

A unificação de Newton da física de Galileu com a astronomia de Kepler à luz da crítica Popperiana à indução*

Jenner Barretto Bastos Filho

Departamento de Física, Universidade Federal de Alagoas

Cidade Universitária, 57072-970, Maceió, AL, Brasil

Correio Eletrônico: Jenner@fis.ufal.br

Trabalho recebido em 10 de março de 1995

Resumo

As passagens indutivas a partir de ambas, tanto da Física de Galileu quanto da Astronomia de Kepler, para a teoria da Gravitação Universal de Newton, não podem se sustentar. Nenhum corpo de dados empíricos pode sugerir relações entre g , parâmetro característico da Física de Galileu e K , parâmetro característico da Astronomia Kepleriana, sem auxílio da conjectura ousada constituída por um G universal, princípio explicativo para Céus e Terra. A explicação mais plausível provavelmente requer os conceitos de Conjectura, Abdução e de Intuição Criadora.

1. Introdução

Popper^[1] mostrou que não se pode saltar, através de *raciocínios indutivos*, da teoria de Galileu, que hoje sabemos ser válida, em ótima aproximação, para os movimentos tendo lugar a pequenas distâncias comparativamente ao raio da Terra, para a teoria da gravitação universal de Newton. De maneira análoga, Popper mostrou que a passagem da astronomia de Kepler para a Gravitação Universal não se deu através da *indução*. Tudo isso foi defendido com muita independência, no espírito iluminista do *Sapere Aude*^[2] pois, convém lembrar, e aí é o próprio Popper a enfatizar, estava indo contra a opinião de homens como Isaac Newton e Max Born.

Vejamos do próprio Popper, o que ele entende por *Indução*^[3]:

"Por indução quero dizer uma argumentação tal que, dadas algumas premissas empíricas (singulares ou particulares), leva a uma conclusão universal, a uma teoria universal,

seja com certeza lógica seja 'probabilisticamente' (no sentido em que esse termo é utilizado no cálculo de probabilidades)".

A argumentação de Popper é *grosso modo* a seguinte: não se pode passar indutivamente da teoria de Galileu para a de Newton pois a primeira nos ensina que a aceleração dos corpos em queda livre g é constante para qualquer que seja o corpo enquanto a segunda nos ensina que ela varia durante a queda. Ora, não se pode concluir indutivamente algo se a própria conclusão contradiz as premissas de partida. Logo, conclui Popper, a teoria da gravitação de Newton não pode ser concluída através de uma inferência indutiva tendo como base de partida a teoria dos movimentos locais de Galileu. Evidentemente, a teoria de Galileu admite inteira inteligibilidade, se considerarmos a teoria de Newton da qual ela é uma aproximação.

Conclusão análoga pode ser obtida em relação à astronomia de Kepler. Tendo Kepler formulado as suas

*Este trabalho é dedicado ao Prof. José Maria Filardo Bassalo do Departamento de Física da Universidade Federal do Pará, que no dia 10 de setembro de 1995 completará 60 anos. Várias gerações de estudantes, professores e pesquisadores de nosso país lhe agradecem pelos férteis e generosos ensinamentos contidos em suas belas *Crônicas da Física*.

leis para um sistema de multi-corpos, a passagem indutiva para a teoria de Newton não poderia ter lugar pois, sendo a teoria de Newton relativa a sistemas de dois corpos, a conclusão final invalidaria as premissas de partida. Logo, não seria possível inferir indutivamente a teoria da gravitação de Newton a partir da astronomia kepleriana. Evidentemente, a teoria de Kepler admite inteligibilidade a partir da teoria de Newton da qual ela se constitui em aproximação.

Uma tal argumentação, a despeito de sua aparente simplicidade, tem grande valor. Popper houvera articulado esses raciocínios em 1954 e em abril de 1980 não conhecia nenhuma objeção séria a essa sua crítica à indução. Temos a impressão que mesmo até a sua morte, ocorrida em setembro de 1994, Popper não conheceu qualquer objeção séria a sua crítica à indução a qual contradizia homens como Newton e Born. Até há bem pouco tempo, na tradição de cientistas importantes, notadamente daqueles ligados às correntes empiristas, se acreditou que o método da ciência fosse o indutivo, isto é, as leis da física, por exemplo, seriam concluídas a partir de um grande número, ou pelo menos, de um número satisfatoriamente grande de resultados experimentais. Popper foi suficientemente enfático e assertivo ao dizer que a indução é um mito e o método da ciência não é o indutivo e sim o das conjecturas, conjecturas ousadas feitas às vezes após uma única observação; o método da ciência é, segundo Popper, o do salto conjectural guiado pela intuição o qual não precisa ter grande base empírica (às vezes pode se dar que a base empírica ou é mínima ou quase inexistente), mas precisa do controle empírico das refutações; isso se dá de tal maneira que basta uma única refutação para comprometer teorias belas, caras e extensivamente bem corroboradas; por outro lado, a corroboração, por mais extensiva e abrangente que seja, não garante a verdade de nenhuma teoria.

