

# A RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE E MATEMÁTICA A PARTIR DE GASTON BACHELARD

## THE RELATIONSHIP BETWEEN COMPLEXITY AND MATHEMATICS FROM GASTON BACHELARD

*Willian dos Santos Godoi<sup>1</sup>*

**Resumo:** O presente artigo tem por objetivo apresentar com base no pensamento de Gaston Bachelard a relação entre a complexidade das noções científicas e sua relação com a metodologia matemática utilizada pelas ciências. A ciência contemporânea ao utilizar como ferramenta metodológica a teorização matemática, descobre que os fenômenos estudados por ela são compostos por diversos tipos de relações que escapam a análise puramente empírica. A matemática consegue examinar de maneira mais profunda o fenômeno, e descobre que aquilo que parece simples aos sentidos, é na realidade, complexo, pelo fato de ser composto por uma diversidade de elementos. A epistemologia da complexidade de Bachelard se opõe ao ideal reducionista de tipo cartesiano que procurava estudar os fenômenos partindo da sua simplicidade aparente. O pensamento cartesiano ao simplificar os fenômenos, mutila características que os compõem e sempre busca iniciar a análise daquilo que é imediatamente captado pelos sentidos. A epistemologia não-cartesiana procura compreender o avanço científico contemporâneo, em relação ao uso de sua metodologia matemática, e a preservação de todas as características que fazem parte do fenômeno. A simplicidade só existe para um pensamento de primeira aproximação. Dessa forma, utilizaremos como exemplo, a ideia de complexidade partindo de um exemplo preciso da física, procurando realizar a conexão entre a complexidade e o saber matemático a partir de Bachelard.

**Palavras-chave:** Complexidade. Simplificação. Massa. Racionalismo. Reduccionismo. Cartesianismo.

**Abstract:** This article aims to present based on the thought of Gaston Bachelard the relationship between the complexity of scientific concepts and their relation to mathematical methodology used by the sciences. The contemporary science to use as a methodological tool to mathematical theorizing, and discovers that the phenomena studied by it are composed of different types of relationships that are beyond the purely empirical analysis. Mathematics can examine more deeply the phenomenon, and discovers that what seems simple to the senses, is actually complex, because it is composed of a variety of elements. The epistemology of complexity Bachelard opposes the ideal type of Cartesian reductionist were looking for studying phenomena starting its apparent simplicity. The Cartesian thought to simplify the phenomena, mutilates characteristics that make up the phenomenon and always tries to start the analysis of what is immediately perceived by the senses. Epistemology non-Cartesian seeks to understand the contemporary scientific advance, regarding the use of their mathematical methodology, and the preservation of all the features that are part of the phenomenon. The simplicity exists only for a thought of first approximation. Therefore, we will use as an example the idea of complexity, from a specific example of physics, trying to realize the connection between complexity and mathematical knowledge from Bachelard.

**Keywords:** Complexity. Simplification. Mass. Rationalism. Reduccionism. Cartesianism.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Filosofia pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR. E-mail: willian.filosofia@yahoo.com.br

## **Introdução**

O objetivo desse artigo é apresentar, pautando-se na perspectiva do filósofo francês Gaston Bachelard, as relações entre a complexidade dos fenômenos científicos e a metodologia matemática da ciência contemporânea. Bachelard defende que a investigação científica hodierna tem como base os fenômenos da natureza em suas relações complexas. A complexidade dos fenômenos científicos tem conexão com a metodologia eminentemente matemática das teorias físicas e químicas contemporâneas. A atividade científica pautada em uma metodologia matemática expõe diversos tipos de relações entre os objetos e as noções científicas. A filosofia científica de Bachelard se propõe a apresentar um pensamento filosófico que compreenda a complexidade dos fenômenos apresentados pela ciência contemporânea, entretanto, para a confecção desse artigo, procuraremos apontar unicamente a importância da matemática para a construção e a compreensão dos fenômenos complexos da ciência.

O pensamento científico moderno tinha como base metodológica o ideal cartesiano de redução dos fenômenos da natureza, dessa forma, tanto os fenômenos quanto as noções científicas deveriam ser considerados como entidades simples para poderem ser claramente compreendidos.

O papel da matemática para a ciência no período moderno reduzia-se apenas a descrever os fenômenos encontrados na natureza. A pesquisa científica partia da observação puramente empírica dos fenômenos naturais, e o cientista, considerava seu trabalho bem sucedido quando conseguia expressar os fenômenos observados através da linguagem matemática.

O método puramente empírico com base no ideal simplificador cartesiano, apenas revelava uma característica simples dos fenômenos observados, e para Bachelard, isso se devia ao fato da experiência não conseguir captar além das características superficiais dos objetos.

O trabalho epistemológico de Bachelard, visa apresentar que a ciência contemporânea pensa além da metodologia reducionista cartesiana e desse modo, modificou sua forma de compreender os objetos e também a forma de abordagem em relação a descrição matemática dos fenômenos. A matemática não estaria reduzida a apenas

descrever os fenômenos encontrados na natureza pelo cientista. O cientista contemporâneo não mais se dirige primeiramente a natureza para encontrar os fenômenos, visto que os objetos que são estudados pela ciência contemporânea não podem mais ser captados pela experiência. O papel da matemática na ciência contemporânea é o de revelar realidades que estão ocultas pelos sentidos, assim, apoiado em uma metodologia matemática o cientista consegue descobrir um átomo, um elétron, uma curvatura do tempo-espço, uma singularidade gravitacional e etc.

A metodologia matemática, que para Bachelard é a base da ciência contemporânea, revelou que os fenômenos estudados pelos cientistas não eram tão simples como postulava o pensamento cartesiano. No interior de uma noção científica existem várias relações matemáticas que acabaram revelando o caráter complexo dos fenômenos estudados. Se a simplicidade era afirmada pela prática puramente empírica do cientista, na ciência contemporânea que utiliza a matemática como método, a simplicidade parece não existir.

Segundo Bachelard se acompanharmos a atividade científica contemporânea:

com atenção, ou melhor, com interesse apaixonado, vemos entabolar-se uma diálogo filosófico que tem o mérito de excepcional precisão: o diálogo entre o experimentador dotado de instrumentos rigorosos e o matemático que ambiciona informar de perto a experiência. Enquanto nas polêmicas filosóficas, no mais das vezes, o realista e o racionalista não conseguem falar de uma mesma coisa, tem-se a nítida e consoladora impressão de que, no diálogo científico, os dois interlocutores falam do mesmo problema. (BACHELARD, 1977, p. 7).

O próprio método de teorização matemática e a prática do cientista para a concretização na realidade dos fenômenos previstos pela matemática, é em si mesmo complexo, visto que junta os esforços da teorização matemática com a realização prática<sup>2</sup>.

