras versões semelhantes:

Propôs a expansão do universo antes do Hubble (Amarelo C)

“Ele meio que conseguiu provar em 1927 o universo em expansão e foi base para os estudos de Hubble que reforçou sua teoria.” (Vermelho B)

“Ele, junto com o Friedmann, foi um dos primeiros a falar que Einstein e de Sitter estavam errados.” (Marrom C)

16. “Chegou a mesma conclusão de Hubble, com menos tecnologia. Com o prêmio poderá obter melhores resultados.” (Marrom C, Branco C).

Versões semelhantes:

“Mesmo não tendo tantos recursos Lemaitre chegou onde Hubble (com todos os seus materiais) não conseguiu chegar e depois da tradução para o inglês por um erro de Lemaître, Hubble ficou com toda a fama por uma coisa que ele não tinha feito. O erro de Lemaître foi não ter inserido sua fórmula e Hubble ao inseri-la disse que ele que tinha criado.” (Vermelho B)

“Ele disse que a teoria do Einstein estava errada e o universo estava em expansão. Hubble teve mais equipamento, isso acabou que ele foi visto como cientista mais conhecido. Einstein foi considerado um dos maiores cientistas, mas a teoria dele estava errada. Hubble se aproveitou da teoria de Lemaitre e acabou ficando famoso por que tinha mais equipamento.” (Amarelo B)

17. Criou a teoria do átomo primordial (Marrom A)

Contra:

18. Acusaram-no de ter procedimento não científico por ser padre. (Amarelo A)

De Sitter

19. “Criou o Efeito de Sitter, que vários astrônomos estudaram. é importante que mais de um cientista estude o mesmo assunto, assim se consegue chegar a uma conclusão.” (Azul B) Seu trabalho abriu as portas para várias pesquisas que levaram a teoria do universo em expansão. (Preto B)

20. “Estava em um país neutro, bem estruturado, que não foi destruído na Guerra, e não teve problemas de infraestrutura.” (Preto B)

Contra Nenhum.

1.10.2 Debates em cada classe

A seguir apresentamos detalhes dos debates em cada uma das classes, ressaltando a dinâmica dos diálogos.

1ºA

GRUPO	VOTO Atividade 6	VOTO Atividade 9	Prêmio
Amarelo	Inglaterra	Eddington	Prata
Azul	URSS	Einstein	Bronze
Laranja	Neutros	Eddington	Prata
Marrom	EUA	Lemaître	Ouro
Preto	EUA	Einstein	Bronze
Vermelho	Inglaterra	Lemaître	Ouro

Tabela 22: Votos 1º A em cada país e cientista, atividade 6 e 9

Nesta classe todos os grupos votaram em Hubble. Isso nos obrigou a pedir que decidissem o “segundo lugar” para o prêmio da rodada, assumindo que Hubble já foi o vencedor.

Os grupos Azul e Preto acabaram sendo prejudicados, já que tinham pesquisado muitos argumentos a favor de Hubble, mas não souberam improvisar novos argumentos a favor de outros cientistas. Com isso repetiram o argumento que deu a vitória ao Grupo Azul na primeira fase, votando em Einstein pela criação do primeiro modelo de universo relativístico, que permitiu a criação de vários outros modelos a partir das mesmas equações. Os jurados não perdoaram a falta de originalidade e isso lhes rendeu o prêmio Bronze.

Os grupos Amarelo e Laranja votaram em Eddington por várias contribuições não tão relacionadas à cosmologia, como testes à relatividade geral e outros estudos astronômicos. Estes argumentos foram apresentados de maneira pouco articulada, com base na leitura de notas de pesquisas, de forma que foram praticamente ignorados pelos demais grupos.

O grupo Amarelo também achou importante Eddington ter escrito livros popularizando a cosmologia, o que também foi valorizado pelo professor. Além disso, propuseram o polêmico argumento de que Lemaître, como padre, não estava tendo uma postura isenta ao defender um universo com um começo. Porém, como detalhamos na seção 4.3.3, ele foi ignorado.

