



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo  
[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)



## Paradoxo EPR, o “Gato” de Schrödinger e a Mecânica de de Broglie-Bohm.

Depois que o físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961; PNF, 1933) propôs sua célebre equação (ES), em 1926 (*Annalen der Physik* 79, p. 361; 489; 734; 747; 80, p. 437):

$$H \Psi(\vec{r}, t) = i \hbar \partial / \partial t \Psi(\vec{r}, t),$$

$$H = T + V(\vec{r}, t), \quad T = \vec{p}^2 / 2m, \quad \vec{p} = -i \hbar \vec{\nabla},$$

surgiu uma questão intrigante, qual seja, a de saber o significado da *função de onda de Schrödinger* ( $\Psi$ ). Inicialmente, o próprio Schrödinger apresentou uma interpretação para ela em seus trabalhos iniciais indicados acima, tratando-a apenas como um *campo escalar mecânico* que satisfazia formalmente à sua equação. Porém, observando que no átomo de hidrogênio (H) há emissão de ondas eletromagnéticas quando o elétron troca de órbita, Schrödinger, ainda em 1926 (*Annalen der Physique* 81, p. 136) propôs uma outra interpretação para  $\Psi$  afirmando que a densidade espacial  $\rho$  correspondente à carga ( $e$ ) do elétron seria dada por:  $\rho = e \Psi^* \Psi$  (\* significa complexo conjugado) =  $e |\Psi|^2$ , e o elétron, dessa forma, estaria como que espalhado no espaço como se fosse uma “nuvem” (vide verbete nesta série).

Por outro lado, o físico alemão Max Born (1882-1970; PNF, 1954), ainda em 1926 (*Zeitschrift für Physik* 37, p. 863; 38 p. 803), estudando a dispersão de um feixe de elétrons, estes representados por *ondas de matéria de broglieanas* (vide verbete nesta série), observou que o número dos elétrons difundidos poderia ser calculado por meio de certa expressão quadrática, construída a partir da *amplitude* de uma onda esférica secundária, onda essa que era gerada pelo átomo espalhador do feixe eletrônico incidente. Desse modo, Born interpretou  $\Psi$  como sendo uma *amplitude de probabilidade*. Isso significava dizer que qualquer observável físico [posição, momento linear (velocidade), energia etc] de uma partícula é encontrada multiplicando-se a densidade de probabilidade calculada pela expressão  $\Psi^* \Psi = |\Psi|^2$ , pelo operador correspondente a esse observável, e integrando-se em todo o espaço. Por exemplo, para a energia (E) cujo operador é o hamiltoniano (H), tem-se:  $E = \int_{\text{espaço}} \Psi^* H \Psi dV$ .

A essa interpretação de Born sobrepôs-se uma outra questão. Será sempre possível observar qualquer grandeza física? A resposta a essa pergunta foi dada pelo físico alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976; PNF, 1932). Vejamos como ela aconteceu. Ao tentar representar, matematicamente, a trajetória de um elétron em uma *câmara de névoa* ou *câmara de Wilson* (vide verbete nesta série), Heisenberg percebeu que, embora se observe essa trajetória por intermédio de gotinhas de água isoladas na câmara, tais gotinhas, certamente, eram muito mais amplas que um elétron e, desse modo, só se registra uma sucessão discreta de lugares, imprecisamente determinados, do elétron. Portanto, a verdadeira questão, concluiu Heisenberg, era a de representar, dentro da Mecânica Quântica, uma situação que, de modo aproximado – quer dizer, com certa imprecisão –, possua uma determinada velocidade. Foi, basicamente, esse raciocínio que o levou a apresentar, em 1927 (*Zeitschrift für Physik* 43, p. 172), o seu famoso *Princípio da Incerteza* (PIH), [Werner Heisenberg, *Physics and Beyond: Encounters and Conversations* (Harper and Row, Publishers, 1971); Abraham Pais, *Niels Bohr's Times, In Physics, Philosophy and Polity* (Clarendon Press, Oxford, 1991); David C. Cassidy, *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg* (W. H. Freeman and Company, New York, 1992)], assim enunciado:

*É impossível obter exatamente os valores simultâneos de duas variáveis, a não ser dentro de um limite mínimo de exatidão.*

Aplicando-se o formalismo da Mecânica Quântica Ondulatória de Schrödinger (MQOS) aos operadores  $\hat{F}$  e  $\hat{G}$ , que representam duas quaisquer quantidades físicas F e G, esse princípio é dado

pelas famosas *Relações de Incerteza de Heisenberg (RIH)*:

$$\langle (\Delta F) \rangle \langle (\Delta G) \rangle \geq \frac{1}{2} \hbar.$$

Vejamos o significado físico dessas relações. Como  $\langle (\Delta F) \rangle$  e  $\langle (\Delta G) \rangle$  representam, respectivamente, os valores médios dos erros nas medidas dos observáveis  $F$  e  $G$ , a expressão acima significa que essas medidas não podem ser efetuadas com precisão, isto é, com erro nulo (a menos do erro inerente à medida experimental). Por outro lado, no formalismo da MQOS, os valores médios referidos acima são calculados por intermédio de  $\Psi$ . Em vista disso, a questão central dessa Mecânica Quântica seria o de relacionar  $\Psi$  com a *medida* do observável desejado. Assim, desenvolveu-se a famosa Teoria do Colapso da Função de Onda  $\Psi$  ou Redução da Função (Pacote) de Onda (TCFO/RPO). [A. S. Davydov, *Quantum Mechanics* (Pergamon Press, 1968); R. Shankar, *Principles of Quantum Mechanics*, (Plenum Press, 1994)].

É interessante destacar que, quando  $\hat{p}_x$  e  $\hat{x}$  representam, respectivamente, o operador momento linear ( $\hat{p}_x$ ) e o operador posição ( $\hat{x}$ ), correspondentes ao momento linear ( $p_x$ ) e a posição ( $x$ ) de uma partícula, aquela relação toma o seguinte aspecto:

$$\langle (\Delta p_x) \rangle \langle (\Delta x) \rangle \geq \frac{1}{2} \hbar.$$

Ainda segundo o formalismo da MQOS, o resultado da *medida* de dado observável, representado por um operador hermitiano  $\hat{A}$ , é um de seus autovalores  $a$  (sempre real), correspondente ao auto-estado  $|a\rangle$ , e definido pelas equações [José Maria Filardo Bassalo e Mauro Sérgio Dorsa Cattani, *Cálculo Exterior* (Livraria da Física, 2009)]:

$$\hat{A} |a\rangle = a |a\rangle, \text{ sendo: } \sum_a |a\rangle \langle a| = 1.$$

No entanto, nem sempre o estado  $|\Psi\rangle$  de um sistema físico é um auto-estado (por exemplo,  $|a\rangle$ ). Portanto, como encontrar a *medida* do observável ( $a$ , por exemplo) correspondente àquele estado? Nesse caso, o estado desse sistema físico será uma superposição dos auto-estados  $|a\rangle$ , ou seja:

$$|\Psi\rangle = \sum_a |a\rangle \langle a|\Psi\rangle = \sum_a \langle a|\Psi\rangle |a\rangle,$$

onde  $\langle a|\Psi\rangle$  representa a *amplitude de probabilidade* de encontrar o sistema que se encontra no auto-estado  $|a\rangle$ . Desse modo, ao se efetuar a *medida* correspondente a um observável ( $a$ ), a  $|\Psi\rangle$  do sistema em questão de alguma forma *colapsa* e passa a ser um dos possíveis auto-estados ( $|a\rangle$ ) que o sistema, anteriormente à *medição*, apenas tinha como potencialmente possível. Assim, o *observador* deixa de ser alheio ao processo físico e passa a ser parte integrante do que é observado (*sujeito*). Este resultado traduz a TCFO/RPO, mencionada acima. [B. J. Mokross, *Revista Brasileira de Física* 19, p. 136 (1997)].