Assim, procuraremos caracterizar rapidamente, o problema do reducionismo cartesiano para o pensamento científico contemporâneo, e em seguida, descreveremos a

---

<sup>2</sup> Para Bachelard a atividade científica contemporânea é animada por aquilo que ele denominou de “racionalismo aplicado”, que poderia ser definido como um racionalismo matemático unido a realização prática do cientista. Filosofias tradicionais como o racionalismo, o empirismo e o realismo não conseguiriam mais explicar por si próprias o desenvolvimento da atividade científica contemporânea, especialmente pelo fato de unificarem em si o objeto de estudo das ciências, e também, por não poderem descrever exatamente a complexidade apresentada pelas ciências contemporâneas.

evolução da noção científica de “massa”, partindo de um ponto de vista simplificador com base em um ponto de vista puramente empírico, até a concepção científica contemporânea que apresenta mudanças significativas em relação à noção, com base em uma metodologia matemática que revela aspectos que até então passaram despercebidos dentro da noção de massa e que a tornam uma noção complexa.

## **1. O problema do pensamento cartesiano**

As ciências operaram uma mudança epistemológica no qual, a complexidade dos fenômenos é o que deve ser considerado pelo cientista a fim de se conseguir uma melhor objetivação do fenômeno investigado. A crítica de Bachelard se direciona às filosofias que pretendem apresentar ideias simples e absolutas para explicar ou descrever os objetos do conhecimento científico, e que desse modo, não conseguiriam ser capazes de compreender a complexidade dos fenômenos apresentados pelas ciências contemporâneas.

As ideias simples e absolutas são um obstáculo para o pensamento científico contemporâneo, pois, acomodam a investigação científica em um pensamento que parecesse acabado, e desse modo, não teria mais a necessidade de ser investigado devido ao seu entendimento e a sua aparente finalização.

A epistemologia cartesiana por ter sido o sistema filosófico que postulou a clara compreensão dos objetos através da simplificação, é o principal alvo das críticas de Bachelard, pois, considerava como simples os processos complexos, e colocava o simples e distinto como base de construção dos processos complexos da realidade.

Os objetos do conhecimento científico contemporâneo não possuem como característica aquilo que é considerado simples e claro, assim, é necessário pensar a ciência contemporânea fora do ponto de vista cartesiano, e desse modo, Bachelard propõe uma epistemologia “não-cartesiana”, que seria capaz de levar em consideração as relações entre os objetos e as noções científicas. A epistemologia não-cartesiana teria como objetivo compreender o objeto científico em suas relações e em sua complexidade, e assim, a filosofia que quisesse compreender o pensamento científico contemporâneo, deveria ser aderente a ideia de não encerrar os objetos científicos em filosofias que descrevessem esses objetos através de um ponto de vista fixo e isolado.

O pensamento cartesiano foi responsável pela dicotomia entre matéria e espírito. Essa dicotomia exerceu um papel significativo para as ciências que sucederam Descartes, pois a “[...] filosofia e ciência natural [...] desenvolveram-se com base na polaridade entre *res cogitans* (‘coisa pensante’) e *res extensa* (‘coisa extensa’), a ciência natural concentrando seu interesse na ‘coisa extensa’” (HEISENBERG, 1999, p. 112, grifo do autor).

A matéria ou a massa foi o objeto privilegiado de estudo pelas ciências modernas que partiram da redução cartesiana do mundo para acreditar que seus fenômenos eram simplesmente materiais. O mecanicismo teve origem nessa visão material do universo, e o objetivo da ciência moderna, era explicar os fenômenos da natureza, apenas levando em consideração a formação material dos fenômenos. A redução dos fenômenos a partículas materiais simples, e a utilização da matemática como descrição do movimento dessas partículas, resultou na crença determinista, visto que as posições futuras dessas partículas podiam ser previstas pela formulação de um cálculo matemático.

Por sua vez, com o advento das ciências contemporâneas, a matemática ganhou um novo aspecto, não sendo apenas aquele de descrever em linguagem numérica os fenômenos apreendidos pelos sentidos, e sim, o de realizar relações entre os conceitos científicos e apontar para a possibilidade dos fenômenos da teoria serem concretizados na realidade, assim:

Quando se compreendeu bem [...] que a experimentação está sob a dependência duma construção intelectual anterior, procuram-se do lado do abstrato as provas da coerência do concreto. O quadro das possibilidades de experiência é então o quadro das axiomáticas. (BACHELARD, 1978, 173).

Desse modo, Bachelard afirma que deve-se compreender que “[...] a base do pensamento objetivo em Descartes é estreita demais para explicar os fenômenos físicos. O método cartesiano é reduutivo, não é indutivo.” (BACHELARD, 1978, p. 159). A objetividade do pensamento científico com base numa metodologia matemática, revela fenômenos interligados por diversos tipos de relações. A simplicidade postulada pelo pensamento cartesiano mutila as relações que compõem os fenômenos.

Para Bachelard “simplificar é sacrificar” (BACHELARD, 2004, p. 97), assim, mutilação e empobrecimento é o que resulta de uma ciência que tem como base uma

metodologia de simplificação dos fenômenos e das noções. De maneira geral, “é sempre a mesma definição metodológica que prepondera: ‘Dize-me como te procurar e dir-te-ei quem és’” (BACHELARD, 1978, p. 160). O simples é encontrado porque há um método de simplificação que o procura. O próprio pensamento simplificador parte de base da divisão da natureza em fenômenos simples e desse modo, o simples é a única coisa que esse pensamento consegue encontrar, devido ao postulado do seu método.

As ideias simples “[...] não são a base definitiva do conhecimento; aparecerão por conseguinte num outro aspecto quando as colocarem numa perspectiva de simplificação a partir das ideias completas” (BACHELARD, 1978, p. 164).

Para Bachelard, o problema da simplicidade dos fenômenos também se deve a uma análise puramente empírica da realidade, em que a complexidade não se apresenta visivelmente nos fenômenos, podendo ser apenas apreendida no interior de um pensamento teórico. O método cartesiano como base de pesquisa da ciência moderna postulou apressadamente a simplicidade dos fenômenos da natureza com base apenas na experiência.

A primeira vista, a complexidade dos fenômenos foi considerada uma perturbação, visto que ela contradiz a experiência sensível, e desse modo, Bachelard afirma: “Que esforço de pensamento puro, que fé no realismo algébrico foram precisos para associar o movimento e a extensão, o espaço e o tempo, a matéria e a irradiação.” (BACHELARD, 1978, p. 160).

