

UM TÚNEL ENTRE FÍSICA E METAFÍSICA: BEABLES SUPRA-EMPÍRICOS E VARIÁVEIS OCULTAS.

Rodolfo Petrónio – Instituto Aquinate¹.

Resumo: A antiga perspectiva cosmológica de que a realidade é algo mais do que aspectos puramente quantitativos pode ser explorada por meio de uma estrutura algébrica adequada. Procuramos mostrar que uma álgebra de Weyl pode ser utilizada para representar os aspectos supra-empíricos (metafísicos) da matéria primeira proposta por Santo Tomás, e que o potencial quântico proposto por David Bohm contém intrinsecamente essas propriedades supra-empíricas (super-beables). Se a proposta estiver correta, podemos construir uma ponte epistemológica entre princípios filosóficos inerentes à natureza e sua análise física. Nesse caso, os princípios metafísicos desempenham de fato o papel essencial que a cosmologia antiga lhes atribuía, além de poderem ser rastreados pelo uso de um ferramental apropriado, mesmo que permaneçam definitivamente “ocultos” sob um ponto de vista empírico, não o são sob uma perspectiva ontológica.

Palavras-chave: Filosofia da Natureza – Matéria Prima – Ontologia.

Abstract: The ancient cosmological view that reality is more than quantitative aspects can be explored with an adequate algebraic structure. Here we show that a Weyl algebra can be used to represent the super-empirical (metaphysical) aspects of Saint Thomas' prime matter and that Bohm's quantum potential intrinsically conveys these super-empirical properties (super-beables). If the proposal is correct, a means to provide an epistemological bridge between philosophical principles inherent to nature and its analysis by physics can be accomplished. In this case, metaphysical attributes do indeed play an essential role ancient cosmology imparted to them, and they can be tracked through the use of an appropriate tool, despite their being definitely “hidden variables” from an empirical point of view, although not hidden from an ontological point of view.

Keywords: Philosophy of Nature – Prime Matter – Ontology.

¹ O autor pertence ao Departamento de Filosofia e Ciências Sociais da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro – UNIRIO. O autor também realiza atividades de pós-doutorado na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), tendo sido bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) até março de 2010.

I. INTRODUÇÃO.

Neste artigo sustentamos a necessidade de uma perspectiva metafísica para uma compreensão totalizante da natureza, ainda que, de fato, reconheçamos que o pensamento científico ocidental tenha investigado a natureza quase que exclusivamente sob uma perspectiva experimental nos últimos trezentos e cinquenta anos. Ademais, isto pode ser especialmente observado se supusermos que a física pode fornecer-nos os últimos aspectos da estrutura da realidade em si mesma. É certo que o empreendimento científico nos deu um controle bastante impressionante sobre as propriedades quantitativas da natureza, o que se trata de um reconhecimento óbvio quando inventariamos os resultados de um ponto de vista tecnológico.

Ainda que tenha sido bem sucedido o empreendimento científico, presentemente ele se debate com perplexidades crescentes com o que poderíamos chamar de *anomalias*, empregando uma conhecida expressão kuhniana. Uma dessas animalias é o efeito de correlação quântica ou não-localidade, que pretendemos usar como pedra angular indicativa da necessidade de uma re-análise metafísica da estrutura do cosmos. Contudo, a análise que tencionamos levar a cabo neste artigo concentrar-se-á principalmente no conceito aristotélico de matéria primeira (*prōte hylē*), que é, segundo o filósofo,

Precisamente o ultimo sujeito subjacente, comum a todas as coisas da Natureza, e pressuposto como seu constituinte substantivo, não accidental. E ainda, a destruição de uma coisa significa o desaparecimento de tudo o que a constitui, exceto aquele mesmo sujeito subjacente cuja existência ela pressupõe, e que, se desaparecesse, então a coisa mesmo que o pressupõe teria desaparecido com ele antecipadamente, antes mesmo de existir².

Foram apresentadas algumas análises contemporâneas relevantes sobre o conceito de matéria primeira em diversas ocasiões³, e a tendência geral é a tese que sustém que a matéria primeira desempenha um papel decisivo enquanto

² ARISTÓTELES. *The Physics: Books I-IV*. Translated by Philip Wicksteed & Francis Cornford. Londres: Harvard University Press. (The Loeb Classical Library), [1957], c.9, 192a, 26-35

³ Cfr. SOKOLOWSKI, R. *Matter, Elements and Substance in Aristotle*. In *Journal of the History of Philosophy*, v. 8, n. 3, pp. 263-268, 1970; BYRNE, C. *Prime Matter and Actuality*. In *Journal of the History of Philosophy*, v. 33, n. 2, 1995, pp. 197-224, 1995; GRAHAM, D. *The Paradox of Prime Matter*. In *Journal of the History of Philosophy*, v. 25, n.4, pp. 475-490, 1987.

constituente último do mundo físico. Embora tenham sido expostas diversas perspectivas quanto ao tipo de *coisa* que a matéria⁴ é, quer algo físico ou metafísico, há pouca diferença quanto a ambas no que se refere ao papel desempenhado pela matéria na geração e no desaparecimento dos entes. Também segundo Santo Tomás, a protomateria é o sujeito último subjacente, comum a todas as coisas da Natureza. O propósito deste artigo não é empreender uma discussão filosófica acerca dos aspectos múltiplos do conceito que Aristóteles e Santo Tomás têm da matéria, porém mostrar que seus *insights* podem ser desenvolvidos segundo uma compreensão adequada do que seja a realidade. Isto deve ser feito de tal modo que nos permita apresentar uma estrutura algébrica candidata a representar este conceito bastante controverso e muitas vezes obscuro, bem como conectá-lo ao potencial quântico bohmiano.