As aplicações das RIH e TCFO/RPO discutidas acima foram (e ainda são!) motivo de muita discussão entre os físicos, principalmente pelos paradoxos que delas decorrem. Com efeito, a RIH foi objeto de grande polêmica entre os físicos, o dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922) e o germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), primeiro por ocasião da comemoração do centenário de morte do físico italiano Alessandro Giuseppe Volta (1745-1827), realizado em Como, na Itália, em 1927, e continuado nos *Congressos Internacionais de Física de Solvay*, de 1927 e 1930, realizados em Bruxelas, na Bélgica. [Paul Arthur Schilpp (Editor), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (Open Court, 1970); Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics* (John Wiley and Sons, 1974)]. Essa discussão decorreu, basicamente, do fato de que Bohr aceitava a interpretação borniana da MQOS, conhecida como a famosa *Interpretação de Copenhagen* (IC), e Einstein não a aceitava. Ou, dito de outra maneira: Bohr acreditava que  $\Psi$  descrevia completamente a realidade física, enquanto Einstein achava que não. Registre que a IC recebeu esse nome porque Bohr ensinava e dirigia um grupo de pesquisa na *Universidade de Copenhagen*, na Dinamarca. Essa

interpretação também ficou conhecida como *Interpretação Indeterminista (II)*, pois a RIH, base dessa interpretação, indicava que a posição ( $\mathbf{x}$ ) e a velocidade (ou momento:  $\mathbf{p}_x = m \mathbf{v}_x$ ) de uma partícula não poderiam ser determinadas simultaneamente (vide expressão acima). E, portanto, a trajetória clássica [solução da *Equação de Newton* (vide verbete nesta série)] da partícula não poderia ser determinada.

Essa discussão entre Bohr e Einstein foi retomada quando Einstein e os físicos, o russo Boris Podolsky (1896-1966) e o norte-americano Nathan Rosen (1909-1995) afirmaram, em 1935 (*Physical Review* 47, p. 777), o seguinte:

*Se, sem perturbar um sistema físico, for possível prever com certeza (isto é, com a probabilidade igual a um) o valor de uma quantidade física, então existe um elemento da realidade física correspondente a essa quantidade física.*

Para chegar a essa afirmação, esses três físicos examinaram a situação de dois sistemas, I e II, que interagem entre  $t=0$  e  $t=T$ , e depois desse intervalo de tempo deixam de interagir. Supuseram, também, que os estados dos dois sistemas eram conhecidos antes de  $t=0$ . Desse modo, com auxílio da MQOS, afirmaram que pode ser calculada a  $\Psi$  do sistema I + II, para qualquer  $t > T$ . Os resultados dos cálculos quanto-mecânicos que realizaram com a  $\Psi$  para a situação que haviam considerado [também conhecida como *experiência de pensamento (gedankenexperimente)*], podem ser descritos de outra maneira. Vejamos qual. Duas partículas (1, 2), apresentando os respectivos momento linear e posição ( $\vec{p}_1, \vec{q}_1$ ) e ( $\vec{p}_2, \vec{q}_2$ ), estão num estado com momento linear  $\vec{P} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$  e posição relativa  $\vec{Q} = \vec{q}_1 - \vec{q}_2$ . Então, as duas partículas sofrem uma interação e se afastam. Assim, conhecidos os valores de  $\vec{P}$  e  $\vec{Q}$  (que podem ser nulos, bastando para isso considerar as partículas juntas e paradas), medidas simultâneas de  $\vec{p}_1$  e  $\vec{q}_2$  nos darão, respectivamente, os valores de  $\vec{p}_2$ , sem perturbar a partícula 2 e de  $\vec{q}_1$ , sem perturbar a partícula 1. Desse modo, teremos que  $\vec{p}_2$  e  $\vec{q}_2$  são elementos da realidade física e obtidos simultaneamente. Ora, a MQOS afirma, por intermédio do PIH, que  $\vec{p}_2$  e  $\vec{q}_2$  não podem ser simultaneamente conhecidos. Portanto, esse resultado levava a um paradoxo, uma vez que, segundo o artigo de Einstein-Podolsky-Rosen (EPR), *todo elemento da realidade física precisa ter um correspondente na teoria física*.

