



A COSMOLOGIA MODERNA À LUZ DOS ELEMENTOS DA EPISTEMOLOGIA DE LAKATOS

THE MODERN COSMOLOGY BY THE ELEMENTS OF THE LAKATOS EPISTEMOLOGY

Luiz Henrique Martins Arthury

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina / Departamento de Física, mahavantara@hotmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma caracterização da teoria do Big Bang como um programa de pesquisa. É feita uma apresentação da epistemologia de Lakatos, com sua metodologia dos programas de pesquisa científica, ilustrada por elementos da cosmologia moderna. A partir da história do desenvolvimento da teoria do Big Bang é feita uma discussão de seus aspectos epistemológicos, constituindo uma proposta à aproximação destes assuntos à formação do professor de ciências, e uma contribuição para possíveis materiais educativos baseados nos preceitos aqui discutidos.

Palavras-chave: Big Bang, programa de pesquisa, ensino de física moderna, material instrucional.

Abstract

This paper presents a characterization from the Big Bang Theory such as a research program. Is done a presentation of Lakatos epistemology with the methodology of scientific research programmes, illustrated by elements of the modern cosmology. From the history of development Big Bang's theory is done a discussion of its epistemological aspects, establishing a proposal to the approach of these subjects to the science teacher's formation, and a contribution for possible educative materials based on the precept discussed here.

Keywords: Big Bang, research program, modern physics teaching, educative material.

INTRODUÇÃO

A partir de uma pesquisa¹ inicial sobre a evolução dos conceitos da cosmologia moderna, foi obtido um estudo correlacionando a teoria do Big Bang com a *metodologia dos programas de pesquisa*, principal contribuição de Lakatos à filosofia da ciência. Nascido na

¹ Pesquisa de mestrado em andamento, na área de história e filosofia da ciência.

Hungria, Imre Lakatos estudou matemática e física, doutorando-se posteriormente em filosofia pela universidade de Cambridge. Debateu a natureza da pesquisa científica com os mais importantes filósofos da ciência de sua época, entre eles Thomas S. Kuhn e Paul Feyerabend, ambos doutores em física.

A pesquisa científica ou, no jargão lakatosiano, o *programa de pesquisa científica*, oculta características sutis sobre a gênese das teorias que merecem uma discussão potencialmente esclarecedora de como se desenvolve a ciência. Este trabalho tem por finalidade contribuir com uma proposta à formação docente e a todos os interessados no assunto, ao oferecer uma boa gama de discussões que podem ser engendradas na sala de aula para um ensino mais comprometido com a natureza da atividade científica. Afinal de contas, “o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, *em e sobre* ciências” (Matthews, 1995, p. 166).

Mesmo no ensino médio, onde normalmente não existe espaço para uma discussão mais filosófica a respeito da ciência, há uma premente necessidade de se abordar estes assuntos, uma vez que os alunos, ali, normalmente não serão futuros cientistas e, sim, cidadãos que precisam romper com as visões distorcidas que se tem da atividade científica. “Quer eles venham ou não a ser cientistas, o essencial é que os estudantes tenham uma oportunidade de uma visão total da ciência e, com isso, sejam protegidos contra o uso de viseiras estreitas ou de euforias ingênuas...” (Holton, 1979, pg. 251).

A filosofia e a história da ciência têm, pois, um importante papel na sala de aula, cativando e trazendo o aluno para discussões certamente enriquecedoras do papel da ciência em nossa cultura. Acreditamos, assim, estar colaborando com uma maior difusão destas questões entre os professores, que por certo podem otimizar suas aulas com um conjunto maior de elementos potencialmente motivadores ao ensino.

Um bom professor de uma disciplina científica deve combinar uma competência científica (dominar o conteúdo que vai lecionar) com uma competência didática. A História da Ciência pode contribuir para esses dois aspectos da formação de um professor, de modo significativo (Martins, 1990, p.4).

Com este propósito faremos, inicialmente, uma breve apresentação da epistemologia de Lakatos ilustrada pela cosmologia, usando estes elementos em seguida na caracterização da teoria do Big Bang como um programa de pesquisa.

A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA

Uma simples terminologia como “teoria” abarca significados elucidativos de como opera a investigação científica, e Lakatos nos alertou para a inadequação deste conceito, de uma teoria única, fechada. Embora geralmente possamos nos referir a uma teoria específica, na prática ela não se apresenta como uma idéia isolada e imutável desde sua proposta inicial. Há, justamente, uma superposição de conceitos que podem preexistir à teoria, encontrando-se então para formar seu corpo central. Mesmo após isto, o que temos é uma série de ajustes, subtrações e acréscimos que, se pode ser chamada no singular de “teoria”, o é em um sentido sintético. A ciência fica mais bem caracterizada por uma série de teorias em sucessão e concorrência, juntamente com hipóteses auxiliares que as complementam e as protegem, e não como teorias fechadas em si mesmas e sem relação umas com as outras.