Nossa tese é a de que a protomateria está dotada de uma número finito de estruturas elementares (ou elementos) que podemos chamar de *formas*, no sentido de que elas preenchem o todo da matéria, informando-a com os aspectos fundamentais últimos da existência material, basicamente o conjunto de todas as qualidades que dispõem a existência corpórea no espaço-tempo com as propriedades que observamos ou medimos. A abordagem fundamental a ser aqui conduzida baseia-se na hipótese de que todas as qualidades no interior da protomateria são ou *ativas* ou *passivas*, o que estabelece um caráter dual para o mundo natural. Essa dualidade pode ser reconhecida *bona fide* pela presença de qualidades perceptivas antitéticas como quente-frio, sólido-fluido, ou na detecção experimental de cargas elétricas positivas e negativas, no postulado da exclusão de Paulo para orbitais etc. A dualidade básica da matéria está representada na álgebra por dois geradores simétricos (idempotentes), e as qualidades são obtidas a partir desses geradores fazendo seu produto. Para uma análise do papel relevante desempenhado por idempotentes em estruturas algébricas ver⁵.

Baseando-nos na álgebra como uma representação da protomateria, mostraremos que existem propriedades intrínsecas (beables) de caráter não-empírico (supra-empíricos)⁶ que não podem ser observados ou medidos, e que

⁴ Doravante, tomaremos *protomateria* como sinônimo de *matéria primeira*. Onde possa haver confusão quanto ao conceito de matéria entendido pela física, isto é, algo que se pode observar ou medir, se fará à distinção entre matéria e protomateria (ou matéria primeira).

⁵ HILEY, A. *Note on the Role of Idempotents in the Extended Heisenberg Algebra*. In *Implications*, Scientific aspects of ANPA 22. Cambridge, pp. 107-121, 2001.

⁶ Cfr. BELL, J. S. *The Theory of Local Beables*. In *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 1987.

aparecem no potencial quântico proposto por David Bohm⁷. Com efeito, aparecem associados ao potencial quântico ao transportar aquelas qualidades estruturais da protomateria organizadas como formas para o caráter não-local deste potencial. Também se deve observar que essa associação apresenta uma característica perspicua: visto que se pode representar qualidades metafísicas por meio da álgebra, tais atributos metafísicos surgem atrelados a uma *propriedade da protomateria por si mesma inobservável* conquanto fornece a base para os efeitos detectáveis aos quais chamamos de não-localidade. Vamos apresentar este acoplamento entre propriedades metafísicas inobserváveis e atributos observáveis, presente no potencial quântico, sob a forma do que se poderia chamar de o “operador bohmiano da álgebra”, que corresponde à função real $R(x,t)$ da função de onda descrita por $\psi(x,t) = R(x,t)\exp[iS(x,t)/\hbar]$.

No entanto, é importante dizer que este artigo é principalmente filosófico, fundamentalmente perfazendo um tipo de investigação que a cosmologia antiga denominaria *philosophia naturalis*, no sentido de que os princípios envolvidos não estão sujeitos a um escrutínio observacional estrito. Não significa, contudo, que tais princípios não sejam relevantes nem devam ser descartados: presentemente, pois estão habilitados a desempenhar uma função de compreensão totalizante da natureza, como havia sido previsto pelos antigos.

II. PROTOMATÉRIA E ÁLGEBRA.

Antes de passarmos ao conteúdo geral da álgebra, faremos uma exposição geral dos conceitos metafísicos a serem representados. O fundamento principal da discussão é uma interpretação não tradicional da protomateria aristotélica. Sustentamos, baseando-nos em vários *insights* acerca da natureza da protomateria, que esta é provida com formas elementares que contêm as qualidades ativas e passivas⁸ responsáveis pela combinação e transmutação dessas mesmas formas no interior da matéria, a partir das quais são dados os elementos básicos do mundo natural. A diversidade das formas naturais surgem a partir de ambas as operações, de combinação e transmutação, que ocorrem no interior da protomateria. As formas naturais que encontramos em toda parte provêm dessas operações sobre as formas elementares na matéria, e os compostos (composição

⁷ Cfr. TORRETTI, R. *The Philosophy of Physics*. Cambridge University Press, 1999 e também HILEY *apud* SAUNDERS E BROWN, 1991, pp. 217-249.

⁸ Cfr. SOLMSEN, F. *Aristotle's System of the Physical World*. Ithaca, 1960.

final dessas operações) possuem as determinações quantitativas específicas que observamos ou medimos, ainda que as formas elementares não sejam observadas ou medidas. Não se trata de uma interpretação isenta de problemas ou envolvendo conceitos que sejam de fácil entendimento. Com efeito, a protomateria é o conceito mais recalcitrante à investigação no que se refere à Natureza. Não obstante as dificuldades inerentes ao assunto, nosso principal ponto é que o que for a proposto pela cosmologia antiga pode ser representado de modo conveniente por meio de uma álgebra apropriada e, sumamente importante, é razoável fazê-lo além de nos trazer consequências epistemológicas esclarecedoras.

De início, afirmamos que a protomateria é um ente real, de fato bastante peculiar, na medida em que não é por si mesmo um indivíduo mas parte de um indivíduo natural, porquanto este possui matéria.⁹ Assim, é um componente *sui-generis* da realidade ainda que o seja por compor todos os tipos naturais, sejam partículas, campos ou outra coisa. Porque a protomateria é parte de todo indivíduo natural, estes estão sujeitos à dois tipos radicais de mudança: criação e aniquilamento. Isto é, todo tipo natural está sujeito à geração ou à decomposição em outros tipos naturais. A geração (ou a destruição) dos tipos naturais faz-se possível haja vista existir um sujeito subjacente do qual os tipos naturais emergem (criação) e no qual se dissolvem (aniquilação), poquanto *se [a protomateria] percesse, então a coisa que o pressupõe teria perecido por antecipação antes de vir a existir*, conforme citação anterior de Aristóteles. É este substrato subjacente ou protomateria que propomos contenha as estruturas últimas elementares (formas elementares) que tornam possível a geração e a destruição dos tipos naturais. Tais estruturas elementares estão, segunda essa perspectiva, compostas pela mescla de qualidades duais, algumas ativas, outras passivas, segundo uma proporção que torna possível serem algumas delas projetadas no espaço-tempo¹⁰. Esta operação de geração desde a mescla das formas elementares em um ente real existente

⁹ Usamos a palavra matéria neste caso, em vez de protomateria, posto que agora nos referimos à matéria que nos aparece como fenômeno, isto é, matéria observável, quantificável, ou mensurável. Ou seja, a matéria fenomênica é o resultado de operações no interior da protomateria. Com efeito, essas operações devem prover a matéria extensional e mutável, e mostraremos que os operadores dos ideais à esquerda e à direita da álgebra proposta podem representá-las.