No presente artigo, argumentamos que a conjectura que permite unificar as teorias de Galileu e de Kepler, além de não poder ter sido inventada através da indução, requer a idéia de **universalidade** para classe de fenômenos que aparentemente nada têm em comuns tais como a queda livre, uma pedra que gira acionada por um menino através de uma corda, a Lua que gira em torno da Terra, o fluxo e refluxo das marés, etc. A **conjectura de universalidade**, de modo algum poderia ter sido concluída pela indução, não somente porque contradiria as premissas de partida, mas também porque nenhuma classe de fenômenos tão díspares per-

mitia um salto de tal envergadura, simplesmente se nos ativessemos estritamente ao mundo empírico. O único guia possível é a intuição que não garante, em nenhum caso, sucesso; as tentativas mal sucedidas são muito mais prováveis. Segundo a metáfora muito usada por Popper, são redes lançadas ao mar para captar a realidade obrigando-a a digerir as nossas conjecturas^[4].

Especificamente neste trabalho, deveremos mostrar que a única maneira de se relacionar o parâmetro **K**, característico fundamental da astronomia kepleriana e o parâmetro **g**, característico fundamental da física dos movimentos locais de Galileu é através da idéia de **universalidade**. Essa adoção é absolutamente necessária. Tendo em vista que as teorias científicas não são formuladas nem por meio de inferências indutivas nem também através de processos estritamente dedutivos, restaria saber então como elas são inventadas. É aí que aparece a idéia de **abdução**,^[5] em relação a qual gostaríamos de dedicar algum espaço.

2. Pontes entre as teorias de Galileu, Kepler e Newton

A conjectura de Newton pode ser entendida através da seguinte pergunta: o princípio explicativo que faz uma pedra, uma maçã, um tijolo, etc., caírem em queda livre de uma dada altura é o mesmo que faz a Lua girar em torno da Terra e Saturno girar em torno do Sol?

É evidente que nenhum corpo de experiências pode sugerir essa idéia de relacionar coisas, à primeira vista tão díspares. Em outras palavras, não havia na época de Newton, meramente pelo inventário de experiências disponíveis, nada que permitia relacionar o **K** de Kepler ao **g** de Galileu. O que permite relacionar é a **conjectura ousada seguinte**: há um princípio explicativo universal que numa dada teoria universal é caracterizado por um parâmetro universal **G** e que a partir de **G** podemos concluir a respeito da relação de **G** com **K**, de **G** com **g**, e naturalmente de **K** com **g** através de **G**. Simbolicamente, escreveremos assim,

$$G = G\{K; g\} \quad (1)$$

2.1 Pontes entre as teorias de Kepler e Newton

As três leis de Kepler nos ensinam que (i) Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol sendo que esse situa-se em um dos focos; (ii) Áreas varridas em tempos iguais pelo raio vetor ligando planeta ao

Sol, são iguais; (iii) A razão entre o cubo do semi-eixo maior da órbita de um dado planeta em torno do Sol e o quadrado do período de translação desse mesmo planeta em torno do Sol é uma constante, independentemente de planeta. Trata-se da constante K de Kepler que tem o mesmo valor para Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno (Kepler não conhecia Urano, Netuno e Plutão os quais também obedecem, em ótima aproximação, todas leis (i), (ii) e (iii)).

Ao se fazer a conjectura intermediária segundo a qual o princípio explicativo que faz Júpiter girar em torno do Sol é o mesmo princípio responsável que faz um menino girar uma pedrinha por meio de um corda, pode-se, ao combinar as três leis de Kepler com a teoria da aceleração centrípeta de Huygens, concluir que a aceleração que age sobre qualquer dos planetas é inversamente proporcional ao quadrado da distância do planeta ao Sol; assumindo-se que a força newtoniana é definida pelo produto da massa pela aceleração, então, a partir dos elementos acima, pode-se deduzir que a força centrípeta agindo sobre um planeta é inversamente proporcional ao quadrado da distância do planeta ao Sol. Muitas pessoas atribuem, erroneamente, que aí já esteja a lei da gravitação de Newton. Que aí esteja um embrião importante da idéia, nada a opôr, mas é necessário dizer que entre o resultado descrito acima e a lei da gravitação universal de Newton existe uma gigantesca diferença conceitual e que o entendimento dessa diferença é fundamental. Podemos mostrar, com simplicidade matemática, o que acima foi dito. Para um movimento circular uniforme, vale uma fórmula simples que expressa a aceleração centrípeta sofrida pelo corpo que é dada por,

$$A = (V^2/R) \quad (2)$$

onde V é a velocidade linear, em módulo constante, e R é o raio da circunferência descrita. Aqui, V é dada por

$$V = (2\pi R/T) \quad (3)$$

onde T denota o período. A combinação de (2) com (3) nos fornece,

$$A = (4\pi^2 R/T^2) \quad (4)$$

A fórmula (4), aplicada ao movimento circular dos planetas, já satisfaz as duas primeiras leis de Kepler; a primeira é satisfeita pois a circunferência é um caso particular da elipse quando os focos coincidem; a segunda

