

Roger Penrose e o limiar da ciência

Roger Penrose and the threshold of science

Nelson Job

Programa de História das Ciência,
das Técnicas
e Epistemologia, Universidade
Federal do Rio de Janeiro

nelsonjobvortex@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2092-3588

Luiz Pinguelli Rosa

COPPE/Universidade Federal do
Rio de Janeiro

lpr@adc.coppe.ufrj.br

ORCID: 0000.0002.4642.922x

RECEIVED 6/04/21

ACCEPTED 14/05/21

PUBLISHED 14/05/21

OPEN ACCESS

PEER-REVIEWED

Copyright: ©2020 Creative Commons
Attribution License CC BY 4.0, which permits
unrestricted use, distribution, and
reproduction in any medium

Abstract. In the year 2020, British physicist Roger Penrose was awarded the Nobel Prize. In this article, his main research will be presented, focusing on his model of quantum consciousness. We show the wide spectrum of his work, as well as his boldness in several aspects related to current research in physics.

Keywords. Roger Penrose. Nobel Prize. Quantum consciousness.

Resumo. No ano de 2020, o físico britânico Roger Penrose foi laureado pelo prêmio Nobel. Neste artigo serão apresentadas suas principais pesquisas, dando enfoque ao seu modelo de consciência quântica. Mostramos a grande espectro de sua obra, bem como sua ousadia em vários aspectos referentes às pesquisas atuais em física.

Palavras-chave. Roger Penrose. Prêmio Nobel. Consciência quântica.

1. Introdução

No dia 06 de outubro de 2020 foi anunciado o Prêmio Nobel da física, concedido ao físico britânico Roger Penrose, ao lado de Reinhard Genzel e Andrea Ghez, em função das descobertas acerca dos buracos negros. Penrose ficou com metade do prêmio. Neste artigo, vamos comentar sua obra em geral, dando destaque para sua contribuição mais polêmica para a ciência: o seu modelo de consciência quântica.

Sir Roger Penrose é professor emérito da Universidade de Oxford. Possui diversas contribuições para a ciência. Em 1954, aprimorou a escada de Penrose, objeto impossível criado pelo seu pai, Lionel Penrose, psiquiatra, geneticista e matemático. A escada de Penrose foi popularizada na arte de M. C. Escher. Já em 1967, Penrose desenvolveu a teoria dos Twistor, uma tentativa de teoria da unificação da mecânica quântica e da relatividade, que mais tarde foi acoplada à teoria das supercordas. Em 1974, criou os ladrilhos de Penrose, com padrões geométricos que nunca se repetem. Curiosamente, Penrose ganhou um processo judicial contra a empresa Kimberly-Clark, famosa pelos lenços Kleenex, por utilizar os ladrilhos em um papel-higiênico (Hayes, 2020). Em 2010, Penrose (2011) lançou nova teoria a conformal cyclic cosmology (CCC). Nela, há uma sequência de Big Bangs, em que o atual **universo traz** algumas características do seu antecessor. Além disso, ele faz uma crítica à noção de entropia aplicada a todo o universo. O Prêmio Nobel foi devido aos seus estudos com Stephen Hawking sobre um teorema sobre a singularidade de buracos negros. Penrose se destaca por ser também uma grande divulgador científico, tendo vários livros importantes nessa área, como *The Road to Reality* (PENROSE, 2005).

Vamos tratar, com maior abrangência, de alguns temas na obra de Penrose.

2. A entrevista de Penrose e o livro “O Fim da Ciência”

Há uma tipologia sugerida por John Horgan, em “O Fim da Ciência”, para o qual existem os cientistas irônicos. Ela foi inspirada no crítico literário Harold Bloom, que classificava os poetas. Os cientistas irônicos lembram os críticos literários, mais interessados em provocar comentários e polêmicas. Não chegam a resultados empiricamente verificáveis nem fazem os cientistas reverem sua descrição da realidade. Entretanto, questões que colocam em jogo a ciência como um todo, como a teoria da mente, são formuladas pela ciência irônica enquanto não se encontram saídas sustentáveis cientificamente. Horgan se inspirou em uma entrevista que fez com Penrose, como um conceituado físico especialista em relatividade geral, que passou a se interessar pela teoria da mente e propôs uma polêmica formulação quântica do problema da mente, a qual veremos.