¹⁰ Pensamos ser importante recordar que espaço-tempo é um termo bastante contemporâneo, não disponível à época de Aristóteles ou de Santo Tomás. Contudo, a geração (ou destruição) das coisas na (da) existência é equivalente, sob nossa perspectiva, a tais operações serem realizadas no domínio do espaço-tempo.

denomina-se *edução*. Deve-se acrescentar que a edução consiste numa operação de projeção no espaço-tempo; isto pode ser feito por meio de operadores definidos nos espaços duais dos ideais gerados pela estrutura algébrica. Isto significa que operadores apropriados de projeção podem perfazer as operações de geração (criação) e destruição (aniquilação) na álgebra. A esses operadores se deve associar os espaços duais da álgebra de modo a se prover um *locus* para projeção espaço-temporal dos compostos “prontos” de forma e matéria, ou para seu retorno à protomateria. Não é propósito deste trabalho apresentar como isso poderia ser tratado, contudo indicamos que deve ser feito de tal maneira que o possamos associar à álgebra geométrica sugerida por Hestenes¹¹. Atividade e passividade são, por conseguinte, os dois principais requisitos para a protomateria desenvolver sua dinâmica própria de edução e dissolução dos tipos naturais, o que implica que esta dualidade fundamental esteja representada na álgebra. Ademais, deve-se oferecer um mecanismo para se representar os tipos básicos das operações de combinação e transmutação. Essas considerações sobre a natureza da protomateria permitem-nos considerá-la como uma estrutura do tipo pré-espaço, a qual se considera ser isomorfa a uma estrutura algébrica apropriada. Este é precisamente um tipo de abordagem que nos pode fornecer consequências epistemológicas muito interessantes no que se refere à teoria quântica¹².

Até aqui fizemos uma apresentação bastante geral de alguns conceitos essenciais para o desenvolvimento do objetivo principal deste trabalho, e não pretende ser de forma alguma uma exposição completa ou autosuficiente da metafísica dos antigos. Uma formulação concisa mas bastante exata do conceito que os antigos tinham acerca da protomateria pode ser encontrada em (Faitanin, 2001). O que faremos a seguir é fornecer algumas definições necessárias da álgebra com vistas a nosso propósito, e de como podem ser associadas com os conceitos metafísicos até aqui considerados.

Associemos o conjunto de elementos $\{q_0^1, q_1^0\}$ com os idempotentes fundamentais que geram a álgebra. Bem, propusemos que as formas elementares se combinam por meio de suas propriedades ativas e passivas cujo resultado é uma mescla. Ou seja, cada forma elementar é dotada de um par de qualidades ativas e passivas por meio do qual se obtém uma combinação apta a produzir

¹¹ Cfr. HESTENES, D.; SOBCZYK, G. *Clifford Algebra to Geometric Calculus*. Dordrecht, Holanda. (*Fundamental Theories of Physics*). 1987.

¹² Cfr. HILEY E FRESCURA. *Algebras, Quantum Theory and Pre-Space*. In *Revista Brasileira de Física*, v. esp. (Os 70 anos de Mario Schenberg), pp. 49-86, 1984.

uma mescla. O caráter dual de atividade e passividade é a base da dinâmica interna à protomatéria, a qual é representada por uma álgebra apropriada.

Definimos a álgebra de Weyl finita C_2^n de ordem n^2 como a álgebra polinomial sobre o corpo dos números complexos X , gerada por aqueles dois idempotentes primitivos mencionados acima, q_0^1 e q_1^0 , que representam, como dissemos, respectivamente, a atividade e a passividade no interior da protomatéria, de tal modo a serem obedecidas as relações seguintes:

$$\begin{aligned} (q_0^1)^n &= q_0^n = 1 \\ (q_1^0)^n &= q_1^n = 1 \\ q_0^1 q_1^0 &= \varphi(p) q_1^0 q_0^1, \end{aligned}$$

em que $\varphi(p)$ é uma função complexa com parâmetro real p , tal que $\varphi(p)\varphi^*(p) = \|\varphi(p)\|^2 = 1$, sendo $\varphi^*(p)$ conjugado complexo de $\varphi(p)$, e $\varphi^n(p) = 1$, em que $\varphi(p)$ fornece uma função de ponderação como indicaremos a seguir.

Qualquer qualidade¹³ pode ser, então, representada por q_j^k . Significa que as qualidades se combinam para prodizir uma forma elementar, atuando como uma base para a álgebra. Segundo Santo Tomás, há diferentes qualidades geradoras dos corpos simples. Assim, podemos supor que o número de qualidades não é dado, o que nos permite designar qualquer qualidade *k-ativa* por meio de um índice superior k , e qualquer qualidade *j-passiva* por meio de um índice inferior j , em que existem n índices e, portanto, existem n^2 qualidades ou geradores da álgebra.

Defendem também Aristóteles e Santo Tomás que qualquer elemento é o resultado da mescla de qualidades ativas e passivas¹⁴ segundo o mais e o menos de cada uma delas. Assim, cada forma elementar pode ser dada como uma soma ponderada de qualidades ativas e passivas. O que significa dizer que qualquer forma elementar α_{jk} é um elemento da álgebra, no qual os índices k e j referem-

¹³ Doravante chamaremos essas qualidades de *holoquarks*, posto que são a base do que Davies denomina *holons*, e também porque são os blocos básicos a partir dos quais são obtidas as formas elementares, encontrando-se “confinados”, tais como os quarks no interior do núcleo, ao interior das formas. A tese de Davies tem sido uma fonte inestimável para nossa investigação. Cfr. DAVIES, P. *The Weyl Algebra and an Algebraic Mechanics. (PhD thesis)*. University of London, 1981

¹⁴ Cfr. ARISTÓTELES. *The Physics: Books I-IV*. Translated by Philip Wicksteed & Francis Cornford. Londres: Harvard University Press. (The Loeb Classical Library), [1957], I c. 6, e também TOMÁS DE AQUINO. *De Mixtione Elementorum. In Aquinas on Matter and Form and the Elements*. Translated by Joseph Bobik. University of Notre Dame Press, [1998].

se a atividade e passividade -- por isso esses elementos algébricos podem ser dados como elementos de uma matriz --, tal que qualquer forma elementar pode ser dada por

$$\alpha_{jk} = \frac{1}{n} \sum_r \varphi(r, j, k) q_r^{k-j}, \quad (1)$$

em que $\varphi(r, j, k)$ é o fator de ponderação que depende da mescla quantitativa dos tipos j e k de qualidades, sejam ativas ou passivas, na soma.