A física contemporânea no campo da microfísica não reduz a matéria a algo simplesmente material, a própria noção é entendida também como energia. Para a física contemporânea, os aspectos fenomênicos mais importantes são os que tem a ver com a sua energia, pois é “[...] a noção de energia que forma o traço de união mais frutuoso entre a coisa e o movimento; é por intermédio da energia que se mede a eficácia de uma coisa em movimento, é por este intermédio que se pode ver como um movimento se torna uma coisa.” (BACHELARD, 1978, p. 120).

A noção de matéria em si própria apresenta uma estrutura complexa, e não apresenta a simplicidade material como queria a filosofia cartesiana ao postular sobre a extensão desta. A física contemporânea através do estudo sobre a irradiação do átomo, apreende que ele

não só atomiza todos os fenômenos que se concentram nele, mas também dá uma estrutura a toda energia que emite. O próprio átomo é

transformado de maneira descontínua pela absorção ou emissão de energia descontínua. Por conseguinte, não basta mais dizer que a matéria nos é conhecida pela energia como a substância por seu fenômeno, tampouco se deve dizer que a matéria tem energia, mas sim, no plano do ser, que a matéria é energia e que reciprocamente a energia é matéria. (BACHELARD, 1978, p. 123).

As ideias simples são sustentadas pela intuição imediata, baseadas numa análise apurada e mal elaborada da realidade, porém, quando a realidade passa a ser analisada por um método matemático que abrange primeiramente o fenômeno por uma via puramente teórica, as ideias simples são destituídas de sentido, visto que o próprio método matemático requer uma junção entre a teoria e prática, assim, substitui-se a “[...] descrição usual e concreta uma descrição matemática e abstrata. Esta descrição matemática não é clara por seus elementos, não é clara a não ser em seu acabamento, por uma espécie de consciência de seu valor sintético.” (BACHELARD, 1978, p. 161).

Quando se fala de uma epistemologia não-cartesiana, a intenção não é criticar Descartes nas suas teses referentes a física, a crítica se remete sobre “[...] uma condenação da doutrina das naturezas simples e absolutas.” (BACHELARD, 1978, p. 161). O método cartesiano que guiou o pensamento científico moderno, embasado na redução de elementos, é oposto ao método científico contemporâneo que se baseia em um método matemático que procura cada vez mais fazer relações entre os conceitos científicos.

A epistemologia não-cartesiana proposta por Bachelard levaria em consideração a ideia de que “longe de ser o ser que ilustra a relação é a relação que ilumina o ser”. (BACHELARD, 1978, p. 162), e dessa forma, foi proposta por Bachelard, para apontar a necessidade de um pensamento filosófico que não fixe as noções científicas e não reduza a complexidade apresentada matematicamente pela ciência contemporânea. O projeto epistemológico de Bachelard vai em direção a uma filosofia científica que deveria ser capaz de acompanhar as mudanças realizadas pela ciência contemporânea, principalmente na análise da complexidade apresentada por um pensamento de matriz matemática.

Utilizaremos a noção de massa<sup>3</sup>, considerada simples pelo pensamento cartesiano, como um exemplo sobre de que maneira a matemática pôde demonstrar a complexidade

---

<sup>3</sup> A noção de massa não é o único conceito considerado simples que se complexificou com o avanço da ciência. Além da massa poderíamos mencionar a velocidade, o tempo, as paralelas da geometria euclidiana a simultaneidade para a física de Einstein e outras noções.

desse conceito. Com base nisso, apresentaremos um pequeno trajeto da história da física sobre a massa, partindo de uma análise puramente empírica, até culminarmos em uma compreensão racionalista sobre essa noção, visando a função da matemática em revelar a complexidade desse conceito.

## **2. A noção científica de massa: de uma simplicidade empírica à uma complexidade fundamental**

Apresentaremos seguindo o pensamento de Bachelard, cinco formas de apreciação filosófica da noção de “massa”: a primeira e a segunda forma da noção apresentam-se representadas por um empirismo apressado e mal-elaborado; a terceira forma que surge com a mecânica newtoniana, apresenta a noção de massa através de uma perspectiva voltada ao racionalismo; a quarta forma é representada pela física relativista, que apresenta a massa como uma relação de noções complexas; e por fim, a quinta forma é a desenvolvida pela mecânica de Paul Dirac, que apresenta uma complexidade da noção através de uma dialetização da mesma. A quarta e a quinta forma são as formas de apresentação mais completas da noção científica de massa, que demonstram essa noção a partir de um método de caráter racionalista matemático, próprio das ciências contemporâneas. Bachelard denomina de filosofias ultra-racionalistas a quarta e a quinta forma de apreciação da noção de massa.

Procuraremos apontar que a noção de massa era considerada como uma noção simples e clara para o pensamento filosófico e científico moderno, mas com o progresso científico da física e da química matemática, a noção de massa foi sendo considerada a partir de uma série de relações que constitui essa noção. A noção de massa foi considerada simples até a quarta forma de apreciação da noção de massa, porém, a partir do desenvolvimento do racionalismo completo einsteiniano, veremos que a noção de massa passara a ser demonstrada através de relações entre outras noções científicas.

Observaremos que conforme o conceito científico vai sendo esclarecido/complicado com o desenvolvimento da ciência, as filosofias que se propunham em explicar essa noção foram gradualmente sendo modificadas e progrediram a um nível mais ordenado de explicação. Para Bachelard “qualquer que seja o problema particular, o

sentido da evolução epistemológica é claro e constante: a evolução de um conhecimento particular caminha no sentido de uma coerência racional.” (BACHELARD, 1978, p. 12).

### *2.1 O aspecto empírico da primeira e da segunda forma da noção de “massa”*

A noção de massa em sua primeira forma foi apresentada sob uma apreciação filosófica grosseira, pois, era notada apenas quantitativamente e como que impacientemente desejosa de realidade. A massa era apreciada pela vista, e uma contradição entre o real e o pensado começa justamente do conhecimento primeiro, ou de um conhecimento quantitativo apressado. Bachelard a esse respeito afirma que:

a primeira contradição é então, como sempre, o primeiro conhecimento. Este adquire-se na contradição entre o grande e o pesado. Uma casca vazia contra avidez. Desta decepção nasce um acontecimento valorizado que o contador de fábulas apresentará como símbolo da experiência adquirida pelos “velhos”. Quando se tem um objeto na palma da mão, começa-se a compreender que o maior não é necessariamente o mais rico. Uma perspectiva de *intensidades* vem rapidamente aprofundar as primeiras visões de quantidade. Logo em seguida a noção de massa interioriza-se. (BACHELARD, 1978, p. 13, grifo do autor).