também é satisfeita porque, nesse caso, o módulo da velocidade é constante, o que é evidente, por argumentos de simetria, que isso satisfaz a lei das áreas, ou segunda lei de Kepler; é importante salientar, que no caso geral elíptico, a velocidade orbital não é constante; tendo em vista que no caso geral elíptico vale a lei das áreas, é evidente que a velocidade orbital é maior no periélio que no afélio. A aproximação para o caso particular do movimento circular uniforme não comprometerá os nossos resultados. Tendo em vista que, no nosso caso de movimento circular uniforme, as duas primeiras leis de Kepler já se encontram inseridas em (4), tratemos de inserir também em (4) a terceira lei de Kepler

$$K = R^3/T^2, \quad (5)$$

onde o nosso R é a distância do planeta ao Sol e T é o período de translação do planeta em torno do Sol. Procedendo essa inserção, obtemos,

$$A = 4\pi^2 K/R^2 \quad (6)$$

Se multiplicarmos (6) pela massa do planeta, temos a força centrípeta que age sobre o planeta,

$$F_p = M_p 4\pi^2 K/R^2 \quad (7)$$

É importante que entendamos que (7) não é a lei de Newton; trata-se apenas de um resultado obtido, ao se combinar as três leis de Kepler e a teoria da aceleração centrípeta, para o caso do movimento, aqui suposto, por simplicidade, circular e uniforme. A fórmula (7) não permite, por si só, qualquer vínculo com a aceleração de Galileu; trata-se de um resultado válido apenas para o movimento orbital dos planetas.

Por outro lado, a conjectura de universalidade é a seguinte: **Quaisquer dois corpos do universo, de massas, respectivamente, M_1 e M_2 , atraem-se com forças iguais em módulo, cada uma dessas forças agindo sobre cada corpo, (ação e reação) e igual a**

$$F = GM_1 M_2/R^2 \quad (8)$$

onde os índices 1 e 2 da fórmula acima dizem respeito a quaisquer pares de massa do Universo, podendo ser galáxias, átomos, etc. Trata-se de uma lei com pretensão de universalidade. A quantidade R , diz respeito a distância entre os centros de massa das massas. A questão que se coloca é a da possibilidade do salto de (7) para (8) através de inferência indutiva. Como se

nota, ambas constituem leis do inverso do quadrado da distância. No entanto, (7) diz respeito apenas à massa do planeta e a uma constante que é propriedade específica dos planetas. A conjectura de universalidade (8), no entanto, se refere à interação entre dois corpos quaisquer e a uma constante G que não é propriedade específica e singular de nenhum corpo e sim uma quantidade universal. Perguntaríamos então: Se Kepler considerou as suas leis referentes aos 5 planetas, além da Terra, como relacionadas aos 5 sólidos regulares da geometria (como diria Popper, a um sistema de multi-corpos), quais seriam esses dois corpos de que trataria a conjectura de universalidade (8)?

Sabemos que essas interações a dois corpos dizem respeito, no caso específico, a cada um dos pares {Sol - planeta}; a interação mútua entre os planetas é totalmente desprezada e também tal coisa é difícil de ser concebida à luz de inferências indutivas de (7) para (8). Os pares {Sol-Planeta} são concebidos de tal maneira que são considerados independentes uns dos outros, o que contraria a idéia de uma espécie de *Harmonia do Mundo* à la Kepler envolvendo todos os planetas. Isso sugere que o salto indutivo não se constitui em boa explicação. Por outro lado, se as interações se dão entre quaisquer corpos do Universo, a própria adoção de se considerar apenas os pares {Sol-planeta}, independentemente uns dos outros, requer uma escolha, que rigorosamente é uma aproximação. O ponto mais importante é que essa escolha não pode se dar indutivamente pois contrariaria as premissas de partida tais como as que dizem respeito à harmonia entre os planetas. Evidentemente tudo isso se explica como uma aproximação a partir da teoria de Newton, tendo em vista que a massa do Sol é dominante por ser muitas ordens de grandeza maior que as massas dos planetas.

Aplicamos a conjectura de universalidade ao par {Sol - Planeta}. De (8) teremos,

$$F = GM_S M_P / R^2 \quad (9)$$

Igualando (7) a (9) obtemos,

$$G = 4\pi^2 K / M_S \quad (10)$$

O simples procedimento de igualarmos (7) a (9) parece muito inocente. No entanto, a simplicidade matemática implicada não deve obscurecer o gigantesco salto conceitual acarretado. De fato, (7) é concluída supondo que a força centrípeta que faz a pedrinha girar tem a mesma natureza da força centrípeta que faz

o planeta girar. A massa que aparece nesse contexto, é a , assim chamada, *massa inercial*. No que concerne a (9), a massa do planeta que aparece, massa essa que interage à distância com a massa do Sol, tem uma natureza *gravitacional*, a qual, em princípio, poderia ser diferente da correspondente *massa inercial*. O fato de igualarmos (7) a (9) implica também em igualarmos a massa inercial do planeta à sua *massa gravitacional*. Isso constitui, rigorosamente, uma conjectura que, na verdade, é um enorme salto conceitual. Está aí um embrião importante da igualdade entre as massas inercial e gravitacional.