Horgan faz um *mea culpa* como cientista que passou ao jornalismo científico, no “Scientific American”, e daí a autor de um “bestselling” de popularização da ciência. Alguns destes livros, que têm encontrado um mercado editorial surpreendente, se nutrem, em boa parte, do sensacionalismo ao buscarem mostrar um lado incrível da ciência, para aguçar o imaginário popular. Podemos acrescentar, como foi visto acima, que este objetivo é perseguido de dois modos opostos. Um deles é cortejar a ciência pelos seus feitos e pelo seu brilho, colocando-a em um Olimpo - povoado por seres excepcionais a serviço do saber, os cientistas - sob o olhar reverencial dos mortais que não são cientistas. Tais livros atingem um público com poder aquisitivo e com alguma cultura científica e técnica, a maioria de nível universitário. Este subconjunto da classe média, que se julga capaz de entender a linguagem da ciência, quando popularizada, sente-se confortável nestas leituras. O outro modo, oposto

ao primeiro, é atacar a ciência como algo pouco útil ou por mazelas encontradas em qualquer comunidade humana, embora os cientistas, como os religiosos, sejam mais suscetíveis a estes ataques por cultivarem uma ética ou moral pública. Aliás, segundo afirmam alguns construtivistas, a credibilidade é essencial para o exercício profissional da ciência, funcionando como se fosse sua mercadoria que o cientista procura vender. Discutiremos isto adiante.

Como em toda tipologia, há um forte grau de arbitrariedade nesta classificação, ainda que contenha alguma verdade sobre o que ocorre na realidade, embora para os neopragmatistas não possamos falar em verdade e para os construtivistas a realidade seja uma invenção. Este arbítrio se revela claramente quando tentamos enquadrar nestas categorias livros bem conhecidos de cientistas do primeiro time, como Poincaré, Einstein, Schroedinger, Heisenberg, que deram contribuições à filosofia da ciência em textos sobre a ciência, dirigidos a um público mais amplo que o dos seus pares.

Por outro lado, a origem de muitos conceitos científicos é não científica. A idéia newtoniana de atração gravitacional à distância tem algo de mágico e Keynes considerava Newton como o último dos assírios e babilônios. Galileu enfrentou a Inquisição e discutiu passagens bíblicas à luz da nova ciência. Vimos também que há divergências de base filosóficas na ciência.. Boltzmann lutou contra os positivistas. Einstein entrou em conflito aberto com o neopositivismo dominante na interpretação da mecânica quântica. Portanto a guerra na ciência não é propriamente uma novidade.

O livro de Horgan foi fruto de um seminário no qual se colocava em questão se a ciência como um empreendimento universal está esgotada. Um distinguido biólogo molecular, Gunther Stent, afirma que a ciência pode acabar não pelo ceticismo de seus críticos, mas pelo seu êxito, porque funciona tão bem que poderá esgotar os campos de estudo. Weinberg, Nobel de física citado em capítulo anterior, escreveu o livro “Sonhos de uma Teoria Final”.