A quantificação da massa, e a relação desta com a grandeza são frutos de um empirismo apressado e isento de qualquer pensamento crítico sobre o objeto observado, fazendo com que se interiorize no espírito humano uma valorização daquilo que é grande, aliás, para Bachelard. “[...] o senso comum despreza a massa das coisas miúdas, das coisas ‘insignificantes’. Em resumo, a massa só é uma *quantidade* se for suficientemente grande.” (BACHELARD, 1978, p. 14, grifo do autor).

A análise primitiva do conceito de massa é facilmente generalizada por um empirismo de primeira aproximação, pois acreditava-se fielmente numa massa relacionada com o seu tamanho. Basicamente, a noção de massa nessa forma de apreciação primitiva não encontra uma objetivação segura, pelo fato de que para um observador o tamanho de um objeto não representa garantia de certeza sobre o peso real do objeto estudado. Uma solução para esse problema foi o conceito de massa ser levemente racionalizado por um instrumento de medição.

Em sua segunda forma, o conceito de massa foi melhor abordado empiricamente, pois começa-se a se abandonar o empirismo primitivo que julgava a massa pelo seu tamanho, e passou-se a medir a massa através de um instrumento de precisão, dando então uma objetivação mais precisa do que aquela dada apenas pelo olhar.

Segundo Bachelard (1978, p. 15) o conceito de massa “[...] está então ligado à utilização da balança. Beneficia-se imediatamente da objetividade instrumental. Notemos no entanto, que se pode evocar um longo período em que o instrumento precede a sua teoria.” Em referência a primeira forma de objetivação dada pela quantidade, a segunda forma de objetivação é melhor justamente pela precisão do peso do objeto, porém, o uso da balança acabou por sobrepor-se acima das teorias científicas relacionadas ao estudo da massa. Acreditava-se que primeiro o objeto deveria ser medido, e somente após conseguirem-se os resultados obtidos pela medição, é que o objeto estaria pronto para ser estudado pelos cientistas. Com a balança a doutrina realista fica satisfeita, não se questiona sobre as propriedades do objeto, o objeto é seu peso, e neste caso, a balança precede qualquer teoria e o instrumento de medição é a verdade absoluta.

Inicia-se, então, o que Bachelard denomina de “conduta da balança”, que:

atravessa gerações, transmite-se na sua simplicidade, como uma experiência fundamental. Ela não é mais do que um caso particular da utilização simples de uma máquina complicada, de que encontramos naturalmente inúmeros exemplos cada vez mais surpreendentes no nosso tempo em que a máquina mais complicada é governada *simplesmente*, com um conjunto de *conceitos empíricos* racionalmente mal concebidos e mal articulados, mas reunidos de uma forma pragmaticamente segura. (BACHELARD, 1978, p. 15, grifo do autor).

Pode-se aprimorar o instrumento de medição, mas o pensamento ainda continua simples, sendo que por gerações confia-se fielmente na balança como instrumento que expressa a realidade do conceito de massa. O método científico que consiste em analisar a massa com base em um instrumento de medição, começa a mudar com o surgimento da ciência do século XVII, mais especificamente com a física newtoniana, pois, começa-se a considerar a noção de massa além do aspecto ligeiramente apreendido pelos sentidos.

## *2.2 A simplificação da noção de massa no racionalismo newtoniano*

A terceira forma de apreciação da noção de massa, apresenta um aspecto racional desse conceito e ganha mais clareza com o nascimento da mecânica racionalista de Newton no século XVII. Veremos uma mudança significativa, em que, indo além do método empírico, começa-se a aprofundar o estudo da massa com base em métodos racionalistas.

Assim, segundo Bachelard, o nascimento da mecânica newtoniana estaria vinculado com:

a época da *solidariedade nocional (notionnelle)*. À utilização simples e absoluta de uma noção segue-se a utilização correlativa das noções. A noção de massa define-se então num *corpo de noções* e já não apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta. (BACHELARD, 1978, p. 16, grifo do autor).

As duas primeiras formas de apreciação de massa que apresentamos são semelhantes no seguinte quesito: apresentam um carácter estático de massa. Baseavam-se num realismo que concebia a massa como algo simples que pode ser vista e medida. Já a mecânica newtoniana concebe a massa não de maneira estática, e sim, de forma dinâmica. A massa não é algo tão simples que se encontra jogada na natureza de maneira inerte que poderia ser apreendida facilmente pela doutrina realista. Na mecânica newtoniana a noção de massa se relaciona com diversas noções, e um exemplo disso é que a noção de “[...] massa será definida como o quociente da força pela aceleração.” (BACHELARD, 1978, p. 16).

Através da física de Newton a noção de massa torna-se mais complexa em relação a noção simples e inerte apresentada pelas duas formas anteriores. A massa da mecânica newtoniana se relaciona com outras noções, que são as noções de força e aceleração, e essa relação é “[...] claramente racional dado que esta relação é perfeitamente analisada pelas leis racionais da aritmética.” (BACHELARD, 1978, p. 16).

Em relação a filosofia realista, as noções de massa, aceleração e força são totalmente distintas, e há um afastamento dos princípios fundamentais do realismo justamente quando se relacionam as três noções, dado que:

qualquer destas três noções pode ser apreciada através de substituições que introduzem ordens realísticas diferentes. Aliás, a partir da existência da correlação, poder-se-á *deduzir* uma das noções, seja ela qual for, a partir das outras duas. (BACHELARD, 1978, p. 16, grifo do autor).

Sabendo que as três noções estão relacionadas, pode-se descobrir uma variável não conhecida de uma das noções através de uma equação matemática em que duas das três noções sejam conhecidas.

Se o conceito de massa torna-se mais complexo através das relações entre as noções, pode-se afirmar que o conceito de massa também se esclarece um pouco mais. Sob suas duas primeiras formas, a massa era estudada sob uma forma claramente realista e estática, por sua vez, com a mecânica newtoniana, a massa começa a ser “[...] estudada num *devoir* dos fenômenos, como coeficiente de *devoir*.” (BACHELARD, 1978, p. 16, grifo do autor). É a necessidade de compreender esse “*devoir*” que racionaliza o “ser” da massa. O “ser” da massa em relação a filosofias baseadas em uma forma de empirismo sem uma crítica teórica era concebido apenas como quantidade de matéria, na mecânica newtoniana o “ser” da massa foi apresentado como resultado de diferentes noções.

É no processo de racionalização da massa que podemos perceber o caráter de complexidade das noções científicas, sendo que Bachelard afirma que:

é no sentido da complicação filosófica que se desenvolvem verdadeiramente os valores racionalistas. [...] A razão não é de forma alguma uma faculdade de simplificação. É uma faculdade que se esclarece enriquecendo-se. Desenvolve-se no sentido de uma **complexidade crescente** [...]. (BACHELARD, 1978, p. 16, grifo nosso).