É uma sucessão de teorias e não uma teoria determinada que se avalia como científica ou pseudocientífica. Mas os elementos dessa série de teorias costumam estar ligados por notável continuidade, que os solda em programas de pesquisa (Lakatos, 1979, pg. 161).

O conhecimento tomado como certo *a priori*, o que Lakatos chama de *núcleo firme* (1979), que não é questionado por decisão metodológica, é o que permite ao cientista uma relativa liberdade de pesquisa, sem que precise a todo instante rever as bases do conhecimento que está sendo construído.

Esse “núcleo” é “irrefutável” por decisão metodológica de seus protagonistas: as anomalias só devem conduzir a mudanças no “cinturão protetor” da hipótese auxiliar, “observacional” e das “condições iniciais” (Lakatos, 1979, pg. 163).

Cinturão protetor, como será mais bem visto adiante, refere-se ao conjunto de estratégias que impedem um ataque direto ao núcleo firme. Esta forma de proceder permitiu progressos significativos em nossas teorias, como no caso da mecânica newtoniana aplicada ao sistema solar. Segundo esta teoria, as órbitas dos planetas podiam (e podem) ser determinadas com um excelente grau de precisão, o que foi ratificado pelas observações. Mas Urano apresentava diferenças entre a órbita observada e a prevista pela teoria newtoniana. Pois uma boa maneira de acabar com uma das maiores teorias já produzidas pelo intelecto humano seria justamente acreditar que estivesse terminantemente errada por não concordar com os “fatos”:

Quando foi observado pelos newtonianos que a órbita prevista para Urano era discordante com as observações astronômicas, eles não consideraram que a Mecânica Newtoniana estivesse refutada; Adams e Leverrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido – o planeta Netuno – e, portanto, não levado em consideração na órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno, orientando os astrônomos para a realização de novas observações que, finalmente, confirmaram a existência do novo planeta (Silveira, 1996, p. 221).

Pode soar estranho em uma primeira leitura, mas seria inclusive leviano descartar a teoria por sua discordância com o fato observado. O mero dado empírico tem uma importância menor na escolha entre teorias, escolha esta que exige elementos de racionalidade que independam de um único evento, como uma observação. “Uma das coisas mais importantes que se aprendem estudando os programas de pesquisa é que relativamente poucas experiências são de fato importantes” (Lakatos, 1979, p. 186). Um conjunto maior de fatores deve estar em questão, que melhor situem a observação, o dado empírico, em relação às teorias concorrentes. No presente caso, a teoria newtoniana já tinha demonstrado seu valor antes, para o caso de outros planetas anteriores a Urano. Por isso as anomalias devem ser estudadas com cautela, para não se abandonar precocemente um programa de pesquisa que pode (como foi o caso) se mostrar muito promissor. A procura dos motivos das anomalias é um processo importante no amadurecimento das teorias, processo este que permite que muitos resultados novos sejam engendrados.

Evidentemente, chega o momento onde o programa de pesquisa começa a apresentar sinais de fadiga, e seu núcleo firme não pode mais ser sustentado. Esta é a deixa para que um outro programa assuma a dianteira na explicação dos fenômenos observados. Por

exemplo, ainda sobre a mecânica newtoniana, no final do século dezenove foram constatadas anomalias sutis na órbita do planeta Mercúrio, mas suficientes para colocar a teoria newtoniana novamente em cheque. Da mesma forma que anteriormente, chegou-se a especular a existência de um planeta em suas vizinhanças, mas, infelizmente para os defensores de Newton, este planeta nunca foi encontrado. A referida anomalia, uma pequena diferença entre o periélio previsto para Mercúrio e o periélio realmente observado, só foi resolvida por um programa de maior sucesso explicativo, no caso a Teoria Geral da Relatividade.