A soma é tomada sobre o índice mudo r porque há dois idempotentes primitivos fundamentais -- que doravante chamaremos de *holoquarks* --, q_0^1 e q_1^0 , os quais representam a dualidade fundamental da protomatéria, e são ambos tomados como básicos para a soma.

Na medida em que, segundo a cosmologia dos antigos, os elementos¹⁵ combinam-se e transmutam¹⁶ no interior da protomatéria, seus produtos algébricos representam essas operações. Alguns desses operadores possuem um significado especial porque representam a combinação e a transmutação das formas elementares.

Quanto à primeira operação, se pode afirmar da miscibilidade ou não das formas, segundo suas atividades ativas e passivas. Isso pode ser representado na álgebra do seguinte modo: uma dada forma elementar “pura”¹⁷ elemental form α_{jj} ou é miscível ou não com uma outra forma pura α_{kk} se $\alpha_{jj}\alpha_{kk} \neq 0$ ou $\alpha_{jj}\alpha_{kk} = 0$, respectivamente. De modo geral, a combinação entre formas é representada por $\alpha_{ij}\alpha_{kl}$. O caráter de idempotente de cada forma elementar permite-nos representar convenientemente a miscibilidade de qualquer elemento consigo mesmo porque, para qualquer elemento α_{jj} , obtém-se que $\alpha_{jj}\alpha_{jj} = \alpha_{jj}^2 = \alpha_{jj}$.

Claro, a principal suposição aqui é a de que existe um isomorfismo dos elementos da álgebra e de suas operações conforme definidas acima sobre as estruturas no interior da protomatéria. Como até então não há “leis ontológicas” no mesmo sentido em que leis físicas, a hipótese de isomorfismo nos dá o que é necessário para representar a dinâmica da protomatéria.

Outra operação fundamental a que nos referimos é a de transmutação das

¹⁵ Formas elementares.

¹⁶ Isto é, passam por uma transformação essencial ou metamorfose.

¹⁷ “pura” no sentido de que ambos os índices são iguais, o que significa que a forma não é o resultado de uma combinação de outras formas elementares, como veremos em seguida.

formas no interior da protomatéria, a qual Santo Tomás considera ser a operação fundamental, responsável pela extração de formas substanciais a partir da potência da protomatéria¹⁸, o que significa que a partir dessa operação se desdobra a realidade espaço-temporal. Visto ser básica a transmutação tanto para a extração da realidade física como para a manutenção de metamorfoses apropriadas no interior da protomatéria, representamo-las por meio de uma transformação de similaridade, segundo sugestões de¹⁹ quanto a expressar reconfigurações de elementos na álgebra. Assim, representamos a operação de transformação por $\varepsilon\alpha_{jk}\varepsilon^{-1}$, em que ε é um elemento algébrico qualquer. Obtemos transmutações interessantes se tomamos, em vez de ε , os holoquarks primitivos q_0^k e q_j^0 , o que é consistente com a hipótese de que tanto a *k-atividade* como a *j-passividade* das qualidades atuam como acionadores da educação de um novo ente no domínio do espaço-tempo.

Definamos, portanto, as operações de idempotentes do seguinte modo, para quaisquer elementos da álgebra,

$$\begin{aligned}\alpha_{ij}\alpha_{kl} &= \delta_{jk}\alpha_{il} \\ \alpha_{jj}\alpha_{jj} &= \alpha_{jj} \\ \alpha_{jj}\alpha_{kk} &= 0, \quad jj \neq kk \\ \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_{jj} &= 1.\end{aligned}$$

Em que δ_{jk} é o símbolo de Kronecker: 1, se $j=k$; e 0, se $j \neq k$.

O fato representado por $\sum_j \alpha_{jj} = 1$ é o de que todas as formas elementares puras são requeridas para cobrir o todo da protomatéria, o que está de acordo com a proposição de que a protomatéria não é pura potência -- como muitos erroneamente interpretaram --, posto que a protomatéria é. *Ser* é um requisito ontológico da protomatéria, na medida em que este este “mínimo” entitativo ontológico é responsável tanto pela atividade e pela educação do todo da Natureza, como proposto.

Podemos obter também um outro conjunto de idempotentes α'_{jk} simplesmente fazendo o automorfismo $\alpha'_{jk} = \varepsilon\alpha_{jk}\varepsilon^{-1}$, em que ε é algum elemento da álgebra. Com efeito, tomando ε como os holoquarks (ou idempotentes)

¹⁸ Operação que Aristóteles chama de educação.

¹⁹ Cfr. BOHM, D. *Wholeness and the Implicate Order*. Routledge & Kegan, 1980, p. 202 e HILEY *apud* SAUNDERS E BROWN, 1991, p. 243.

primitivos q_0^1 e q_1^0 temos como consequência uma rica compreensão das atividades assumidas pelos espaços duais no interior da protomatéria, os quais associamos, por exemplo, com posição e momentum²⁰.

Podemos interpretar apropriadamente o papel do símbolo de Kronecker ao tomarmos os componentes nulos como expressão ou representação da imiscibilidade das formas, ao passo que as componentes unitárias são a expressão ou representação da miscibilidade das formas.