Os jurados deram o prêmio principal para os grupos Vermelho e Marrom, que votaram em Lemaître por suas contribuições para expansão do universo.

1ºB

GRUPO	VOTO Atividade 6	VOTO Atividade 9	Prêmio
Amarelo	Inglaterra	Lemaître	Bronze
Azul	URSS	de Sitter	Ouro
Laranja	Inglaterra	Hubble	Prata
Marrom	URSS	Einstein	
Preto	Alemanha	de Sitter	Ouro
Vermelho	Inglaterra	Lemaître	Bronze

Tabela 23: Votos 1º B em cada país e cientista, atividade 6 e 9

Os grupos Azul e Preto surpreenderam seus adversários votando em de Sitter, por que o chamado “efeito de Sitter” motivou vários investigadores a buscarem relacionar os desvios espectrais para o vermelho à cosmologia. Como de Sitter praticamente não tinha sido mencionado nas discussões da primeira fase, nenhum grupo soube dar argumentos contra ele.

Com isso, o professor decidiu participar da discussão, argumentando que o universo de W. de Sitter é estático, enquanto “o próprio Einstein assumiu que o universo está em expansão”, assim como a maioria dos cientistas.

Os grupos Azul e Preto se defenderam adequadamente, reiterando que “foi a partir do Efeito de Sitter que eles conseguiram provar (sic) o que ele estava imaginando.” Esse bom desempenho, lhes garantiu o prêmio Ouro.

O debate mais acalorado, como esperado, aconteceu entre os defensores de Hubble e Lemaître, motivados pelas disputas de prioridade sobre a expansão do universo discutidas na atividade 8. Como em todas as classes, o professor fez o papel de crítico dos argumentos dos dois lados.

Os grupos Amarelo e Vermelho defenderam Lemaître, argumentando que Hubble apenas tinha a vantagem de ter à disposição um telescópio mais potente e, por isso, se tornou mais famoso. “Hubble se aproveitou da teoria de Lemaitre e acabou ficando famoso por que tinha mais equipamento.” O professor perguntou: por que outros astrônomos nos EUA, que também tinham acesso a grandes telescópios, não ficaram famosos como Hubble?

Já o grupo Laranja argumentou que Hubble merece o prêmio por ter mostrado com mais precisão a relação redshift-distância e “comprovado a expansão do universo”. O professor novamente discutiu o termo “provar”, argumentando que Hubble nem mesmo defendeu a interpretação da expansão do universo, preferindo se abster de discussões cosmológicas.

Os jurados consideraram que o argumento a favor de Hubble, do grupo Laranja foi melhor, dando-lhes o prêmio Prata e o prêmio Bronze para os defensores de Lemaître.

1º C

GRUPO	VOTO Atividade 6	VOTO Atividade 9	Prêmio
Amarelo	EUA	Lemaître	Ouro
Branco	Alemanha	Lemaître	Ouro
Laranja	EUA	Hubble	Prata
Marrom	França	Lemaître	Ouro
Preto	França	Eddington	Bronze
Vermelho	EUA	Hubble	Prata

Tabela 24: Votos 1º C em cada país e cientista, atividade 6 e 9

No 1º C mais uma vez a disputa se polarizou entre os grupos que defenderam Lemaître e Hubble. O grupo Preto foi o único que defendeu outro cientista: votou em Eddington por sua expedição para testar a relatividade geral. Trata-se de um argumento repetido da primeira fase, em que não foi explorada nenhuma relação com os debates cosmológicos do período entre 1925 a 1931. Além disso o grupo leu o argumento de forma desinteressada, mostrando muito pouco interesse no jogo.

Os grupos mais engajados no debate foram o grupo Vermelho, que defendeu Hubble, assim como o grupo Marrom, que defendeu Lemaître. Os argumentos foram os mesmos já descritos no 1ºB: os defensores de Hubble o valorizaram porque “chegou à lei de proporcionalidade que ficou conhecida como Lei de Hubble” e “conseguiu observar galáxias mais distantes”; enquanto os defensores de Lemaître porque ele “chegou na mesma conclusão, com menos tecnologia” e antes de Hubble.