O processo de “proteção” à teoria em um programa de pesquisa é o que Lakatos denominou de “cinturão protetor”, um conjunto de hipóteses e teorias auxiliares que permitem que a teoria sobreviva enquanto for possível, através da “heurística negativa”, que proíbe o ataque direto ao núcleo firme. Isto pode se dar de modo “progressivo”, quando permite um maior conteúdo explicativo e preditivo, ou de modo “regressivo” à teoria em questão. A progressão ou regressão poderá caracterizar ainda a escolha entre programas concorrentes, ainda que alguns cientistas possam continuar defendendo sua teoria mesmo diante de questões mais bem formuladas e respondidas por outra. O apego particular do cientista a uma teoria é uma questão humana que certamente ocorrerá algumas vezes, mas:

... Lakatos deixa claro que a preferência de uma teoria sobre outra deve se dar em termos racionais. Assim, em uma situação de concorrência deve fiar evidente o caráter progressivo do ‘novo’ programa (através de sua capacidade explicativa e poder preditivo) e a fase regressiva ou degenerativa de seu rival (onde se acentuam as inconsistências e abundam as explicações ad-hoc) (Peduzzi, 2005, p. 547).

É o que aconteceu com o caso de Mercúrio, onde explicações *ad-hoc*² fizeram a teoria newtoniana “degenerar”, uma vez que não suportava os novos dados observados, enquanto a teoria einsteiniana da gravitação (Relatividade Geral) apresentou um programa de pesquisa progressivo. A Teoria Geral da Relatividade, naturalmente, não foi desenvolvida com este propósito. “As anomalias do periélio do planeta Mercúrio não desempenharam nenhum papel na construção da teoria, não obstante terem sido incorporadas e determinadas por ela com uma precisão extraordinária” (Simon, 2005, p. 137), o que está de acordo com os critérios de Lakatos para que um programa supere o outro, com a explicação de inconsistências do programa suplantado.

A TEORIA DO BIG BANG COMO PROGRAMA DE PESQUISA

Uma primeira cautela que devemos ter quando analisamos uma teoria segundo os elementos lakatosianos é justamente a terminologia utilizada. Pois o modelo padrão da cosmologia se refere à *teoria* do Big Bang, enquanto que, para Lakatos, este singular não caracteriza a ciência adequadamente. Assim, embora continuemos a nos referir à *teoria* do Big Bang, uma vez que é assim mais comumente conhecida, buscaremos aqui uma aproximação com a metodologia dos programas de pesquisa.

² Embora possa ser empregado com mais de um significado, o termo *ad-hoc* é utilizado, neste texto, em seu sentido mais comum que se refere à atitude recorrente, na ciência, de se acrescentar um argumento que reforça o que se quer mostrar, mas *a posteriori* e sem nenhum motivo maior que a simples adequação da teoria com o que se pretende.

O novo programa proposto pela relatividade gerou uma consequência recusada mesmo por Einstein, seu proponente, que inclui em sua teoria uma das mais famosas hipóteses *ad-hoc* da ciência. Sua teoria, que havia superado a mecânica newtoniana, *exigia* que o universo não fosse estático, o que ia de encontro aos seus anseios. Uma vez que o universo, segundo a sua teoria, estava sob influência da curvatura do espaço, deveria então colapsar pela mútua atração gravitacional caso não houvesse uma espécie de força contrária à gravidade.

Assim, uma vez que o universo existe (esperamos), claramente deveria haver um termo adicional nas equações da relatividade, que veio a ser conhecido como “constante cosmológica”. 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.

A ideologia em questão, a necessidade de um universo estático e imutável, não era algo novo. Newton já manifestava o mesmo desejo ao propor um espaço absoluto e eterno. E agora uma criação sua, de Einstein, obtida de forma tão sofrida ao longo de uma década, tão bonita e promissora, dava indícios de um universo em expansão.

Na verdade, as equações também informavam que o Universo poderia estar encolhendo com uma contração uniforme do espaço, mas a única coisa que as equações não permitiam era a possibilidade de um Universo estático, imutável e eterno (Gribbin, 1995, pg. 10).

Pobre Einstein ao perceber que sua teoria, tão bem fundamentada, levava necessariamente a um universo dinâmico! Este era um excesso de conteúdo indesejável (para Einstein), mas fundamental para a teoria no seu futuro.

A ciência não tem problemas com hipóteses *ad-hoc* quando mantêm a teoria progressiva, sendo mais cedo ou mais tarde justificadas e explicadas. Mas não foi o caso aqui. Com o referido excesso de conteúdo (a previsão de um universo dinâmico) oculto na teoria de Einstein, não haveria como promover futuras pesquisas para manter sua progressão. De fato, foi necessário que observações paralelas mostrassem que a referida hipótese *ad-hoc* era degenerativa à teoria, o que aconteceu em 1929, quando Edwin Hubble constatou que as galáxias se afastavam umas das outras segundo uma função matemática hoje conhecida como Lei de Hubble.