Examinemos um pouco mais o artigo EPR. Este envolve, basicamente, os seguintes conceitos: 1) *correlação*, 2) *localidade* ou *separabilidade*, 3) *realidade* e 4) *completeza*. A *correlação* decorre do fato de que a medida, por exemplo, de  $\vec{p}_1$ , determina de imediato o conhecimento de  $\vec{q}_2$ , sem realizar sua medida; isso, no entanto, é proibido pela MQOS. A *localidade* significa que os estados reais de objetos separados espacialmente são independentes um do outro, ou seja, a medida realizada em um objeto (p.e.: partícula 1) não perturba o outro (partícula 2). A *realidade* significa que, se for possível determinar com certeza (probabilidade igual a 1) o valor de uma grandeza física, sem perturbar o sistema, então existe um elemento da realidade física que corresponde a esta *medida física*. Por fim, a *completeza* significa que todo elemento de realidade física deve ter uma contrapartida na teoria que descreve o fenômeno. Ora, a MQOS rejeita o conceito de *localidade*, pois afirma que, mesmo que as partículas 1 e 2 não estejam mais interagindo, a medição efetuada em uma delas perturbará instantaneamente (com tempo nulo, portanto, velocidade infinita) a outra. Desse modo, a MQOS seria *completa*, porém estaria violando o princípio da Relatividade Restrita segundo o qual não é possível enviar sinais instantaneamente (com velocidade maior do que a velocidade da luz  $c$ ). Em vista disso, Einstein preferiu manter a *localidade* e, desse modo, afirmou que a MQOS não fornece uma descrição *completa* da realidade física (Mokross, op. cit.).

É interessante registrar que o físico inglês David Joseph Bohm (1917-1992) em seu livro intitulado *Quantum Theory* (Prentice-Hall, 1951), retomou o trabalho EPR (no qual cunhou o termo Paradoxo de Einstein-Podolsky-Rosen ou P-EPR), propondo uma outra *experiência de pensamento*. Um molécula (M) que apresenta spin nulo ( $s_M = 0$ ), cinde-se em dois átomos (A, B). Tais átomos separaram-se um do outro de tal maneira que em pouco tempo não há mais interação entre eles. Uma vez separados, qualquer *medida* sobre um deles não influirá (perturbará) o outro. Se, por exemplo, o componente ( $x$ ) do spin de B ( $s_x^B$ ) for medido, o átomo A não será informado dessa *medida*. Porém, de acordo com o Princípio da Conservação do Momento Angular, como  $s_M = 0$ , então  $s_x^A = -s_x^B$ . Assim, podemos realizar qualquer outra *medida* sobre A. Por exemplo, se medirmos  $s_y^A$ , simultaneamente com a *medida* de  $s_x^B$ , teremos então duas *medidas simultâneas* de A ( $s_x^A, s_y^A$ ) que são independentes entre si. Contudo, esse resultado é proibido pela MQOS, que supõe ser impossível o conhecimento simultâneo de quantidades físicas conjugadas, por causa da RIH. É interessante destacar que, na

linguagem da MQOS, quantidades físicas conjugadas têm operadores que não comutam. No caso em questão, tem-se:  $\hat{s}_x \hat{s}_y \neq \hat{s}_y \hat{s}_x$ . [Banesh Hoffman et Michel Paty, L' Étrange Histoire des Quanta (Seuil, 1981); Michel Paty, A Matéria Roubada (EdUSP, 1995), Davydov, op. cit.].