Além disso, surgiram novos argumentos num debate acalorado e interessante sobre a postura cautelosa de Hubble em relação a interpretações das observações. O grupo vermelho defendeu que foi adequado Hubble ser cauteloso, enquanto o grupo Marrom o criticou por não dar continuidade aos estudos de cosmologia (ver seção 4.3.3)

Na sequência seguiu-se um debate disperso, com muitos falando ao mesmo tempo, em que os alunos perguntaram ao professor o que Hubble e Lemaître fizeram em seguida. O professor respondeu que “Lemaître estudou cosmologia até morrer” e Hubble astronomia, mantendo sua postura cautelosa sobre a expansão do universo.

O grupo Marrom manteve a linha de argumentação iniciada na atividade 6, argumentando que só observações e medidas sem interpretações não devem ser valorizadas. O grupo Vermelho não foi capaz de se defender desta acusação e tiveram que apelar inventando informações falsas, como a de que Hubble não continuou a estudar cosmologia por que tinha “terminado” este estudo. Com isso, o Prêmio Ouro foi para Lemaître e o Prata para Hubble.

2 Fontes utilizadas na produção dos cartões do jogo

Cosmologia relativística: Trabalhos sobre períodos relativamente extensos, que foram utilizados para criar cartões de mais de uma fase do jogo: Merleau-Ponty 1965, North 1965, 2008 Bernstein e Feinberg 1986, Ellis 1990, Harrison 1981, Hetherington 1993, Martins 1994, Kragh 1996

Observações astronômicas relacionadas à cosmologia: Bagdonas et al. 2009, Harrison 1993, Hetherington 1971, Smith 1979, 1982

Ciência e cultura na URSS: Andrews 2009, Andrews e Siddiqi 2011, Graham 1966, 1993, 1998, Joravsky 1961, Kojevnikov 2004, 2011, Mackenzie e Curran 1987, Sardanashvily 2010.

Primeira fase (1914-1924):

Ciência e Primeira Guerra Mundial: Forman 1971, 1973, Heilbron 1987, Kevles 1971, 2005 ;Alemanha: Einstein 1917, 1922, Kragh 2012, Sietter e Duerbeck 1990. EUA: Slipper 1913, 1917, Smith 1982; França: Blanchard 2001, Farrell 2005, Holder e Mitton 2012; Inglaterra: Dingle 1924, Eddington 1920, 1923, Videira 2005 b; Neutros: De Sitter 1917, Lundmark 1924, Silberstein 1924a, 1924b, 1924 c, Flin e Duerbeck 2006; URSS: Friedman 1922, 1924, Fock 1964, Frenkel 2002, Jakobson 2006, Tropp et. al. 1993.

Segunda fase (1925-1931)

Disputas de prioridade entre Lemaître e Hubble: Kragh e Smith 2003, Livio 2011, Van den Bergh 2011a, 2011b, Way e Hunter 2013; EUA: Hubble 1925, 1926, 1929, Hubble e Humason 1931; França: Friedman e Lemaître 1997, Lemaître 1925, 1927, 1931a, 1931b, Luminet 2011URSS: Nicolaidis 1990; Neutros: De Sitter 1930, Silberstein 1924 a, 1924b, 1924 c, Stromberg 1925.

Terceira fase (1931 – 1939)

Teoria do Big Bang: Kragh e Lambert 2007, Kragh 2008, Gamow 1940, 1952, 1970;Teorias de luz cansada e outras teorias alternativas: Assis et al. 2008, Neves 2000a, Novello 2006, 2010, Ribeiro e Videira 2004, Rocha 2009; Teoria do Estado Estacionário (não aparece no jogo): Hoyle 1948, 1952, 1994, Hoyle et al. 2001, Bondi e Gold 1948, Bondi 1952; Alemanha: Einstein e De Sitter 1932, Gorelik 2002; Inglaterra: Dingle 1937, 1953, Eddington 1933; EUA: Hubble e Tolman 1935, Hubble 1936; URSS: Kojevnikov 2011a, Gorelik e Frenkel 1994.