Einstein ficou desapontado consigo mesmo quando soube das evidências empíricas de um universo em expansão, por não permitir que isto fosse o resultado de uma previsão de sua teoria, e sim uma conclusão vinda de fora dela. Ele mesmo se referiu à sua constante cosmológica como a maior asneira de sua vida, mas, para sua satisfação, como sua teoria da relatividade *sem* a referida constante estava perfeitamente de acordo com as observações de Hubble, acabou se mostrando um programa de pesquisa de sucesso. Era como se a teoria estivesse sempre correta, não fosse a infeliz intromissão de seu criador.

Assim que foi constatada a recessão das galáxias, naturalmente foi sugerido que elas estavam, então, mais próximas umas das outras no passado, mas os detalhes teóricos de um universo em expansão vieram antes disto. Em 1922, Alexander Friedmann estava na direção correta ao obter soluções das equações da relatividade geral para um universo

dinâmico, que foram inclusive criticadas por Einstein que, como vimos, não gostava da idéia. No mesmo ano, Einstein chegou a publicar uma nota onde afirmava que o trabalho de Friedmann estava incorreto. “Contudo, um ano depois admitiu seu erro e reconheceu a existência de soluções variáveis no tempo, como defendido no trabalho de Friedmann” (Waga, 2005, p. 159). Mas o trabalho de Friedmann era essencialmente matemático e com propriedades físicas pouco discutidas. “Friedmann descobriu a possibilidade de um universo em expansão, mas não a *expansão do universo*” (Waga, 2005, p. 159).

A idéia de um universo finito no tempo não demorou a surgir, e seu precursor foi o padre e astrônomo Georges Lemaître. Estudante de astronomia em Cambridge e em Harvard, Lemaître estava bem atualizado em relação às implicações da teoria da relatividade de Einstein, e em 1925 obteve, de modo independente³, equações equivalentes às de Friedmann (Waga, 2005). Mas, ao contrário deste, desenvolveu uma teoria física consistente denominada, por ele, de “átomo primordial”, nome provavelmente influenciado pelos recentes estudos da mecânica quântica, teoria que estava na ordem do dia (Smoot, 1995). A partir da idéia de um universo em expansão, a teoria do átomo primordial sustentava que todo o atual universo adveio de um único átomo em um instante no passado.

Mas foi George Gamow quem levou a teoria do Big Bang ao status de um autêntico programa de pesquisa, ao promover, ao lado de seu colaborador Ralph Alpher, um consistente quadro para a teoria, com minuciosos cálculos que mostravam as características de um suposto universo primevo surgido em um instante definido. Gamow e Alpher publicaram⁴ seus resultados no final da década de 1940 e, em um artigo subsequente, Alpher e seu colaborador Robert Herman mostraram que a energia existente nos instantes iniciais do universo deixa-lo-ia com uma temperatura de muitos bilhões de graus, sendo gradualmente resfriado com a expansão do espaço. A partir dos estudos de Friedmann com as equações de Einstein, que previam um universo que se expande *não* através de um espaço pré-existente, mas o “esticando” a medida em que se expande conforme a estrutura geométrica do espaço-tempo, Alpher e Herman calcularam que a radiação oriunda do processo inicial da formação dos primeiros núcleos atômicos deveria permear todo o atual universo, com uma temperatura de 5K.

Ao preverem uma característica em princípio mensurável para o universo atual, Gamow, Alpher e Herman tinham produzido então um excesso de conteúdo que faria da teoria do Big Bang um importante programa de pesquisa para os próximos pesquisadores. Mas, como o esperado na ciência, a teoria do Big Bang não estava só.

Ainda por esta época de 1940, Fred Hoyle propôs sua Teoria do Universo Estacionário, que não admitia um universo finito no tempo, surgido de uma “grande explosão”⁵. Hoyle atribuía à teoria do Big Bang a idéia de um surgimento ao acaso para o universo, e definitivamente não gostava disto: “... tenho de dizer que quando olho para ele, não parece acaso para mim” (Fred Hoyle, *in* Meyers, 2004). Ele defendia um universo infinito no tempo que mantém globalmente sua estrutura. Para fazer concordar esta sua

³ Só em 1927, em uma conversa com Einstein, Lemaître tomou conhecimento do trabalho de Friedmann (Waga, 2005).

⁴ Gamow, de grande senso de humor, acrescentou o físico Hans Bethe como co-autor do artigo, conseguindo assim que o trabalho fosse conhecido como “Alpher, Bethe, Gamow”, alusão à alfa, beta e gama” (Smoot, 1995).