Temos, a partir do caráter não comutativo da álgebra de Weyl, que

$$q_0^1 q_1^0 = \varphi(p) q_1^0 q_0^1.$$

$$\text{Em que } p \in \mathcal{P} \text{ e } \varphi(p) = \exp\left(\frac{-2\pi i}{n} p\right)$$

Neste caso, um certo holoquark q_k^j pode ser definido por

$$q_k^j = q_0^j q_k^0 = \varphi^{jk} q_k^0 q_0^j. \quad (2)$$

Também, quaisquer pares de holoquarks podem combinar-se de acordo com a seguinte regra²¹

$$q_j^i q_l^k = \varphi^{-jk} q_{j+l}^{i+k}. \quad (3)$$

Visto que os holoquarks funcionam como uma base para a álgebra, então se pode mostrar que qualquer elemento $\varepsilon \in A$, A sendo a álgebra gerada, pode ser dado por

$$\varepsilon = \sum_{j,k=0}^{n-1} A_{jk} q_k^j. \quad (4)$$

Contudo, estamos interessados nas formas elementares α_{jk} , as quais podem ser obtidas a partir dos holoquarks pela expressão seguinte²²

$$\alpha_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{r=0}^{n-1} \varphi^{-kr} q_r^{k-j}. \quad (5)$$

A expressão proposta acima para uma forma elementar α_{jk} , seja ela pura ou não, é consistente com o requisito de que as formas elementares podem ser entendidas como a mescla das qualidades segundo certas proporções entre elas.

²⁰ Um cálculo mais detalhado do papel desses espaços duais é dado em PETRONIO, R. *Filosofia da Natureza e Ciência: nova perspectiva e complementaridade*. (Tese de Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008, pp. 194-204.

²¹ Um cálculo detalhado das relações apresentadas até aqui pode ser encontrado em DAVIES, P. *The Weyl Algebra and an Algebraic Mechanics*. (PhD thesis). University of London, 1981.

²² Ver DAVIES, P. *The Weyl Algebra and an Algebraic Mechanics*. (PhD thesis). University of London, 1981, p. 87-91.

Os fatores de ponderação φ^{-kr} representam, por meio de seus índices superiores k e r a proporção requerida para a mescla das qualidades ativas e passivas ou holoquarks. Se fizermos $j=k$, então temos que

$$\alpha_{jj} = \frac{1}{n} \sum_{r=0}^{n-1} \varphi^{-jr} q_r^0. \quad (6)$$

Isto representa uma forma pura. É interessante notar que uma forma pura nada é senão a combinação de um tipo único da dualidade, seja ativo ou passivo, como indicado pelo índice 0. Neste caso, α_{jj} é uma forma pura, obtida pela ponderação de holoquarks puramente passivos, isto é, pelas qualidades q_r^0 . Neste sentido, α_{jj} é uma forma puramente passiva. Mostremos que $\alpha_{jj} = q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^j$. Ora, segundo a expressão [6] acima, se fizermos $j=0$, então temos que,

$$\alpha_{00} = \frac{1}{n} (q_0^0 + q_1^0 + \dots + q_{n-1}^0).$$

Ao multiplicarmos ambos os lados à esquerda por q_0^{-j} tem-se que

$$q_0^{-j} \alpha_{00} = \frac{1}{n} (q_0^{-j} q_0^0 + q_0^{-j} q_1^0 + \dots + q_0^{-j} q_{n-1}^0).$$

E ao multiplicarmos ambos os lados à direita por q_0^j tem-se que

$$q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^j = \frac{1}{n} (q_0^{-j} q_0^0 q_0^j + q_0^{-j} q_1^0 q_0^j + \dots + q_0^{-j} q_{n-1}^0 q_0^j),$$

$$q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^j = \frac{1}{n} \sum_r q_0^{-j} q_r^0 q_0^j.$$

Contudo, $q_k^j = q_0^j q_k^0 = \varphi^{jk} q_k^0 q_0^j$, e se também substituirmos j por $-j$, obtemos²³

$$q_0^{-j} q_r^0 = \varphi^{-jr} q_r^0 q_0^{-j}.$$

Transportando este último resultado para o somatório acima, tem-se que

$$q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^j = \frac{1}{n} \sum_r \varphi^{-jr} q_r^0 q_0^{-j} q_0^j.$$

E, segundo a definição dada para os idempotentes primitivos da álgebra,

$$q_0^{-j} q_0^j = \varphi^0 q_{0+0}^{-j+j} = q_0^0 = 1.$$

Por isso tem-se que

²³ São permitidos estes tipos de substituição (j por $-j$, j por $j-k$ etc.) devido ao caráter cíclico da soma, uma vez que existe apenas um número *finito* de elementos na álgebra.

$$q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^j = \frac{1}{n} \sum_r \varphi^{-jr} q_r^0.$$

Todavia, o lado direito da expressão acima é α_{jj} . Portanto, obtém-se

$$\alpha_{jj} = q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^j. \quad (7)$$

De modo semelhante, pode-se mostrar que

$$\alpha_{jk} = q_0^{-j} \alpha_{00} q_0^k. \quad (8)$$

Dá-se portanto que α_{00} parece desempenhar um papel muito importante que é o de conectar formas elementares por meio dos automorfismos [7] e [8] acima, de tal modo que não nos preocupamos com quaisquer restrições espaço-temporais até agora, ou seja, não nos atrelamos a alguma estrutura métrica prévia, devido ao carácter pregeométrico da álgebra. O papel a ser desempenhado pelas formas elementares do tipo α_{jj} , porquanto elas geral o espaço total da álgebra, não deve ser subestimado. Com efeito, parecem funcionar como uma espécie de elemento de interação difuso no interior da protomatéria, estabelecendo, em conjunto com os holoquarks q_k^0 e q_0^j , o conteúdo físico fundamental da Natureza. Ora, é importante por em jogo os dispositivos que nos permitirão derivar estruturas métricas (espaços lineares) a partir da álgebra. As estruturas métricas podem portanto ser associadas a determinações quantitativas no espaço-tempo, o que se trata de algo bastante desejável, na medida em que nos permite observar e medir. Os dispositivos apropriados para esta tarefa são os ideais à direita e à esquerda da álgebra, definidos, respectivamente, como se segue:

$$R_0(k) = \frac{1}{n} \sum_s \varphi^{ks} q_{-s}^k, \quad (9)$$

$$L_0(j) = \frac{1}{n} \sum_r q_r^{-j}. \quad (10)$$

Pode-se mostrar que os ideais à direita e à esquerda correspondem, respectivamente, segundo definido acima, aos símbolos *bra*, $\langle \ |$, e *ket*, $| \ \rangle$, a saber, aos símbolos de Dirac para a mecânica quântica²⁴, isto é, $|j\rangle = L_0(j)$ e $\langle k| = R_0(k)$. Pode-se mostrar também que os idempotentes são obtidos a partir dos ideais tal que

$$\alpha_{jk} = L_0(j) R_0(k) = |j\rangle \langle k|. \quad (11)$$

Pode-se provar o resultado acima se tomarmos as definições dos ideais à

²⁴ Pode-se encontrar em DAVIES, P. *The Weyl Algebra and an Algebraic Mechanics. (PhD thesis)*. University of London, 1981, pp. 97-99 uma demonstração detalhada dos colchetes de Dirac.