O empirismo e o realismo quando mal formulados, simplificam as noções científicas, no caso da massa, a física newtoniana prova através da racionalização matemática que essa noção é complexa pois é constituída por relações entre outras noções.

Sobre a filosofia realista, Bachelard afirma que para interpretar a noção realista das noções “[...] é necessário passar do realismo das coisas ao realismo das leis.” (BACHELARD, 1978, p. 17). Através de formulações matemáticas, poderíamos deduzir o valor desconhecido de uma noção, caso conheçamos o valor da outra noção que está conjugada com a noção desconhecida, desse modo, em relação às noções científicas, o realismo antes de postular a simplicidade do objeto deverá ser “[...] vasculhado por todos os

lados, em todas as suas noções, sem nunca poder dar conta, utilizando os seus próprios princípios [...]” (BACHELARD, 1978, p. 17). O realismo deveria ser guiado por uma filosofia de cunho racionalista, pois somente dessa maneira conseguiria considerar a complexidade do objeto estudado e as noções que permeiam o objeto científico.

Para Bachelard em relação à mecânica newtoniana uma observação epistemológica deve ser destacada:

É preciso vermos que, uma vez estabelecida a relação fundamental da dinâmica, a mecânica se torna toda ela verdadeiramente racional. Uma matemática especial associa-se à experiência e racionaliza-a; a mecânica racional situa-se num valor apodítico. (BACHELARD, 1978, p. 17).

Além da física newtoniana apresentar um aspecto de noção científica interligada por um conjunto de relações, ela nos apresenta também uma capacidade de matematização dos conceitos científicos, ou uma capacidade de matematizar os fenômenos encontrados na natureza.

O racionalismo da mecânica newtoniana “[...] dirigiu toda a Física matemática do século XIX.” (BACHELARD, 1978, p.17). Devido ao sucesso da matematização dos fenômenos da natureza, alguns elementos da física newtoniana acabaram tornando-se verdadeiros princípios de orientação para toda a ciência que visasse explicar problemas relacionados à mecânica, e até mesmo para outras ciências que tivessem a necessidade de medir e explicar matematicamente os fenômenos.

As noções que a física newtoniana “[...] escolheu como fundamentais: espaço absoluto, massa absoluta, permanecem, em todas as construções, elementos simples e separados, sempre reconhecíveis.” (BACHELARD, 1978, p. 17). Essas noções eram consideradas sempre como a priori pelo pensamento newtoniano, e desse modo, vinham antes de qualquer experiência, como se fossem certezas absolutas e a base de toda a filosofia científica em que o cientista deveria se guiar antes de começar a realizar qualquer tipo de experiência.

Essas noções eram consideradas também como que isoladas uma das outras, e partia-se sempre da premissa que o espaço e a massa absolutos não tinham nenhuma relação entre si, o que fazia com que o racionalismo newtoniano se fechasse dentro de seus próprios princípios, e desse modo, aos cientistas parecia que os elementos da física

newtoniana eram sempre absolutos e de nenhuma maneira pareciam existir outros princípios que pudessem nortear a pesquisa científica, pelo menos até o surgimento das mecânicas relativista e quântica. Comentaremos sobre a mudança epistemológica referente a esses princípios absolutos no tópico seguinte.

Após havermos considerado a terceira forma da noção de “massa” pelo racionalismo da mecânica newtoniana, exporemos na sequência a noção de “massa” pelas mecânicas de Einstein e de Dirac, levando em consideração o problema da complexidade que será apresentado mais claramente pelo estudo dessas duas formas de apreciação da noção científica de massa, dado através de um racionalismo mais complexo com base na teorização matemática, o que levou Bachelard a denominar essas duas mecânicas de filosofias ultra-racionalistas.

### *2.3 O racionalismo completo da física relativista*

O quarto aspecto da concepção de noção científica de massa, relaciona-se com o terceiro aspecto, que compreende como já expusemos o racionalismo da mecânica newtoniana. Com “[...] a era da Relatividade, surge uma época em que o racionalismo, essencialmente fechado nas concepções newtonianas [...] vai abrir-se.” (BACHELARD, 1978, p.18). A Relatividade de Einstein vai “deformar” os elementos absolutos da física newtoniana e mostrar através de uma racionalização matemática que esses elementos não são absolutos e também, que não estão separados um do outro como postulava a física de Newton.

A abertura da física newtoniana pode ser explicada através da própria noção de massa sendo que essa abertura “[...] realiza-se, por assim dizer, no interior da noção. Constata-se que a noção de massa tem uma estrutura funcional *interna*, ao passo que até então todas as funções de massa eram de certo modo *externas* [...]” (BACHELARD, 1978, p. 18, grifo do autor).

A mecânica newtoniana conseguiu demonstrar racionalmente que a noção de massa é formada por diferentes noções, porém, essas noções foram consideradas por muito tempo como as únicas noções que poderiam explicar o conceito de massa. A massa para a mecânica newtoniana era uma conjugação de diferentes noções, e desse modo era estudada

apenas por suas relações externas. É interessante ressaltar que as noções de massa, força e aceleração são consideradas noções simples e claras pela mecânica newtoniana, a complexidade se encontra na união dessas noções, entretanto, cada uma dessas noções são consideradas simples. Bachelard inclusive, denomina de átomos nocionais (*notionnels*) os elementos e as noções científicas da física newtoniana, pois “não teria significado colocar a respeito deles uma questão analítica.” (BACHELARD, 1978, p. 17).

A Relatividade por sua vez, considerará a noção de massa através de sua interioridade, apontando uma complexidade existente no interior dessa noção. Com a Relatividade o conceito de massa denominado de átomo nocional que era considerado um conceito simples e, logicamente, um conceito sem sentido de ser colocado em análise, passa a ser objeto de análise devido sua complexidade imanente. Pela primeira vez “[...] um átomo nocional pode decompor-se; chega-se pois ao seguinte paradoxo metafísico: o elemento é complexo.” (BACHELARD, 1978, p. 18).

A noção de massa para a física Relativista é complexa em si mesma, portanto, é diferente da noção apresentada pela mecânica newtoniana que só era complexa em relação à junção das noções que permeavam o objeto. Para Bachelard:

a noção de massa só é simples em primeira aproximação. Com efeito, a Relatividade descobre que a massa, outrora definida como independente da velocidade, como absoluta no tempo e no espaço, como base de um sistema de unidades absolutas, é uma função complicada de velocidade. (BACHELARD, 1978, p. 18).