⁵ A expressão “Big Bang” foi cunhada por Hoyle inicialmente como uma forma irônica de se referir à teoria de um universo criado em um instante determinado, de Lemaître e Gamow (Smoot, 1995).

conjetura com as observações já então muito bem conhecidas de um universo em expansão, Hoyle sugeriu que, ao se expandir, novas galáxias eram criadas para ocupar o lugar deixado pela expansão, mantendo assim uma estrutura constante para o universo. Para isto, é claro, novos átomos de hidrogênio deveriam ser constantemente criados para formar as estrelas. Em princípio isto poderia ser visto como algo muito subjetivo e conjetural e, portanto, sem valor para a ciência, mas seu valor heurístico não deveria ser subestimado uma vez que também trazia uma boa explicação do que era observado. O próprio Hoyle argumentou que a suave e constante criação de matéria era menos absurda que *toda* a matéria do universo criada em um determinado instante. E é difícil discordar dele.

Como as duas teorias, Big Bang e Universo Estacionário, explicavam o universo cada uma a sua maneira, a opção por uma delas não seria feita de forma rápida e definitiva.

Na década de 1950, a escolha de uma dessas teorias era uma questão que dependia do preconceito de cada um. Filosoficamente, é mais difícil aceitar que a matéria é criada continuamente em pequenas porções no Universo ou que toda a matéria de todas as estrelas e galáxias tenha sido criada em um único momento? (Gribbin, 1995, pg. x).

Mas na ciência não se pode (idealmente) manter as coisas como uma mera escolha. Já vimos que, segundo Lakatos, isto tem que acontecer de forma racional, com a preferência pelo programa de pesquisa progressivo em detrimento do programa com características regressivas. Já vimos também que devemos ter em conta que o simples embate com os dados observacionais não garante a refutação de uma teoria, sendo necessária a existência de uma outra para ocupar o seu lugar. “Não se trata de propormos uma teoria e a Natureza poder gritar NÃO; trata-se de propormos um emaranhado de teorias, e a Natureza poder gritar INCOMPATÍVEIS” (Lakatos, 1979, pg. 159).

Esta pluralidade é mesmo desejada na ciência. Se o nosso conhecimento científico progride através dos programas de pesquisa, é a partir da pluralidade que surgem as oportunidades para escolhermos os caminhos mais adequados para prosseguirmos, rejeitando com mais segurança as teorias degeneradas. De fato, Lakatos coloca que

Seria um erro supor que precisamos conservar um programa de pesquisa até que se tenha esgotado toda a sua força heurística, que não devemos apresentar um programa rival antes de haverem todos concordado em que foi provavelmente atingido o ponto de degeneração (Lakatos, 1979, pg. 190).

E como então escolhemos entre as duas teorias? De maneira simples, podemos dizer que se pode rejeitar um programa com uma razão objetiva, “proporcionada por um programa de pesquisa rival que explica o êxito anterior de seu rival e o suplanta por uma demonstração adicional de *força heurística*”⁶ (Lakatos, 1979, pg. 191). E, aqui, os seguidores de Hoyle infelizmente ficam para trás. Existem outros motivos que deixam a teoria do universo estacionário em condições de um programa regressivo de pesquisa, mas o principal é justamente a sua falta de acordo com a previsão de uma radiação residual permeando todo o universo. “As cosmologias que não incluem o Big Bang não apresentaram qualquer interpretação alternativa plausível para o fundo de radiação⁷” (Silk,

⁶ Força heurística refere-se à força de um programa de pesquisa em antecipar fatos novos em seu crescimento.

⁷ Para contrapontos a esta idéia, ver Arp, 2001.

1988, pg. 321). Portanto, o ruído cósmico de fundo, interpretado segundo a teoria observacional de características progressivas – a do Big Bang –, seria o principal elemento decisório na escolha entre as duas teorias⁸.

Como veremos, as pesquisas que seriam realizadas a partir da década de 1960 mostrariam que o programa de pesquisa do Big Bang é progressivo a ponto de prever pequenas variações no ruído cósmico de fundo, só verificadas com modernos equipamentos radioscópicos instalados em satélites.

ENTÃO, O RUÍDO

Embora fosse prevista, desde a década de 1940, uma radiação permeando todo o universo observável, esta só seria realmente captada em 1965. Quando os trabalhos de Gamow, Alpher e Herman propuseram um valor de cerca de 5K para sua temperatura, eles acharam que não seria possível medi-la na época. Já na década de 1960, físicos da Universidade de Princeton liderados por Robert Dicke estavam montando uma antena para realizar efetivamente as medições do esperado ruído que, com os cálculos atualizados, deveria se apresentar como uma radiação na faixa de microondas com temperatura em torno de 3K.