direita e à esquerda, pois

$$\begin{aligned} L_0(j)R_0(k) &= \frac{1}{n^2} \sum_{r,s} \varphi^{ks} q_r^{-j} q_{-s}^k \\ &= \frac{1}{n^2} \sum_{r,s} \varphi^{ks} \varphi^{-rk} q_{r-s}^{k-j} \\ &= \frac{1}{n^2} \sum_{r,s} \varphi^{-k(r-s)} q_{r-s}^{k-j}. \end{aligned}$$

Assim, se fizermos $t=r-s$ e o substituirmos na última parcela acima, tem-se que

$$L_0(j)R_0(k) = \frac{1}{n} \sum_t \varphi^{-kt} q_t^{k-j}. \quad (12)$$

Então, se se compara com a expressão [5], obtém-se α_{jk} . Tomamos estes componentes algébricos como denotando *beables supra-empíricos (metafísicos)* presentes no interior da protomatéria, isto é, princípios e propriedades que *de facto* subjazem a toda a realidade física, similar ao que foi proposto por Santo Tomás. Esses beables se constituem nos últimos componentes estruturais interiores à protomatéria, que mostramos ser dados pelos holoquarks e formas elementares. Sob um ponto de vista algébrico, ideais e outros operadores são introduzidos para dar conta de propriedades adicionais, de natureza quantitativa.

III. BEABLES SUPRA-EMPÍRICOS E O POTENCIAL QUÂNTICO DE BOHM²⁵.

Em um esforço que se encontra sob desenvolvimento há muitas décadas, desenvolvido por David Bohm (até sua morte em 1992) e seus colaboradores, busca-se uma ontologia que descreva os processos quânticos individuais. Com parte da pesquisa, (Bohm, 1952) propôs um novo tipo de potencial ou campo que permitiria a interação entre a forma do campo e o sistema quântico; e a principal característica da interação era ser não local. Isso parecia introduzir uma abordagem de variáveis ocultas que permitiam a presença dos seguintes aspectos:

(A) Supõe-se que a função de onda ψ representa um campo que é objetivamente real, e que não é o caso de a função de onda ser apenas um símbolo matemático que acomode propriedades físicas do objeto quântico;

(B) Supõe-se que, por causa da presença do campo descrito pela função

²⁵O trabalho originário de Bohm sobre este assunto pode ser encontrado, com detalhes, em BOHM, D. *A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden Variables"*, I. In *Physical Review*, v. 85, n. 2, 1952, pp. 166-179.

de onda, exista uma partícula que seja dada por um conjunto de de coordenadas variáveis, mas sempre bem definidas;

(C) A velocidade da partícula depende de uma função de fase S , conectada à função de onda ψ tal que $\psi = Re^{iS}$, em que S e R são funções reais, e R é a amplitude do potencial quântico, este último definindo a forma da função de onda;

(D) O campo ψ está de fato em um estado de flutuação caótica e muito rápida. Os valores que são usados para expressar ψ são um tipo de média, tomada sobre algum intervalo de tempo que é longo o bastante se comparado com os intervalos médios das flutuações que emergem do potencial quântico, mas suficientemente curto se comparado com com os processos quânticos usuais.

Portanto, Bohm sugeriu que este potencial quântico Q poderia ser expresso por

$$Q = \left(-\eta^2 / 2m \right) \left(\nabla^2 R / R \right) \quad (13)$$

No qual m é a massa da partícula (ou do sistema quântico), $\eta = h/2\pi$, h é a constante de Planck, e R é a amplitude do campo²⁶. Proponhamos agora uma conexão entre este potencial de campo os super-beables. Alguns premissas são necessárias:

(i) Há um operador \hat{R} que pode representar o potencial quântico no interior da protomatéria, ou seja, é um elemento da álgebra, ainda que não compartilhe uma forma semelhante com os operadores que representam energia e forças quântomecânicas.

(ii) O operador \hat{R} deve atender primariamente ao requisito de *forma* para o campo num determinado lugar no espaço de configurações;

(iii) O operador \hat{R} deve atender às expressões algébricas para a função de onda no espaço de configurações, e pode ser dado por²⁷

$$|\psi\rangle = \frac{1}{n} \sum_{j,u} \psi_j q_u^{-j}.$$

Em que $\psi_j = a_j e^{-ij^2 t/2m}$, sendo a_j uma constante, t e m são certos

²⁶ Ver DURR, D.; GOLDSTEIN, S.; ZANGHI, N. *Bohmian Mechanics and the Meaning of the Wave Function*. Munique: *Mathematisches Institut der Universität München*, Alemanha; Nova Brunswick: *Department of Mathematics*, Rutgers University, EUA; Gênova: *Instituto di Fisica dell'Università di Genova*, INFN, Itália. (arXiv:0303156v2 [quant-ph]), 2004.