A massa é entendida como inseparável da velocidade, se um objeto se move, a massa desse objeto se modifica. Segundo a Relatividade, é impossível também pensar numa massa em repouso, devido às complicações do tempo-espaço introduzidos pela Relatividade. O objeto pode estar parado no espaço, mas o tempo continua a se mover, não existe repouso absoluto, o tempo e o espaço são indistintos, agora são (o contínuo tempo-espaço) e ainda:

pensar-se-á em vão poder definir uma massa em repouso, que constituiria uma característica própria desse objeto. O repouso absoluto não tem significado. Também é falha de significado a noção de *massa absoluta*. É impossível escapar a Relatividade, tanto no que se refere à massa como no que se refere às determinações do espaço-tempo. (BACHELARD, 1978, p. 18, grifo do autor).

A estrutura espaço-temporal apresentada pela Relatividade não permite que definamos o conceito de massa como algo “simples e claro” como queria a mecânica newtoniana, pois na própria interioridade do conceito de massa existe uma relação complicada entre o objeto e a velocidade.

Além da questão referente à temporalidade e a velocidade<sup>4</sup>, a Relatividade apresenta outra complicação em referência a noção de massa, sendo que na física relativista “[...] a massa já não é heterogênea à energia.” (BACHELARD, 1978, p. 18). A noção de massa para a física relativista é também energia, portanto, a noção simples de massa da mecânica newtoniana dá lugar para a noção de massa complexa da física relativista.

A massa permanece ainda como base das pesquisas científicas e “[...] esta noção de base é complexa.” (BACHELARD, 1978, p. 18) e além de tudo, não perde seu papel de elemento. Na aplicação do conceito de massa em determinadas ocasiões, poderia se considerar a massa como simples, ou simplificar a noção de massa, ignorando algumas peculiaridades da noção complexa de massa apresentada pela Relatividade, porém, “[...] fora do problema da aplicação, e conseqüentemente ao nível das construções racionais a priori, o número das funções internas da noção multiplica-se.” (BACHELARD, 1978, p. 18).

O racionalismo da massa através da complicação do caráter elementar da noção de massa se mostra mais vivo e dinâmico na medida em que as diversas funções que integram o conteúdo da noção de massa vão se pluralizando no interior dessa noção. A complexidade da noção de massa torna-se mais clara a partir do momento em que a massa é racionalizada em diversas funções que organizam um único conceito.

O racionalismo da mecânica newtoniana era pautado na junção de diferentes tipos de noções simples que serviam para explicar o conceito de massa através de suas características externas, a física relativista também opera de um modo racionalista, mas não na soma de diferentes tipos de noções simples, e sim, na interioridade de uma única noção

---

<sup>4</sup> Heisenberg afirma que as diferenças entre as físicas de Newton e de Einstein, se referem a estrutura do universo concebidas por essas teorias e pela limitação da velocidade da luz. “A teoria da relatividade restrita revelou uma estrutura espaço-temporal um tanto diversa daquela que foi, em geral, admitida após o triunfo da mecânica newtoniana. O aspecto mais característico da nova estrutura do espaço-tempo é a existência de uma velocidade limite, que não pode ser ultrapassada por nenhum corpo material ou por sinal algum: a velocidade da luz.” (HEISENBERG, 1999, 224).

que é constituída por diversos tipos de funções, e em uma única noção particular “[...] o racionalismo se multiplica, se segmenta, se pluraliza. O elemento sobre o qual a razão trabalha, será mais ou menos complexo de acordo com o grau de aproximação.” (BACHELARD, 1978, p. 18).

Dependendo da função utilizada dentro da noção de massa apresentada pela física relativista, a complexidade dessa noção se apresenta de maneira distinta, e é justamente por essa capacidade de dinamizar a racionalização que a física relativista engloba em si toda a capacidade de trabalhar com as noções simplificadas da física newtoniana. A diferença essencial entre o racionalismo das físicas de Newton e Einstein é que a primeira se pauta num racionalismo fixo e a segunda num racionalismo dinâmico, e desse modo, Bachelard afirma: “Não existe razão absoluta. O racionalismo é funcional. É diverso e vivo.” (BACHELARD, 1978, p.18).

A física de Einstein apresenta uma relação fundamental ente tempo e espaço em que a medição exata do tempo depende totalmente da dinâmica ou da estática do ponto de referência. Tempo, espaço, movimento, mostram-se como categorias que reduzidas a si próprias não seriam suficientes para descrever de maneira objetiva o funcionamento dos fenômenos, assim, caberia a seguinte pergunta: “[...] com que direito supomos a separação inicial das naturezas simples?” (BACHELARD, 1978, p. 159).

A complexidade das funções dentro de uma noção de base (no nosso caso específico a noção de massa) geralmente entram em contradição com o aquilo que o senso-comum experimenta, e a própria relação entre espaço-tempo apresentada pela Relatividade é motivo de desconforto para as pessoas que não compreendem as formulações matemáticas da física-matemática. Experimentar uma relação entre espaço-tempo, entender uma curvatura do espaço-tempo ou acreditar que o objeto muda de forma conforme se movimenta, só é possível através de uma racionalização matemática dos fenômenos. Bachelard (1990, p. 241) afirma que “[...] o progresso científico manifesta sempre uma ruptura, perpétuas rupturas, entre o conhecimento comum e o conhecimento científico [...]”, e essas rupturas, se devem justamente ao fato das ciências contemporâneas terem “[...] todas o caráter numenal. Apresentam-se todas inicialmente como númenos à procura do seu fenômeno” (BACHELARD, 1978, p. 19).

Sobre esse aspecto das ciências contemporâneas de procurar os fenômenos através do nùmeno<sup>5</sup>, podemos dizer que as ciências contemporâneas não partem diretamente da natureza e muito menos a descrevem utilizando uma linguagem matemática, o papel da ciência contemporânea é o de partir inicialmente de formulações matemáticas<sup>6</sup>, para então criar os objetos da natureza.

A mecânica de Paul Dirac que apresentaremos a seguir se pauta diretamente sobre a teorização matemática em prol da construção dos fenômenos da natureza. Comentaremos sobre o papel da matemática em relação à noção de massa em nossa quinta e última forma de apreciação da noção de massa.

#### *2.4 O racionalismo dialético da mecânica de Dirac*

Abordaremos a mecânica de Paul Dirac para caracterizar o nosso quinto aspecto filosófico da noção de massa, levando em conta o racionalismo dialético presente nessa noção e mostraremos também as características filosóficas do realismo e do racionalismo dentro da experiência científica de Dirac. Em nossa quinta e última classificação da noção de massa, perceberemos que:

o racionalismo contemporâneo não se enriquece apenas por uma multiplicação íntima, por uma complicação das noções de base; anima-se também numa **dialética** de certo modo externa que o realismo é impotente para descrever e, naturalmente mais impotente ainda para inventar. (BACHELARD, 1978, p. 19, grifo nosso).