Foi quando dois radioastrônomos, Arno Penzias e Robert Wilson, trabalhando em uma antena para comunicações via satélite, desenvolvida nos laboratórios Bell, perceberam um excesso de ruído em seus equipamentos. Todos os sinais captados, em todas as direções, estavam inexplicadamente acrescidos de um ruído de cerca de 3K, o que os levou a realizar várias manutenções no equipamento até se convencerem de que o ruído era real, e não um defeito da antena. De início os referidos radioastrônomos não sabiam do que se tratava, até que um colega, Bernard Burke, sugeriu que o sinal podia ser de origem cosmológica, pois lembrara de um outro colega que tinha dito alguma coisa sobre uma “radiação de fundo” ao ir a uma palestra de James Peebles, cientista que trabalhava com Dicke (Weinberg, 1987). Burke então os aconselhou a contatarem a equipe de Robert Dicke.

Dá para imaginar a reação de Dicke ao atender o telefone e ouvir que a radiação que ele mesmo estava buscando fora captada de forma acidental.

O resultado foi uma reportagem de primeira página no *New York Times* de 21 de maio de 1965, anunciando que finalmente haviam sido encontradas evidências poderosas a favor do big-bang⁹. Wilson comentou que não avaliara a importância da descoberta até ler a notícia na primeira página do *Times* (Smoot, 1995, pg. 94).

Sem saberem, Penzias e Wilson já tinham entrado para a história da cosmologia por terem tropeçado no ruído. E, sem saberem, tinham dado um duro golpe na teoria do universo estacionário, pois a radiação captada tinha as mesmas características previstas pela teoria do Big Bang. Percebemos então que a teoria do universo estacionário não foi colocada em cheque por sua (falta de) previsão. E sim porque sua rival apresentou uma

⁸ Cuidado neste ponto. Não foi “O” ruído, e sim a progressão ocasionada por este.

⁹ Mantivemos a expressão do texto original citado, “big bang”, embora preferamos “Big Bang”, em letras maiúsculas, ao longo do texto.

força heurística maior, prevendo características que foram constatadas posteriormente, reforçando a teoria do Big Bang. Mas seu caráter progressivo não pararia por aí.

O ruído captado por Penzias e Wilson era aparentemente uniforme em todas as direções do espaço, o que era compatível com um sinal genuinamente cosmológico, de origem extragaláctica. Mas esta uniformidade era também um problema para a teoria do Big Bang. Pois se o ruído fosse realmente uniforme, a teoria previa que não seria possível o surgimento das galáxias como as conhecemos (Smoot, 1995). Como existem galáxias (esperamos), temos então uma anomalia a ser resolvida. Como vimos, seria ingênuo refutar prematuramente a teoria pela sua inadequação com os (supostos) fatos. Mas a anomalia seria resolvida sem recursos a elementos *ad-hoc*, o que tornou a teoria ainda mais forte, ao se admitir que o ruído efetivamente não era uniforme.

De fato, desde a constatação empírica da radiação cósmica de fundo, cientistas passaram a se concentrar em equipamentos cada vez mais precisos e sensíveis com o intuito de verificar as pequenas variações previstas para a radiação, resultado de diminutas dobras na estrutura do espaço-tempo do universo primevo. A teoria do Big Bang estava em cheque, uma vez que só admitia o surgimento das galáxias caso existissem as referidas dobras. “As dobras eram *sementes* onde a matéria foi se depositando gradualmente até formar as estruturas atuais” (Smoot, 1995, p. 178). E, após alguns primeiros experimentos ainda mais sensíveis que os propiciados pela antena de Penzias e Wilson, nenhum sinal das variações foi encontrado.

A radiação cósmica de fundo, até onde nós ou outros fomos capazes de determinar, era completamente suave em todas as direções. Isto pode significar ou que as teorias dos cosmólogos estavam totalmente erradas, ou que ninguém se esforçou o bastante para encontrar as sementes (Smoot, 1995, pg. 168).

Felizmente para a teoria, George Smoot estava disposto a “se esforçar o bastante” para encontrar as dobras, que seriam identificadas por variações da ordem de uma parte em 100 mil na radiação cósmica de fundo. Não seria fácil. Mas a confiança do cientista no núcleo firme da teoria o compele a continuar, enquanto isto representar um programa de pesquisa progressivo. E não seriam os primeiros resultados negativos que afetariam esta confiança. Como bem lembra Lakatos, “... a teoria *específica* poderá sempre ser mantida, digam o que disserem os testes” (1979, pg. 123). A menos, é claro, que existisse uma outra teoria que suportasse um universo em expansão, ao mesmo tempo em que admitisse uma radiação cósmica de fundo com as características já constadas, juntamente com a *ausência* de dobras, ou seja, uma radiação perfeitamente uniforme. Não havia.