²⁷ Cfr. DAVIES, P. *The Weyl Algebra and an Algebraic Mechanics*. (PhD thesis). University of London, 1981, p. 205.

parâmetros (t representa tempo e m a massa do sistema quântico). Se substituirmos pela expressão da função de onda, e fazendo $\lambda = t/2m$, obtemos que

$$|\psi\rangle = \frac{1}{n} \sum_{j,u} a_j e^{-i\lambda j^2} q_u^{-j}. \quad (14)$$

No entanto, se comparamos com a expressão que Bohm sugeriu para a função de onda, tem-se que

$$\frac{1}{n} \sum_{j,u} a_j e^{-i\lambda j^2} q_u^{-j} = \hat{R} e^{iS}.$$

Por onde se multiplicarmos ambos os lados da expressão acima por e^{-iS} , e rearrumando, obtém-se que

$$\hat{R} = \sum_j a_j e^{-i(\lambda j^2 + S)} q_0^{-j} \frac{1}{n} \sum_u q_u^0.$$

Se fizermos $\eta_j(\lambda, S) = a_j e^{-i(\lambda j^2 + S)}$ e tomarmos em consideração que $\alpha_{00} = \frac{1}{n} \sum_u q_u^0$, então temos que

$$\hat{R} = \sum_j \eta_j(\lambda, S) q_0^{-j} \alpha_{00}. \quad (15)$$

Por outro lado, deve-se notar que, segundo Davies²⁸ e Petronio²⁹ $q_0^{-j} \alpha_{00} = |j\rangle$, e isso implica que

$$\hat{R} = \sum_j \eta_j(\lambda, S) |j\rangle = \sum_j \psi_j |j\rangle.$$

A equação [15] acima atende não apenas aos critérios que delineamos nas premissas perfiladas, como também descreve caráter não local tanto da forma elementar (super-beable) α_{00} como dos holoquarks (super-beables) q_0^{-j} , porquanto não são obtidos com base em alguma suposição acerca de quaisquer restrições espaço-temporais. Descreve igualmente o caráter local representado por λ e S , que podem ser computados por algum algoritmo estocástico, tendo-se em conta a forma determinista de S e a forma probabilística de λ .

Multiplicando-se o lado direito da equação [15] por $q_0^j q_0^{-j} (=1)$, obtém-se que

²⁸ DAVIES, *loc. cit.*

²⁹ PETRONIO. R. *Op. cit.*, p. 224.

$$\hat{R} = \sum_j \eta_j(\lambda, S) q_0^{-j} \alpha_{jj} q_0^j q_0^{-j}.$$

Em razão de que o operador de Bohm para a álgebra é dado por

$$\hat{R} = \eta_j(\lambda, S) \alpha_{jj} q_0^{-j}. \quad (16)$$

Adotamos aqui a convenção de Einstein para a soma sobre o índice mudo j na expressão acima. Se tomarmos \hat{R} como uma função tanto dos parâmetros localmente descritos λ, S , como dos parâmetros não locais (“ocultos”) $\sigma_j = \alpha_{jj} q_0^{-j}$, então podemos escrever

$$\hat{R} = R(\lambda, S, \sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_{n-1}). \quad (17)$$

A equação [16] acima tem uma forma bastante simples, e descreve tanto o caráter local como não local do potencial quântico, visto que o operador de Bohm é função de um conjunto de parâmetros, alguns deles locais, λ, S , e alguns deles não locais, $\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_{n-1}$. Ademais, Bell³⁰ mostrou que este tipo de parâmetros escondidos, σ_j , tal como os consideramos na expressão [17], são definitivamente não locais. De modo mais explícito: os super-beables α_{jj} e q_0^{-j} são responsáveis pelo tipo não local de “interação da forma”, dado pelo operador de Bohm \hat{R} , e são variáveis ocultas no sentido de que se tratam de fatores supra-empíricos residentes no interior da protomatéria (ou interiores ao holomovimento, o que significa, por ora, a mesma coisa³¹). Isto quer dizer que tais parâmetros não podem ser detectados por quaisquer processos de medição experimental. Apenas $\eta_j(\lambda, S)$, ou operadores relacionados em espaços de Hilbert estão sujeitos a observação ou medição, ao passo que os super-beables não; e mais importante ainda: por serem componentes constitutivos do caráter premétrico da álgebra, esses super-beables não podem ser rastreados diretamente por quaisquer processos experimentais, presentemente ou a longo prazo. De certo modo são semelhantes aos quarks, na medida em que estão definitivamente confinados no domínio ontológico (metafísico) da protomatéria.

O que fizemos até aqui usando o idempotente primitivo passivo q_1^0 pode ser obtido em base dual com o idempotente primitivo ativo q_0^1 , de modo que obtemos um espaço de elementos duais β_{jj} , tais que

³⁰ Cfr. BELL, J. S. *The Theory of Local Beables. In Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics.* Cambridge University Press, 1987, pp. 63-66.

³¹ Cfr. BOHM, D.; HILEY, B. J. *The Undivided Universe: an ontological interpretation of quantum theory.* Routledge, 1993, pp. 350-367.

$$\beta_{jj} = \frac{1}{n} \sum_s \varphi^{-js} q_0^s.$$

Pode-se mostrar que esses elementos algébricos geram o dual do espaço dos α_{jj} , de modo tal que se pode interpretar os componente pasivos α_{jj} como geradores das propriedades extensionais da matéria, e os componentes ativos β_{jj} como geradores das propriedades de mutabilidade da matéria. Exporemos isso melhor em um artigo futuro. O ponto essencial aqui é chamar a atenção para o fato de que a matéria é simultaneamente extensível e mutável, e estes aspetos intrínsecos são duais no sentido de que não podem subsistirem um sem o outro, no âmbito da Natureza. Podemos conjecturar se este caráter dual intrínseco à matéria não poderia também ser responsável pela dualidade básica de posição e *momentum* que se encontra na mecânica quântica, expressa sob a forma do princípio de incerteza de Heisenberg.

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS.

Entendemos que o que foi apresentado até aqui sugere com clareza que certos *insights* mais profundos sobre aspetos metafísicos da matéria podem nos conduzir a uma nova área de investigação, na qual um tipo de complementaridade entre processos experimentais e análise metafísica deve ser empreendido, a despeito de preconceitos que se encontram por aí há mais de três séculos. Claro, o propósito deste artigo não foi nem estabelecer uma perspectiva abrangente de como isso poderia ser feito, nem conduzir uma investigação a fundo sobre as estruturas algébricas que podem ser utilizadas para representar a protomateria. Nosso único intento foi prover uma abordagem geral sobre o assunto.