A Expressão (10) é importantíssima pois relaciona o parâmetro característico da gravitação universal G com o parâmetro característico da astronomia kepleriana K . Ademais, é justamente a hipótese-conjectura de universalidade que permite tirar de (10) uma conclusão notável: *como M_S não é uma grandeza universal, na medida em que a massa do Sol é uma propriedade particular apenas do Sol, segue, da universalidade de G , que K , necessariamente, também não é uma quantidade universal; no entanto, a razão*

$$(K_{\text{Planetas}}/M_{\text{Sol}}) \quad (11)$$

necessariamente tem que ser universal, pois do contrário, G não seria universal.

As considerações feitas acima, permitem escrever,

$$\begin{aligned} K_{\text{Planeta}}/M_{\text{Sol}} &= K_{\text{Lua}}/M_{\text{Terra}} = \\ K_{\text{Io}}/M_{\text{Jupiter}} &= K_{\text{Reia}}/M_{\text{Saturno}} = \dots \quad (12) \end{aligned}$$

O importante da relação (12), que decorre da universalidade de G , é que permite fazer a generalização seguinte: *seja λ um satélite de um centro de gravitação σ , então a expressão*

$$K_\lambda/M_\sigma = G/4\pi^2 \quad (13)$$

é universal. As fórmulas (12) ou (13) nos permitem calcular a razão entre as massas dos planetas através da observação dos movimentos orbitais dos seus respectivos satélites; por exemplo, as razões entre as massas de Júpiter e Saturno, podem ser conhecidas a partir dos valores da constante de Kepler K para *Io* (que é um dos satélites de Júpiter) e da constante K para *Réia* (que é um dos satélites de Saturno). A partir de (12) e usando a terceira lei de Kepler dada por (5) obtemos,

$$(M_{\text{Jupiter}}/M_{\text{Saturno}}) = (R_{\text{Io}}/R_{\text{Reia}})^3 (T_{\text{Reia}}/T_{\text{Io}})^2 \quad (14)$$

As fórmulas acima nos mostram que podemos comparar facilmente as massas de todos os planetas que tenham satélites, simplesmente pela análise dos raios orbitais e períodos de seus respectivos satélites.

De fato, (12) encerra um poderoso argumento contra a indução: como sabemos, a Terra tem somente um satélite (natural); deste modo qualquer inferência indutiva a partir das leis de Kepler (válidas para os planetas), para os "satélites" da Terra é injustificável pois aí, não haveria nenhuma *Harmonia do Mundo* a ser preservada, pois, simplesmente, esses satélites não existem. A expressão (12) é concluída a partir da conjectura de universalidade e não a partir de inferência indutiva pois essa, como vimos, falsificaria a realidade. Perguntar-se-ia então se a situação mudaria se considerássemos os satélites artificiais da Terra. Responderíamos que, à luz da tese da *Harmonia do Mundo*, esse complicador em nada favoreceria ao argumento da inferência indutiva.

Vejamos a seguir, as pontes entre as teoria de Galileu e Newton.

2.2 Pontes entre as teorias de Galileu e de Newton

A famosa lei de Galileu, relacionando o espaço H percorrido em queda livre com o correspondente tempo de queda T é dada por,

$$H = (1/2)gT^2 \quad (15)$$

onde g é a aceleração da gravidade, que é o parâmetro característico da teoria de Galileu. A derivada de (15) em relação ao tempo nos leva a

$$V = gT \quad (16)$$

e a derivada segunda de (15) em relação ao tempo nos leva à aceleração

$$A = g \quad (17)$$

Aplicando o conceito newtoniano de força, um corpo (Suponhamos um Coko) em queda livre está sujeito a força

$$F = M_{\text{Coko}}g \quad (18)$$

Aplicando a conjectura universal de Newton (8) ao par interagente {Coko - Terra} teremos,

$$F = (GM_{\text{Coko}}M_{\text{Terra}}/R_{\text{Coko, Terra}}^2) \quad (19)$$

Como se pode ver, (18) diz respeito a uma aceleração constante enquanto (19) diz respeito a uma aceleração crescente pois a distância entre os centros de massa do Coko e da Terra diminui durante a queda; o denominador de (19) é:

$$R_{\text{Coko, Terra}} = (R_{\text{geométrico da Terra}} + H) \quad (20)$$

Em (20), não consideramos o raio geométrico do Coko pois, para todos os efeitos aqui, o Coko é um objeto pontual. Considerando que o raio geométrico da Terra é bem maior que a altura da qual um coko é abandonado,

$$R_{\text{geométrico da Terra}} \gg H, \quad (21)$$

obtemos uma aproximação para (19) que será escrita assim

$$F \sim GM_{\text{Coko}}M_{\text{Terra}}/R_{\text{geométrico da Terra}}^2 \quad (22)$$

A fórmula (22) pode ser igualada à fórmula (18); é importante salientar que não podemos igualar (19) a (18) pois (19) diz respeito a uma aceleração que aumenta com a queda enquanto (18) diz respeito a uma aceleração constante; no que se refere às expressões (18) e (22), está claro que ambas dizem respeito a quantidades constantes. Comparando pois (18) a (22) temos,

$$G = g_{\text{Terra}}R_{\text{geométrico da Terra}}^2/M_{\text{Terra}} \quad (23)$$