Voltemos ao EPR. Este recebeu a imediata contestação de Bohr, primeiro por meio de uma carta que escreveu à Revista *Nature* (Volume 136, p. 65), dois meses após a saída do artigo EPR, na qual dizia que não concordava com as conclusões desse artigo, prometendo escrever um outro mais detalhado, o que realmente ocorreu, ainda em 1935 (*Physical Review* 48, p. 696), no qual resolveu o P-EPR usando o seu *Princípio da Complementaridade* (PC), que havia apresentado no *Congresso de Solvay*, em 1927, e publicado em 1928 (*Nature* 121, p. 78; 580). Tal princípio significava, basicamente, que os modelos corpuscular e ondulatório são complementares. Assim, se uma medida física prova o caráter ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular na mesma medida, ou vice-versa. [Aliás, o PC foi retomado por Bohr, em 1961, no livro intitulado *Physique Atomique et Connaissance* (Gauthier Villiers, Paris) no qual afirmou que seu princípio significava que: *a descrição de todos os resultados de experiências deve ser expressa em termos clássicos*]. Além do PC, Bohr usou a MQOS para dar uma explicação para o P-EPR dizendo que a medição de um de dois objetos quânticos (p.e.: elétrons) correlacionados afeta o parceiro correlacionado. Assim, quando um objeto de um par correlacionado sofre uma *medida* da *função de onda*  $\Psi$  (na linguagem da MQOS, essa *medida* chama-se de *colapso da função de onda*, como vimos antes) em um estado de momento linear (p.e.,  $\vec{p}_1$ ), a função de onda do outro também entra em colapso (no estado de momento linear)  $\vec{p}_2 = \vec{P} - \vec{p}_1$  e nada se pode dizer sobre a posição ( $\vec{q}_2$ ) do outro objeto correlacionado. O mesmo ocorre se for *medida* a posição ( $\vec{q}_1$  ou  $\vec{q}_2$ ). Portanto, segundo Bohr, o *colapso da função de onda* do mesmo modo que a *correlação* (*entanglement*) são objetos que apresentam uma *Inseparabilidade Quântica*. Mais tarde, em 1948 (*Dialectica* 2, p. 312), Bohr ampliou ainda mais essa discussão sobre *realidade e localidade* ao introduzir o conceito de *fenômeno* (que havia inicialmente definido em 1938) que *inclui tanto o objeto de estudo quanto o modo de observação*. [Abraham Pais, Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy and Polity (Clarendon Press, 1991)].

É ainda interessante destacar que a *Inseparabilidade Quântica* (IQ) foi, durante quase trinta anos, apenas objeto de especulações acadêmicas, até o físico irlandês John S. Bell (1928-1990) demonstrar, em 1964 (*Physics* 1, p. 195), um teorema – a famosa *desigualdade de Bell* – que permitia testar experimentalmente a IQ. Registre-se que, desde 1975, o físico francês Alain Aspect (n.1947) e colaboradores vêm realizando experiências sobre a IQ, com resultados favoráveis à MQOS. Para uma análise sobre esses resultados, ver: John Archibald Wheeler and Wojciech Hubert Zurek (Editors), *Quantum Theory and Measurement* (Princeton University Press, 1983; Peter R. Holland, *The Quantum Theory of Motion: An Account of the de Broglie-Bohm Causal Interpretation of Quantum Mechanics*, (Cambridge University Press, 1993); Gennaro Auletta, *Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics*, (World Scientific, 2001)].

Um outro aspecto do P-EPR foi apresentado, também em 1935 (*Naturwissenschaften* 23, p. 807; 823; 844; *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 31, p. 555) por Schrödinger numa outra *experiência de pensamento*, assim enunciada:

*Seja uma caixa contendo uma substância radioativa, um detector de radiação (um contador Geiger, por exemplo), uma ampola de gás venenoso (gás cianídrico, por exemplo) e ainda um gato vivo. As coisas são dispostas de modo que haja cinquenta por cento de probabilidade de o detector registrar uma desintegração (fixa-se uma duração para o ensaio). Se isso acontecer, a ampola quebra-se e o gato morre. Senão, continua vivo.*

Na continuação da análise dessa *experiência*, Schrödinger afirmou que, enquanto não abrimos a caixa para ver a real situação do gato, a sua "função de onda" ( $\Psi_{\text{gato}}$ ), de acordo com a IC da MQOS, será dada pela expressão:

$$\Psi_{\text{gato}} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_{\text{gato-vivo}} + \Psi_{\text{gato-morto}}).$$

Assim, Schrödinger apresentou essa *experiência* para mostrar uma falha daquela interpretação, pois, obviamente, o 'gato' não pode estar vivo e morto ao mesmo tempo. Daí o paradoxo que ficou conhecido como o Paradoxo de Schrödinger ou Paradoxo do 'gato' de Schrödinger. Registre-se que, no formalismo da MQOS, abrir a caixa para saber a real situação do *gato de Schrödinger* significa *reduzir* (*colapsar*) o *pacote de onda*  $\Psi_{\text{gato}}$ ,

de acordo com a TCFO/RPO. [John Gribbin, *À Procura do Gato de Schrödinger* (Editorial Presença, 1984); Luiz Davidovich, *Ciência Hoje* 24 (143), p. 26 (1998); R. B. Griffiths and R. Omnès, *Physics Today*, p. 26 (August, 1999), Holland, op. cit.; Auletta, op. cit.].