A mecânica de Dirac diz respeito inicialmente a ideia de propagação, entretanto, só poder-se-ia dizer exatamente o que se propaga, após a experiência de propagação ter sido realizada. Se a seguinte pergunta fosse feita após se falar do fenômeno da propagação:

---

<sup>5</sup> Heisenberg afirma que as diferenças entre as físicas de Newton e de Einstein, se referem a estrutura do universo concebidas por essas teorias e pela limitação da velocidade da luz. “A teoria da relatividade restrita revelou uma estrutura espaço-temporal um tanto diversa daquela que foi, em geral, admitida após o triunfo da mecânica newtoniana. O aspecto mais característico da nova estrutura do espaço-tempo é a existência de uma velocidade limite, que não pode ser ultrapassada por nenhum corpo material ou por sinal algum: a velocidade da luz.” (HEISENBERG, 1999, 224).

<sup>6</sup> A ciência contemporânea é adepta do que Bachelard denominou de “racionalismo aplicado”, que é a junção entre uma racionalização matemática e realização prática do cientista sobre a teorização matemática, para construir o fenômeno apontado pela matemática. Explicaremos mais detidamente esse conceito no nosso último capítulo.

“Da propagação de quê?”, estaríamos perante a necessidade do realismo ingênuo e urgente, que pretende sempre colocar o objeto antes dos seus fenômenos.” (BACHELARD, 1978, p. 19). Comentamos a respeito da física relativista em relação a ideia de que a ciência contemporânea não parte da natureza para descobrir seus fenômenos, e sim, que constrói os fenômenos da natureza partindo de formulações matemáticas, poderemos perceber que a mecânica de Dirac corrobora com a ideia de uma prática científica que inicia de um racionalismo matemático, e através desse, guiaria a experimentação científica para criar o seu real. O objeto não é colocado na realidade antes das teorizações matemáticas, pois “[...] na organização matemática do saber, é necessário preparar o domínio de definição antes de definir, exatamente da mesma maneira que, na prática do laboratório, é preciso preparar o fenômeno para o produzir.” (BACHELARD, 1978, p. 20).

Na experiência científica contemporânea, a matemática aponta para uma possibilidade de construção do real, que não existe de maneira dada na natureza como queriam os realistas. A matemática aponta a possibilidade de construção do real através da teorização matemática e cabe então ao cientista através da prática experimental descobrir e construir essa possibilidade apresentada pela matemática.

Poderíamos dizer que “[...] sob uma forma um pouco paradoxal, mas que nos parece sugestiva, pode dizer-se que a mecânica de Dirac examina em primeiro lugar a propagação [...] num espaço de configuração.” (BACHELARD, 1978, p. 20). Só poderíamos dizer o que se propaga depois de ter concluído a experiência da propagação, assim “a mecânica de Dirac é, pois, de saída, desrealizada.” (BACHELARD, 1978, p. 20). Dentro da ideia de propagação, Dirac pluraliza suas funções, porém, essa pluralização só é possível, desde que se abandone a intuição realista e se leve em conta que não é um objeto que está sendo propagado, e desse modo, pode-se pluralizar as funções dentro da ideia de propagação, e através de funções matemáticas chega-se a diversas formas de propagação e também a diversas formas de fenômenos propagados.

Dirac leva em consideração a funcionalidade das formas de propagação, sem se importar primeiramente com o que estaria sendo propagado. A partir da ideia das diversas funções de propagação, podemos perceber que é o “[...] cálculo que opera. [...] Em vez da melodia matemática que outrora acompanhava o trabalho do físico, é toda uma harmonia que romanceia matematicamente a propagação.” (BACHELARD, 1978, p. 20).

A mecânica de Dirac, por sua vez, poderia ser chamada de harmônica, no sentido de que levaria em consideração as diversas funções matemáticas dentro da ideia de propagação, não considerando apenas uma dessas formulações para explicar aquilo que é propagado.

Seguindo uma filosofia realista, no caso de considerar um objeto como aquilo que seria propagado, as funções dentro da ideia de propagação se reduziriam, e seriam relativas a esse objeto, não havendo então nenhuma descoberta científica significativa.

Em relação à noção de massa as funções de propagação de Dirac apresentam-nos duas concepções de massa para um mesmo objeto, e além disso, as noções apresentadas são dialetizadas. A primeira noção de massa diz respeito às outras quatro noções de massa que analisamos, pois ela “[...] resume perfeitamente tudo o que se sabia da massa nas quatro filosofias precedentes: realismo ingênuo, empirismo claro, racionalismo newtoniano, racionalismo completo einsteiniano.” (BACHELARD, 1978, p. 20). A novidade então está presente na segunda noção de massa que pode ser considerada dialética da primeira porque se caracteriza como uma massa negativa, que é:

um conceito inteiramente inadmissível nas quatro filosofias antecedentes. Por conseguinte, uma metade da mecânica de Dirac reencontra e continua a mecânica clássica e a mecânica relativista; a outra metade diverge numa noção fundamental; dá origem a algo de diferente: suscita uma dialética externa, uma dialética que nunca teria sido encontrada meditando sobre a essência do conceito de massa, aprofundando a noção newtoniana e relativista de massa. (BACHELARD, 1978, p. 20)

As equações de propagação resultam numa noção de massa diferente das conhecidas até então. As equações de Dirac apontam para uma nova noção de massa, e neste caso, poderíamos dizer que as equações da mecânica de Dirac mostram a possibilidade da descoberta de um novo fenômeno através da matematização, pois, o conceito de massa negativa não poderia ser descoberto por uma análise puramente empírica da natureza. A massa negativa não é um dado que se encontra jogado na realidade como queria a filosofia realista, pelo contrário, o conceito de massa negativa é uma construção das equações de propagação de Dirac e “deste modo a realização leva a melhor sobre a realidade. Esta primazia da realização desclassifica a realidade.” (BACHELARD, 1978, p. 21).

A respeito da noção de massa negativa, Bachelard comenta que poder-se-ia fazer uma objeção a essa noção pelo fato de que ela ainda não foi interpretada experimentalmente, portanto, seu exemplo de racionalização dialética poderia ser considerado vago. As equações de propagação mostram uma possibilidade de descobrir e realizar um novo fenômeno, e segundo Bachelard:

Esta possibilidade sublinha o valor da interrogação da Física matemática. [...] É um problema teoricamente preciso, respeitante a um fenômeno totalmente desconhecido. Este desconhecido preciso é precisamente o inverso do irracional vago, ao qual o realismo frequentemente atribui um peso, uma função, uma realidade. (BACHELARD, 1978, p. 21)

A massa negativa pode não ter sido interpretada experimentalmente, porém, antes mesmo de se poder interpreta-la, seu problema já é conhecido pela Física matemática de Dirac, portanto, essa ideia já seria um problema teoricamente preciso. A noção de massa negativa esta teoricamente construída na mecânica de Dirac, mas ainda falta encontrar a sua realização, que só pode ser feita pela atividade experimental do cientista.