A expressão (23) é muito importante pois relaciona o parâmetro G , característico da teoria de Newton, com o parâmetro g , característico da teoria de Galileu. Ademais, (23) contem no primeiro membro uma grandeza universal e no segundo membro uma combinação de três grandezas singulares posto que se referindo a propriedades singulares da Terra, a saber, a aceleração de sua gravidade, o seu raio geométrico e sua massa. Bem entendido, apesar de (23) conter no segundo membro três quantidades singulares, a relação entre tais quantidades é universal. Do contrário, não valeria a conjectura da universalidade. Isso significa, que quaisquer movimentos locais, no sentido de Galileu, obedecem, em ótima aproximação, a (23), o que permite escrever,

$$(g_{\beta}R_{\beta}^2/M_{\beta}) = G \quad (24)$$

onde o sub-índice β diz respeito a qualquer objeto (satélite, planeta, Sol, etc.) no qual possa, em princípio, cair um corpo em queda livre.

Assim como em (13), G está relacionado com o K generalizado de Kepler, em (24), G está relacionado com o g generalizado de Galileu. Graças à universalidade de G , podemos relacionar os parâmetros generalizados de Kepler e Galileu e testar a conjectura.

3. Teste da conjectura de Newton

Fazendo uso das equações (13) e (24) onde o λ em (13) diz respeito à Lua, σ em (13) diz respeito à Terra e β em (24) diz respeito à Terra, obtemos, ao explicitar o valor da aceleração da gravidade na Terra g ,

$$g_{\beta} = GM_{\beta}/R_{\beta}^2 = (4\pi^2 K_{\lambda}/M_{\beta})(M_{\beta}/R_{\beta}^2) \quad (25)$$

Aplicando a lei de Kepler à Lua e multiplicando em ambos, numerador e denominador, pelo raio geométrico da Terra, temos

$$g_{\beta} = (4\pi^2/T_{\lambda}^2)(R_{\lambda}/R_{\beta})^3 R_{\beta} \quad (26)$$

onde R_{λ} e R_{β} dizem respeito, respectivamente, ao raio orbital da Lua em torno da Terra e ao raio geométrico da Terra; T_{λ} é o período orbital da Lua em torno da Terra. Se utilizarmos os seguintes dados numéricos: $T_{\lambda} = 28$ dias, a razão entre o raio orbital da Lua em torno da Terra e o raio geométrico da Terra como igual a 60 e o raio da Terra igual a 6400 quilômetros, obtemos o resultado, $g_{\text{Terra}} = 9,32 \text{ m/s}^2$ em razoável concordância com o valor mais preciso $g_{\text{Terra}} = 9,8 \text{ m/s}^2$. Como se pode ver, a conjectura de relacionar o K generalizado de Kepler com o g generalizado de Galileu (no caso específico o g é o da própria Terra mas poderia ser qualquer outro) requer um princípio explicativo G universal. Nada do que se faz em um teste desse tipo se assemelha a um processo de inferência indutiva e nem mesmo se parece com uma demonstração propriamente. Ao esclarecimento desse importante ponto, devemos muito a Popper.

4. Abdução, intuição e conjectura

A fim de iluminar a presente discussão, comecemos por uma citação de Einstein que se relaciona muito enfaticamente com o tema aqui em debate^[6].

"...Nenhum caminho lógico leva a essas leis elementares, mas apenas a intuição, apoiada

pelo contato simpático com a experiência... não há ponte lógica da experiência para os princípios básicos da teoria... Os físicos acusam muitos epistemologistas de não darem peso suficiente a essa circunstância."

No que diz respeito ao nosso exemplo, diríamos que se considerarmos o nosso inventário de leis empíricas constituído pelas leis da astronomia kepleriana (suas três leis), pelo conhecimento experimental da lei da queda livre de Galileu e da lei da composição dos movimentos que geram a trajetória parabólica, não existiu caminho algum que dispensasse o guia da intuição, a fim de que Newton alcançasse a teoria da gravitação universal. Essa intuição, tal com Einstein sugere, é apoiada pelo contato simpático com a experiência. Deste modo, em que pese não ser arbitrária, ela não constitui nem uma decorrência lógica da massa de dados empíricos nem tampouco é redutível a tais dados. Em outro ensaio, Einstein escreve^[7]:

"A concepção mais simples [modelo] que se poderia fazer da origem de uma ciência natural é o do método indutivo. Os fatos isolados são escolhidos e agrupados de tal maneira que a conexão justificada entre eles se afirma claramente... Mas um rápido exame dos fatos reais nos mostra que só um pequeno número de passos a frente no conhecimento científico foi dado dessa maneira. Pois se o pesquisador iniciasse o seu trabalho sem nenhuma suposição prévia, como poderia selecionar os fatos, entre a imensa abundância da mais complexa experiência, e exatamente os que são bastante simples para permitir que ligações justificadas se tornem evidentes?"

É em relação a essa suposição prévia a que se refere Einstein que teceremos comentários. - Quando os fatos e circunstâncias experimentais são muitos, como então poderíamos selecioná-los?