Os paradoxos que acabamos de examinar acima questionam o conceito físico básico da *Interpretação de Copenhague* (indeterminismo) da MQOS. Desde que esse indeterminismo foi proposto por Born, em 1926, conforme já referimos, ele vem sendo questionado. Com efeito, ainda em 1926 (*Comptes Rendues Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris*, 183, p. 24; 447) e, também, em 1927 (*Comptes Rendues Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences (Paris)* 184, p. 273; 185, p. 380), o físico francês, o Príncipe Louis Victor Pierre Raymond de Broglie (1892-1987; PNF, 1929) aventou a hipótese da existência de *variáveis ocultas* necessárias para evitar o indeterminismo quântico. Segundo de Broglie, a  $\Psi$  estaria associada a um *ensemble* de partículas idênticas com posições que se distribuem no espaço de acordo com  $|\Psi|^2$ . Ainda mais, a  $\Psi$ , além de determinar as probabilidades das posições possíveis, também influenciaria as posições exercendo uma força sobre as trajetórias. Portanto, a  $\Psi$  atuaria desta forma como um tipo de *onda-piloto* guiando as partículas para regiões do espaço em que a função de onda schrödingeriana é mais intensa (Mokross, op. cit.). Registre que, também em 1926 (*Zeitschrift für Physik* 40, p. 332), proposta semelhante foi apresentada pelo físico alemão Erwin Madelung (1881-1972). Basicamente, a ideia das *variáveis ocultas* baseia-se na analogia entre a Teoria Cinética dos Gases e a Termodinâmica. Segundo essa analogia, a energia cinética e o momento linear das moléculas de um gás estão diretamente relacionados com as variáveis macroscópicas [volume (V), pressão (P), temperatura (T), entropia (S) etc.] termodinâmicas. Desse modo, a existência daquelas *variáveis* proporcionaria uma relação entre as grandezas físicas calculadas pela MQOS e possíveis movimentos mais internos dos sistemas quânticos, de tal modo que médias das quantidades físicas decorrentes daqueles movimentos e calculadas através das *variáveis ocultas* reproduziriam os valores calculados quanticamente (Hoffman et Paty, op. cit.). Em vista disso, tais *variáveis* fariam retornar o determinismo causal em Física.

Essa questão do determinismo em Física, iniciada por de Broglie, em 1926 e 1927, segundo vimos acima, foi retomada a partir do trabalho de Bohm, realizado em 1952 (*Physical Review* 85, p. 166; 180). Nesse trabalho, Bohm apresenta uma nova interpretação para a ES para uma partícula sob a ação de um potencial (V) admitindo que, além desse potencial, a partícula estaria sob a ação de um *Potencial Quanto-Mecânico* (PQM), responsável por *possíveis movimentos mais internos dos sistemas quânticos* (vide verbete nesta serei); e, desta maneira, o determinismo causal seria então restaurado. Essa ideia do PQM foi desenvolvida por Bohm, assim como por outros físicos, e se constitui no que hoje se denomina *Interpretação Causal da Mecânica Quântica* ou *Mecânica Quântica de de Broglie-Bohm*. É oportuno observar que essa Mecânica consegue explicar P-EPR. [Peter R. Holland, *The Quantum Theory of Motion: An Account of the de Broglie-Bohm Causal Interpretation of Quantum Mechanics* (Cambridge University Press, 1993); Olival Freire Junior, *David Bohm e a Controvérsia dos Quanta* (Coleção CLE 27, UNICAMP, 1999); José Maria Filardo Bassalo, Paulo de Tarso Santos Alencar, Mauro Sérgio Dorsa Cattani e Antonio Boulhosa Nassar, *Tópicos de Mecânica Quântica de de Broglie-Bohm* (e-book: [www-sbi.if.usp.br/1655](http://www-sbi.if.usp.br/1655))].



ANTERIOR

SEGUINTE