Era compreensível então que se buscassem as diminutas variações, não obstante as dificuldades intrínsecas à empreitada:

Estávamos procurando por variações mínimas nas temperaturas suaves do fundo, algo inferior a uma parte em 100 mil – algo como localizar um cisco de poeira numa superfície lisa como um rinque de patinação. E, exatamente como um rinque de patinação, haveria muitas irregularidades na superfície que nada teriam a ver com aquelas que procurávamos (Smoot, 1995, pg. 264).

Depois de quase duas décadas de extensas pesquisas para captar as perseguidas variações, com equipamentos supersensíveis transportados em balões atmosféricos, missões com o avião espião U2, exaustivos projetos de engenharia para seu transporte ao espaço via

foguetes e, finalmente, o uso de um satélite subsidiado pela NASA lançado em 1989, em 1992 obtiveram-se os primeiros relances das dobras.

Depois de exaustivas análises para certificar a real constatação das variações procuradas na radiação cósmica de fundo, em abril de 1992 foram apresentados seis artigos no encontro da American Physical Society que relatavam as conclusões da pesquisa de Smoot. Como os dados obtidos tinham grande concordância com o previsto pelo programa de pesquisa do Big Bang, a teoria tinha recebido também um grande reforço:

... a mensagem dos nossos resultados – mensagem que proporcionou tanto alívio aos cosmólogos naquela manhã de abril – era clara. Fred Hoyle afirmou certa vez que a teoria do big-bang era falha porque não podia explicar a formação primordial das galáxias. *Os resultados do COBE¹⁰ provam que ele estava errado¹¹*. A existência das dobras no tempo, como as vemos, nos mostra que a teoria do big-bang, incorporando o efeito da gravidade, pode explicar não só a formação primitiva das galáxias, mas também a agregação, nesses 15 bilhões de anos, de estruturas massivas que sabemos estar presentes no universo de hoje, o que é um triunfo para a teoria e a observação (Smoot, 1995, pg. 310).

Assim como Smoot, muitos cientistas chegaram a falar em *prova*, mas desde Popper (1993) sabemos que isto não procede, uma vez que uma teoria não pode ser provada, mas apenas corroborada. Mas embora não seja provada, a cada novo reforço da teoria, resultado claro de um programa progressivo de pesquisa na terminologia de Lakatos, esta vai se distanciando de possíveis outras teorias que não conseguem o mesmo feito, degenerando-se em relação a ela. Assim, parece que o Big Bang tem se tornado cada vez mais o programa principal da cosmologia, não obstante os defensores de outras formas de compreender o universo¹².

A teoria do Big Bang ainda está em progressão e, em 2003, um outro satélite, o WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)¹³, obteve novas e ainda mais precisas medidas da radiação de fundo, em busca de polarizações previstas para a radiação (Smoot, 2006). Em uma bateria de dados obtidos neste ano de 2003 e uma outra realizada em 2006, foi constatado que “os resultados suportam fortemente o modelo do Big Bang”¹⁴ (Smoot, 2006, pg. 45).

Se isto não nos habilita dizer que a teoria é provada, ao menos nos regozija em saber o quão perto podemos chegar, com nossas teorias, de um efetivo entendimento do universo, a ponto de prevermos oscilações tão ínfimas da ordem de uma parte em centenas de milhares. E, quando estas oscilações são efetivamente constatadas, fica difícil não acharmos que tocamos a verdade. George Smoot¹⁵ resume esta idéia:

¹⁰ Sigla que dá nome ao equipamento de detecção das dobras: **CO**smic **B**ackground **E**xplorer (explorador do ruído cósmico de fundo).

¹¹ Grifo nosso.

¹² Uma alternativa à teoria do Big Bang é delineada por Halton Arp em seu livro O Universo Vermelho, 2001.

¹³ Sonda de anisotropia de microondas Wilkinson. Anisotropia se refere às flutuações de densidade do ruído cósmico de fundo, as dobras no espaço-tempo identificadas pelas variações na radiação.

¹⁴ Livre tradução nossa.

¹⁵ George Smoot recebeu, por suas pesquisas com a radiação cósmica de fundo, o Nobel de Física de 2006, ao lado de John Mather, seu colaborador. Arno Penzias e Robert Wilson também receberam o Nobel por pesquisas com a radiação, e hoje a teoria do Big Bang é o modelo padrão da cosmologia.