Semelhante ao problema da massa negativa, a mecânica de Dirac também apresenta outra forma de energia, que foi denominada de energia negativa. A energia negativa também era um problema preciso e do mesmo modo não tinha sido interpretada experimentalmente, porém, a descoberta:

experimental do elétron positivo realizada por Blackett e Occhialini veio logo dar uma confirmação inesperada às ideias de Dirac. Na realidade, não foi o conceito de energia negativa que levou a procurar o elétron positivo. Aconteceu, como é frequente, uma síntese acidental da descoberta teórica e da descoberta experimental, mas, mesmo assim, já estava pronto o leito em que o fenômeno novo se veio estender, justamente à sua medida. (BACHELARD, 1978, p. 22)

A descoberta do elétron positivo não foi guiada pela ideia da existência da energia negativa, mas quando se descobriu a existência de um elétron positivo, a teoria sobre a energia negativa já estava pronta. A mecânica de Dirac apresentou a teoria sobre a energia negativa e quando descobriu-se experimentalmente o elétron positivo, a teoria dialetizada de Dirac encontrou sua realização prática., assim, da mesma forma, a noção de massa negativa espera encontrar a sua realização.

Em relação a descoberta da noção de massa negativa Bachelard faz os seguintes questionamentos: “Qual vai ser a atitude do novo espírito científico perante um tal conceito?” e “[...] qual teria sido a atitude de um cientista da época precedente ao nível da Física do século XIX?” (BACHELARD, 1978, p. 21).

A atitude do cientista do século XIX era pautada em uma filosofia realista, que provavelmente consideraria um erro de cálculo, caso os resultados das equações apresentassem uma massa negativa. Para o “[...] cientista do século XIX, o conceito de uma massa negativa teria sido um conceito monstruoso. Teria sido, para a teoria que o produziu, um erro fundamental.” (BACHELARD, 1978, p. 21).

Para o pensamento científico contemporâneo, a teoria sempre “[...] insiste, não hesita, a preço de algumas modificações de base, em procurar as realizações de um conceito novo, sem raiz na realidade comum.” (BACHELARD, 1978, p. 21). A noção de massa negativa só pode ser pensada por um racionalismo aberto, e mesmo ao preço de ter que mudar todas as suas noções de base, esse racionalismo se arrisca para conseguir a realização do conceito de massa negativa.

A noção de massa negativa “quando formulada com toda a sua construção matemática antecedente, ela é precisamente uma abertura”. (BACHELARD, 1978, p. 22). A antecipação teórica é uma das características do novo espírito científico, a teoria precede a realização experimental, e quando o fenômeno predito se realiza, tanto a teoria quanto a prática se fundem.

A filosofia ultra-racionalista compreendida pela mecânica de Einstein e de Dirac revelam a complexidade da noção de massa, e desse modo, apresentam formulações que acabam ferindo o senso-comum, por estudarem os fenômenos com base em um racionalismo de cunho matemático, além disso, o bom-senso está acostumado a compreender os objetos através unicamente dos sentidos, ignorando quase por completo o poder de descoberta da matemática nas ciências. O método matemático utilizado pela ciência contemporânea permite o desdobramento e a complexificação das noções de base consideradas simples por um pensamento puramente empírico, desse modo, as físicas de Einstein e de Dirac, através da matemática, conseguiram descobrir fenômenos que interligam os objetos, que estão ocultos a experiência sensível.

## **Conclusão**

A matemática desenvolve um papel importante para as ciências contemporâneas, e como tivemos oportunidade de apresentar, ela apresenta uma complexidade fenomênica que os sentidos por si próprios não conseguiriam apreender. As teorizações matemáticas (axiomáticas) são as possibilidades de realizações dos fenômenos, e a própria complexidade essencial apresentada pelas axiomáticas, requer que o fenômeno seja compreendido de maneira complexa.

A redução dos fenômenos e dos conceitos científicos, é insuficiente para a caracterizar os objetos científicos contemporâneos, visto que esses objetos são frutos de uma teorização matemática que visa se expandir e se relacionar com outras teorias. O método redutivo “[...] falseia a análise e entrava o desenvolvimento extensivo do pensamento objetivo.” (BACHELARD, 1978, p. 159). O avanço nessas áreas se deu através da crítica as ideias simples postuladas pelo pensamento científico anterior.

A ciência contemporânea tem como método um pensamento de cunho matemático que procura se expandir, ao contrário do viés reducionista que procura simplificar para poder conhecer, assim, para a ciência contemporânea “[...] o simples é sempre simplificado; não poderia ser pensado corretamente senão enquanto aparece como produto dum processo de simplificação.” (BACHELARD, 1978, p. 160).

A atividade científica contemporânea inscrita sobre um pensamento matemático, não vai diretamente a realidade para estudar e compreender os fenômenos, primeiramente, o cientista parte da teorização matemática para só então ir em direção ao possível fenômeno apresentado por ela. Desse modo, se um empirismo apressado pautado num ideal reducionista da natureza não consegue apreender a complexidade dos fenômenos, um método matemático que procura se objetivar em termo de relações consegue apreender essa complexidade. A ciência “[...] de inspiração cartesiana fazia com muita lógica o complexo com o simples, o pensamento científico contemporâneo tenta ler o complexo real sob a aparência simples fornecida por fenômenos compensados.” (BACHELARD, 1978, p. 160).

O realismo construído matematicamente é quem apresenta a complexidade dos fenômenos científicos, e analisando a evolução do conceito de massa, podemos ver que a partir do momento em que o conceito vai sendo teorizado matematicamente, noções que

aparentemente não tinham nenhuma relação com o fenômeno, passam a fazer parte da composição deste, e são imprescindíveis para quem procura uma objetivação mais completa do objeto estudado. Dessa forma, complexidade e matemática, se encontram intimamente ligadas em relação a análise de Gaston Bachelard sobre as ciências, pois, somente uma metodologia matemática, pode revelar conexões e relações que escapam aos sentidos.

### **Referências**

- BACHELARD, G. *A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço*. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Os pensadores)
- \_\_\_\_\_. *Epistemologia*. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.
- \_\_\_\_\_. *O novo espírito científico; A filosofia do não; A poética do espaço*. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Os pensadores)
- \_\_\_\_\_. *O racionalismo aplicado*. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.
- HEISENBERG, W. *Física e filosofia*. 4. ed. Brasília: Humanidades, 1999.