Em relação a tais fatos e circunstâncias, existiria uma tal quantidade de possibilidades que uma faculdade intuitiva, não redutível aos fatos mas apoiados por eles, torna-se absolutamente necessária. Um exemplo clássico torna-se aqui interessante trazer à baila. Trata-se do caso (às vezes interpretado como mito ou como anedota) de que Newton houvera formulado a lei da gravitação universal após constatar a queda de uma

maçã. Ora, reduzir uma intuição tão profunda e abrangente à queda de uma maçã é simplesmente ridículo. No entanto, não é absurdo algum que o momento da queda da maçã, tenha desempenhado um papel importante no ato de intuir que um princípio universal seja o responsável tanto por aquela queda como por uma gama enorme de fenômenos aparentemente desconexos e díspares. Como sabemos, a conjectura não é a maçã em si, e sim a questão do princípio explicativo de um nível tal de universalidade que abrangesse fenômenos como a queda dos corpos, as revoluções dos corpos celestes em torno de seus centros de gravitação que por sua vez podem revolucionar em torno de outros centros de gravitação, o fluxo e refluxo das marés, a diferença entre a aceleração da gravidade no equador e no polo, etc. Perguntaríamos então que corpo de experiências poderia permitir aplicar a teoria da aceleração centrípeta, válida para o caso da pedrinha e do cordão, e aplicasse aos planetas, e mais ainda, a relacionasse à interação entre o planeta e o Sol, através de um princípio universal G ? Faz-se necessário que as massas que intervêm no âmbito da mecânica (como o sistema pedra/cordinha) tenham a mesma natureza que as massas gravitacionais, isso é, que a *massa inercial* seja igual à *massa gravitacional*. Faz-se necessário também inventar os conceitos de *massa* e de *força*. Isso transcende, em muito, a qualquer inventário empírico disponível. Trata-se de um salto intuitivo, fortemente armado, em plena sintonia simpática com a experiência, como diria Einstein, mas transcendendo, em muito, o mundo empírico.

Um outro aspecto nos ajuda a entender esse ponto importante. A partir de (14), temos condições de calcular a razão entre massas de planetas para aqueles planetas que tenham satélites, através da conjectura do princípio explicativo universal G . Para os planetas que não tenham satélites como (Mercúrio e Vênus) deveremos procurar um outro método diferente de (14). Há uma lição epistemológica importante pois fica transparente que pensamos através de teorias. É o desenvolvimento através das conjecturas ousadas que nos permite inferir sobre coisas como razão de massas entre planetas; claro está, isso não seria possível de ser inferido indutivamente a partir de teorias singulares e/ou particulares.

Charles Sanders Peirce, físico e filósofo muito admirado por Popper, foi um dos pensadores que aportaram contribuições relevantes sobre os problemas da indução, da dedução e da abdução. Peirce escreve^[8]:

"A indução determina o valor de uma quantidade. Acompanha uma teoria e mede o grau de concordância dessa teoria com os fatos. não poderá nunca dar origem a uma nova idéia. Nem a dedução. Todas as idéias da ciência vêm através da Abdução. Abdução consiste em estudar fatos e inventar teoria para explicá-los. Sua única justificativa é que, se for para entender as coisas deve fazer-se assim."

Do texto acima podemos depreender que o processo realmente criativo, aquele que segundo Peirce de fato constitui-se, genuinamente, em idéias da ciência, vem através da abdução. Nem a indução nem a dedução constituem-se em raciocínios genuinamente criativos. A indução é monótona e assim não pode introduzir nada de novo. A dedução é estritamente lógica e assim não pode também constituir nada de novo. A Abdução de Peirce é pois, muitíssimo parecida com o salto intuitivo de Einstein o qual é guiado por uma intuição que, embora transcenda a experiência, é apoiado simpaticamente por ela. Mas o salto intuitivo de Einstein e a abdução de Peirce são aventuras cognitivas sujeitas a erro. Peirce escreve^[9]:

A inspiração abductiva acontece em nós num lampejo. É um ato de insight, embora extremamente falível. É verdade que os elementos da hipótese estavam antes em nossa mente; mas é a idéia de associar o que nunca antes pensáramos em associar que faz lampear a inspiração abductiva em nós".

Não há explicações lógicas para essas inspirações abductivas ou "insights"; também não há nada de misterioso; o espírito humano não é redutível nem à lógica nem às operações lógicas; a idéia de associar idéias e a partir daí criar conhecimento novo é um processo intuitivo, conjectural, em relação ao qual não há qualquer garantia de sucesso. No entanto, assim é que devemos proceder a fim de avançar o conhecimento. Popper, no seu livro *A Lógica da Pesquisa Científica* defende idéias bastante próximas das de Einstein e Peirce aventadas acima; vejamos uma passagem^[10]

"Todavia, a visão que tenho do assunto, valha o que valer, é a de que não existe um método lógico de conceber idéias novas ou de reconstruir logicamente esse processo. Minha maneira de ver pode ser expressa na afirmativa

de que toda descoberta encerra um "elemento irracional" ou uma "intuição criadora" no sentido de Bergson. De modo similar, Einstein fala da 'busca daquelas leis universais (...) com base nas quais é possível obter, por dedução pura, uma imagem do universo. não há caminho lógico', diz ele ' que leve a essas (...) leis. Elas só podem ser alcançadas por intuição, alicerçada em algo assim como um amor intelectual (Einfühlung) aos objetos de experiência."