A simplicidade e a simetria crescentes do universo, à medida que nos aproximamos do momento da criação, me dão esperanças de que possamos entender o universo utilizando os poderes da razão e da filosofia. O universo seria então compreensível, como Einstein um dia sonhou (1995, pg. 315).

Einstein não foi o único. A constatação de que o universo existe e nossos anseios de que pode ser compreensível é o que move nossa ciência.

CONCLUSÃO

Têm-se difundido muitas visões distorcidas sobre o modo de operar da ciência (Fernández et al., 2002). Abordagens mais preocupadas com o caráter epistemológico da ciência, juntamente com episódios ilustrativos de sua história, podem propiciar um contato mais íntimo com a natureza da atividade científica (Holton, 1979, Martins, 1990, Matthews, 1995, Villani, 2001, Silveira, 2006, Peduzzi, 1992, Peduzzi e Basso, 2005, Gil-Pérez, 2002, Freire Jr., 1996, Moreira et al., 2007, Gagliardi, 1988). Uma posterior pesquisa¹⁶ procurará contribuir com esta discussão, ao propor uma intervenção didática, aportada nos elementos discutidos neste trabalho, com alunos de graduação em física.

Por hora, acreditamos estar colaborando com maneiras mais efetivas de educação, para além do treinamento escolar (Holton, 1979). Ao compreender que a filosofia da ciência fornece um quadro mais medular às nossas tentativas de entender o universo, permitindo assim que os conteúdos estudados não só se apresentem de uma maneira cujas relações cognitivas otimizem o aprendizado, como também propicie uma maior motivação à descoberta, o aluno estará certamente mais próximo da tão almejada soberania intelectual. Para isto, é claro que o professor em formação e constante atualização deve ser incentivado a romper com o mero “conteudismo” (Freire, 2002) descontextualizado, sendo que uma maior atenção à história e filosofia da ciência em sua formação pode ser um bom começo.

REFERÊNCIAS

- ARP, Halton. **O Universo Vermelho**. São Paulo: Perspectiva, 2001.
- _____. **Atlas of Peculiar Galaxies**. Pasadena: Caltech, 1966.
- FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza**. Enseñanza de las Ciencias, 2002, 20 (3), 477-488.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.
- FREIRE, Jr., O. **A relevância da filosofia e da história das ciências para a formação dos professores de ciências**. Florianópolis: Cad. Cat. Ens. Fis., vol. 13, 1996.
- GAGLIARDI, R. **Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias**. Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (3), 291-296.
- GRIBBIN, John R. **No início: antes e depois do Big Bang**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- HOLTON, G. **A imaginação científica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.

¹⁶ Pesquisa de mestrado em educação científica e tecnológica, em conclusão.

- LAKATOS, I. **O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica**. In: I. Lakatos; A Musgrave (Org.). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Cultrix, EDUSP, p. 109-243. 1979.
- LINEWEAVER, C. H.; DAVIS, T. **Equívocos sobre o Big Bang**. *Scientific American*, n. 35, abr. 2005, p. 32-40.
- MARTINS, R. de A. **Sobre o papel da história da ciência no ensino**. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência* (9): 3-5, 1990.
- MATTHEWS, M. R. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.
- MEYERS, R. **Universe: the cosmology quest**. [Filme-vídeo]. Floating World Films, 2004.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. **História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.
- PEDUZZI, L. O. Q.; BASSO, A. **Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 4, p. 545-557, 2005.
- PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSZTAJN, A.; MOREIRA, M. A. **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa seqüência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 14, n. 4, p. 239-246, 1992.
- POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.
- SILVEIRA, F. L. da. **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, F. Lang. da; PEDUZZI, L. O. Q.; **Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006.
- SILK, Joseph. **O Big Bang: a origem do universo**. Brasília: Universidade de Brasília, 1988.
- SIMON, Samuel. **A adequação das teorias matemáticas às teorias físicas: a Teoria da Relatividade**. In: Pietrocola, M.; Freire Jr., O. (Org.). *Filosofia, Ciência e História: uma homenagem aos 40 anos de colaboração de Michael Paty com o Brasil*. São Paulo: Fapesp, p. 137-154, 2005.
- SMOOT, George F. **Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropies: Their Discovery and Utilization**. Nobel Lecture, december 8, 2006.
- SMOOT, George F. & DAVIDSON, K. **Dobras no tempo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.
- VILLANI, Alberto. **Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia**. *Ciência e educação*, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2001.
- WAGA, I. **Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 1, pg. 157-173, mar. 2005.
- WEINBERG, Steven. **Os três primeiros minutos**. Lisboa: Gradiva, 1987.