Por outro lado, entendemos que há bastante campo para o desenvolvimento de modelos representacionais para a protomateria, bem como na investigação de procedimentos experimentais que detetem efeitos que sejam associados aos super-beables, uma vez que nenhum deles jamais pode ser detectado por is mesmo. No entanto, se as as ferramentas certas forem desenvolvidas, poderíamos rastrear sua presença sob a forma de interferências ou perturbações causadoras das correlações não locais, ou outros tipos de efeitos detectáveis. Talvez, métodos de perturbação e métodos estocásticos venham a ser de ajuda inestimável neste esforço de detecção. De qualquer modo, temos expectativa de que, de fato, muito breve teremos modelos matemáticos que sejam capazes de prover algum tipo de ponte entre os super-beables e perturbações

causadas por sua presença. A esse respeito, pensamos que uma investigação sobre o estado fundamental do vácuo nos poderia indicar qual a melhor rota a seguir, especificando o papel desempenhado pelos componentes “ocultos” $\sigma_0, \sigma_1, \dots, \sigma_{n-1}$. Talvez, estejam associados aos operadores de criação e aniquilamento, respectivamente, a_k e a_k^\dagger , uma vez que para um vácuo dinâmico, se $a_k|0\rangle = 0$ e $\langle 0|a_k^\dagger a_k|0\rangle = 0$, então ambos, a_k e a_k^\dagger , são $\neq 0$.

John Bell estava certo: não há porque reivindicar que beables físicos sejam capazes de salvar ao mesmo tempo a localidade e a mecânica quântica. Portanto, uma solução seria assumir os super-beables como elementos não físicos (metafísicos) de uma realidade que se estende para além das medições realizadas no domínio do espaço-tempo. Neste caso, ambos os domínios da realidade são salvos, segundo uma perspectiva quantomecânica: tanto as previsões locais, que pertencem à ordem física mensurável, como as correlações não locais, que pertencem à ordem ontológica não mensurável.

AGRADECIMENTOS.

O autor deseja agradecer ao Prof. Dr. Paulo Faidanin (UFF/Brasil) por seu apoio constante nas pesquisas, ao Prof. Dr. George Svetlichny (PUC-Rio/Brasil) por diversas discussões interessantes que ocorreram durante a preparação de minha tese de doutorado na PUC-Rio, especialmente os conselhos referentes ao uso de pré-espaço e álgebras de Clifford, ao Prof. Dr. Antônio Augusto Videira (UERJ/Brasil) pelo interesse, estímulo e acompanhamento de minhas atividades de pós-doutorado na UERJ ao longo de 2009/2010, que envolveram justamente uma análise da proposta bohmiana para uma filosofia da natureza; e, por fim, mas não menos importante, ao Prof. Dr. David Bohm (*in memoriam*), que o autor não conheceu pessoalmente, mas que o inspirou na investigação de um modelo que pudesse servir como guia na reunificação de certos domínios da física e da metafísica.

REFERÊNCIAS.

- ARISTÓTELES. *The Physics: Books I-IV*. Translated by Philip Wicksteed & Francis Cornford. Londres: Harvard University Press. (The Loeb Classical Library), [1957].
- BELL, J. S. The Theory of Local Beables. In: *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*. Cambridge University Press, 1987.

- BOHM, D. *A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden Variables"*, I. In *Physical Review*, v. 85, n. 2, 1952, pp. 166-179.
- BOHM, D. *Wholeness and the Implicate Order*. Routledge & Kegan, 1980.
- BOHM, D.; HILEY, B. J. *The Undivided Universe: an ontological interpretation of quantum theory*. Routledge, 1993.
- BYRNE, C. Prime Matter and Actuality. In *Journal of the History of Philosophy*, v. 33, n. 2, 1995, pp. 197-224, 1995.
- DAVIES, P. *The Weyl Algebra and an Algebraic Mechanics*. (PhD thesis). University of London, 1981.
- DURR, D.; GOLDSTEIN, S.; ZANGHI, N. *Bohmian Mechanics and the Meaning of the Wave Function*. Munique: *Mathematisches Institut der Universität München*, Alemanha; Nova Brunswick: *Department of Mathematics*, Rutgers University, EUA; Gênova: *Instituto di Fisica dell'Università di Genova*, INFN, Itália. (arXiv:0303156v2 [quant-ph]), 2004.
- FAITANIN, P. *Ontología de la materia en Tomas de Aquino*. Departamento de Filosofia, Universidad de Navarra, n. 135, Pamplona: *Servicios de Publicaciones de la Universidad de Navarra*. (*Cuadernos de Anuario Filosófico*), 2001.
- GRAHAM, D. *The Paradox of Prime Matter*. In *Journal of the History of Philosophy*, v. 25, n.4, pp. 475-490, 1987.
- HESTENES, D.; SOBCZYK, G. *Clifford Algebra to Geometric Calculus*. Dordrecht: Holanda. (*Fundamental Theories of Physics*). 1987.
- HILEY, B.; FRESCURA, F. *The Implicate Order, Algebras and the Spinor*. In *Foundations of Physics*, v. 10, nn. 1-2, pp. 07-31, 1980a.
- _____. *The Algebraization of Quantum Mechanics and the Implicate Order*. In *Foundations of Physics*, v. 10, n. 9-10, pp. 705-722, 1980b.
- _____. *Algebras, Quantum Theory and Pre-Space*. In *Revista Brasileira de Física*, v. esp. (Os 70 anos de Mario Schenberg), pp. 49-86, 1984.
- HILEY, B. *Vacuum or Holomovement*. In *The Philosophy of Vacuum*. (Ed. Saunders and Brown), Clarendon Press, 1991.
- _____. *A Note on the Role of Idempotents in the Extended Heisenberg Algebra*. In *Implications*, Scientific aspects of ANPA 22. Cambridge, pp. 107-121, 2001.
- PETRONIO, R. *Filosofia da Natureza e Ciência: nova perspectiva e complementaridade*. (Tese de Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008.
- SOKOLOWSKI, R. *Matter, Elements and Substance in Aristotle*. In *Journal of the History of Philosophy*, v. 8, n. 3, pp. 263-268, 1970.
- SOLMSEN, F. *Aristotle's System of the Physical World*. Ithaca, 1960.
- TOMÁS DE AQUINO. *De Mixtione Elementorum*. In *Aquinas on Matter and Form and*



the Elements. Translated by Joseph Bobik. University of Notre Dame Press, [1998].

TORRETTI, R. *The Philosophy of Physics*. Cambridge University Press, 1999.