Parece bastante enfática a semelhança entre a abdução de Peirce, o salto intuitivo de Einstein, nem lógico nem indutivo, a intuição criadora de Bergson e as conjecturas ousadas de Popper.

5. Observações finais a título de conclusão

A indução do tipo um gato é preto, dois gatos são pretos, ..., mil e quarenta e cinco gatos são pretos logo, todos os gatos são pretos, é pobre, não criativa e logicamente insustentável; se o milésimo quadragésimo sexto gato for branco, a inferência cai por terra e não há qualquer justificativa lógica para que não caia; logo, não há sustentação lógica para a indução; Hume notou com especial perspicácia esse verdadeiro calcanhar de Aquiles da tese empirista; como nos ensinou Popper, a consideração de indução probabilística não muda a essência do argumento e também nesse caso, a indução não se sustentará logicamente. A indução, também não pode criar nada de novo; não cria idéia nova alguma e desta maneira não pode explicar os avanços cognitivos da ciência.

Por outro lado, um raciocínio estritamente dedutivo, se prende às premissas de partida e somente se permite chegar a aquilo que não extrapole as conclusões necessárias. Deste modo, a dedução também é pobre para criar conhecimento novo sobre o mundo.

Somente pela intuição criadora, aquela que inventa teorias para explicar fatos, podemos avançar o conhecimento. As teorias são eternamente conjecturais por maior que seja a sua corroboração empírica; desta maneira, mesmo que seja extensivamente corroborada, bastará um só caso de reprovação para que seja irremediavelmente demonstrada a sua falsidade. Deste modo não há como **verificar** teorias no sentido de dar-lhes o veredicto de **falsa ou verdadeira**. O critério de demarcação correto, segundo Popper, a fim de distinguir o conhecimento científico do metafísico, não é o critério

da **verificação** e sim o do **falseabilidade**. Nunca saberemos quando uma teoria é verdadeira pois o máximo que podemos dizer é que ela resistiu ao teste até então; podemos, no entanto, dizer que ela é falsa se não resistiu a apenas um teste, independentemente da abrangência de sua base empírica. Em outras palavras não existe nenhum método de se verificar, isto é, de se julgar dicotomicamente sobre **verdade/falsidade** de uma teoria. Em outras palavras, saberemos com certeza quando temos uma teoria falsa, mas jamais saberemos, mesmo se tivermos uma teoria verdadeira, que ela é assim. Popper bebe, muito criativamente, na sabedoria pre-socrática, a intuição de Xenófanes segundo a qual **tudo é entretido de conjecturas**.

Popper rejeita tanto o critério da **significação** de Carnap quanto o critério da **verificação** defendido por vários autores, entre eles Reichenbach, Wittgenstein, Schlick e Waismann. Quanto ao critério da **significação**, Popper não pode aceitar pois há muitas metafísicas plenas de significado, tais como as relativas ao *atomismo especulativo*. Deste modo, o critério de Carnap é insustentável.

O critério do **falseamento** como demarcador da linha fronteira entre conhecimento científico e metafísico semeia a solução popperiana do problema da indução que Hume houvera posto. Ora, como os critérios do **significado** e da **verificação** falham como demarcadores entre os conhecimentos científico e metafísico, dispensa-se portanto a necessidade de se **verificar** conclusivamente sobre **verdade/falsidade** de uma teoria; portanto não há necessidade de justificar, através da indução, a suposta verdade das teorias científicas pois elas são eternas conjecturas; portanto a indução é um mito e a tese empirista segundo a qual a verdade das teorias é assegurada através da indução, é falsa. E assim se relacionam, bastante enfaticamente os problemas da demarcação e da indução. Que o critério da **verificação** é falso podemos mostrar com o problema de que trata nosso artigo. Efetivamente, a abrangente corroboração da teoria gravitacional de Newton não assegura a sua suposta **verificação** no sentido de que a julgemos verdadeira, pois a precessão do periélio de Mercúrio é suficiente para demonstrar a sua falsidade. É impossível **verificar** a verdade de uma teoria, porém é sempre possível demonstrar a sua falsidade e essa constitui uma característica fundamental das teorias científicas.

A conjectura fértil e extraordinária constituída pela presunção de que há um princípio universal *G* que une

cúe e terras não poderá jamais ser verificada no sentido em que julgemos sobre sua veracidade. No entanto, o grau de sua resistência aos testes nos informam sobre a realidade e a qualquer momento ela poderá vir a ser refutada. A Teoria Geral da Relatividade, que é mais abrangente que a Teoria da Gravitação Universal de Newton e que, além disso, baseia-se numa concepção de espaço e tempo radicalmente diferente, mantém a constante universal G . Ainda assim, a possível veracidade de uma tal conjectura, não é, por essa razão, conclusivamente demonstrada. Entre outras razões, isso se dá porque existem fenômenos, tais como as interações eletromagnéticas, nos quais G não desempenha qualquer papel. Assim, é através de nossas conjecturas e invenções sobre o mundo que podemos conhecê-lo melhor. Popper, numa interessante passagem escreve^[11]:

" Kant tinha razão ao dizer que 'nosso intelecto não deriva suas leis da natureza, mas impõe suas leis à natureza'. Ao imaginar porém que essas leis fossem necessariamente verdadeiras ou que necessariamente teríamos êxito em impô-las à natureza, ele se enganou. Muitas vezes a natureza resiste com êxito, forçando-nos a rejeitar nossas leis - o que não nos impede de tentar outras vezes ".

Segundo Popper, Kant acreditava que a dinâmica e a teoria da gravitação universal de Newton fossem, ambas, expressões da verdade. Adotava portanto uma postura essencialista. As corroborações da teoria de Newton eram tantas e em tal grau de abrangência, que para ele não restava a menor dúvida de que eram realmente expressões da verdade. Euler se referiu igualmente, aos princípios da mecânica de Newton os quais haviam se estabelecido tão firmemente e tão profundamente que não caberia a ninguém levantar a menor suspeita de sua veracidade. Hoje, sabemos que tanto a mecânica, quanto a teoria da gravitação universal de Newton, a despeito de seus enormes poderes explanatórios, são, ambas, falsas, sob o critério popperiano da falseabilidade. A teoria gravitacional de Newton é falsa não somente porque não resistiu ao fenômeno da precessão do periélio de Mercúrio. Ela também é falsa em muitos outros aspectos tais como, por exemplo, por admitir interações instantâneas à distância, não considerar o problema de multi-corpos envolvendo a contribuição não apenas da interação Planeta - Sol mas também de {Planeta - Planeta}, por considerar massas enormes e extensas interagindo como pontos materiais; todas es-

sas, decerto, são aproximações excelentes da realidade. O ponto importante aqui, é que, rigorosamente, não correspondem à verdade. Há artigos que advogam pelo caráter caótico da órbita de Plutão. Se assim for, a nossa fantástica precisão no tocante à previsão de eclipses é excelente apenas para tempos comparáveis, por exemplo, com o das Civilizações; para tempos remotos, cosmológicos, a situação será completamente imprevisível.

Duas palavras finais. Falsear teorias não significa deixar de reconhecer o grande valor que elas representam; significa aprender com os nossos erros e conhecer melhor o mundo em que vivemos.

6. Referências e Notas

1. K. R. Popper, *Conjecturas e Refutações*, Editora Universidade de Brasília, Prefácio à edição brasileira pp. 23 - 25, (1982), segunda edição. Ver também, Capítulo V do livro de Popper *Conhecimento Objetivo*, pp. 180 - 192, Editorial Tecnos S.A. Madrid (1974).
2. Ver citação de Kant sobre o Iluminismo contida em *Conjecturas e Refutações*, ref. [1], pp 204 - 205.

" O Iluminismo é a emancipação do homem de um estado de tutela que ele impõe a si mesmo...da incapacidade de usar sua própria inteligência sem uma orientação externa. Defino esse estado de tutela como "auto-imposto" porque é devido não à falta de inteligência, mas sim à falta de coragem e de determinação para usar a inteligência sem a ajuda de um guia. Sapere Aude! Tem a coragem de usar tua inteligência! Este é o grito de batalha do Iluminismo".

O que queremos ressaltar é que a independência intelectual de Popper se assenta muito bem no espírito do Sapere Aude.

3. K. R. Popper, *Conjecturas e Refutações*, referência [1], p. 23.
4. K. R. Popper, *O Universo Aberto*, Volume II do Pós- Escrito à Lógica da Descoberta Científica, Capítulo III p. 58, Publicações Dom Quixote, Lisboa, Portugal (1988).
5. C. S. Peirce, In *Coleção Os Pensadores*, Fascículo Peirce/Frege, ver Estudos Coligidos, Conferências

- sobre o Pragmatismo, Nova Cultural, São Paulo (1989).
6. A. Einstein, Citado a partir do livro **A Imaginação Científica** de Gerald Holton, p. 92 e nota 23 do capítulo III p. 279, Zahar Editores, Rio de Janeiro, (1979). [Holton se refere ao livro *Ideas and Opinions by Albert Einstein*, Nova York; Crown Publisher, Inc. (1954) pp. 224 - 227].
 7. A. Einstein, Citado a partir do livro de Holton da referência [6], p. 96; ver também nota 31 do capítulo III p. 280. [Holton se refere ao artigo de Einstein *Induktion und Deduktion in der Physik*, publicado no *Berliner Tageblatt*, 25 de dezembro de 1919].
 8. C. S. Peirce, referência [5] p. 9.
 9. C. S. Peirce, referência [5] p. 19.
 10. K. R. Popper, *A Lógica da Pesquisa Científica*, Editora Cultrix, São Paulo p. 32, (1974).
 11. K. R. Popper, *Conjecturas e Refutações*, referência [1] p.78, (1982).