3. A crítica de Penrose à entropia

Em livro publicado em 2005, polêmico e rico em informações sobre os problemas da física contemporânea, bem ao seu estilo - Roger Penrose (2005) discutiu alguns pontos que ele considera ainda mal entendidos sobre a entropia, incluindo a origem de bolsões com entropia negativa, da qual se nutrem os seres vivos. Há uma ideia simples de que houve um aumento da entropia por causa da expansão do universo a partir do Big Bang,. De fato, isto pode ser inspirado pela analogia com a expansão dos gases. Um exemplo clássico de processo irreversível, aumentando a entropia, é a livre expansão do vapor ao se abrir uma panela. Mas, a expansão do universo não é como abrir uma panela com vapor, pois na cosmologia é fundamental a gravitação, que domina a grandes distâncias e cujo papel na entropia não é tão simples. No caso da pedra que a pessoa levanta e depois cai no chão, a entropia aumenta quando um corpo é deixado cair pela atração da gravidade sobre a Terra,

até atingir sua superfície, e diminui quando se afasta desta superfície. É o oposto de um gás, cuja entropia aumenta quando as moléculas se afastam livremente. Embora a gravitação esteja presente atraindo as moléculas dos gases para a Terra, a energia potencial gravitacional pode ser aproximada como constante no processo de expansão. No exemplo da pedra há uma simplificação, pois, embora a energia potencial varie, a força gravitacional é tomada como constante, o que é uma aproximação válida próximo à superfície da Terra.

Há diferentes modelos cosmológicos no contexto da relatividade geral, teoria em que Penrose é especialista e na qual ganhou o Nobel. O campo gravitacional é essencial, ele é dominante no universo a longas distâncias e se liga à métrica do espaço-tempo. Certamente a evolução da entropia depende da evolução do universo, que está em expansão, mas pode reverter para um novo Big Bang, como pode continuar se expandindo. Coloca-se uma pergunta: como ocorreram as regiões de baixa entropia no universo? Penrose coloca a possibilidade lógica de o sistema ter vindo de estados com maior desordem. Se for assim, a entropia cresce também em direção ao passado. Ou seja, diminui vindo do passado ao presente. Se o sistema for fechado isto contraria a segunda lei. Uma possibilidade é haver flutuações em que a entropia se reduz e depois volta a subir, o que é uma velha questão colocada por Boltzmann. Em um sistema trivial, como dois reservatórios A e B conectados por um tubo com uma válvula fechada, estando (A) cheio de gás e o outro (B) vazio, a pergunta é: como o gás foi todo parar no pequeno? A solução pode ser imaginada como uma intervenção externa de uma pessoa que o bombeou usando seu esforço muscular, reduzindo a entropia do gás. Repete-se aqui o caso de que houve uma transferência de baixa entropia da luz solar para os alimentos, destes para a pessoa e dela para o gás. Mas já vimos que o balanço total, entre a luz que chega à Terra e o calor que ela emite para o espaço, dá um aumento de entropia. Até aqui tudo bem, pois passamos de um sistema particular (gás) para um sistema mais geral que o engloba, mas quando o sistema é o universo, finito ou infinito, nada há fora dele por definição.

Enfim, dado que há regiões de baixa entropia no universo, a pergunta é como ter um balanço tal que predomine o crescimento da entropia. Uma possibilidade de dar conta de um aumento da entropia do universo é a existência dos buracos negros, onde o fortíssimo campo gravitacional confina toda a matéria por ele atraída, colapsando-a. “No meu ponto de vista, a entropia tem o status de uma conveniência”, afirma Penrose polemicamente. Mas acrescenta que poderá ganhar “um status mais fundamental” em um contexto no qual “considerações quânticas-gravitacionais se tornem importantes, especialmente em relação à entropia dos buracos negros”.

4. Penrose e “O Que é Vida”

Schroedinger (1944) publicou em 1944 um livrinho fora de seu campo de estudo, “O Que É Vida?”, que teve enorme repercussão, deixando alguns biólogos muito zangados por invasão de domicílio intelectual, provocando polêmica até hoje, como mostram alguns trechos de

um outro livro, de 1995, alusivo aos seus 50 anos. Entre os diversos autores, estão Roger Penrose, Stuart Kaufman, Stephen Gould e outros não menos importantes.

Em “O Que É Vida?” original lemos: “Ao que parece existem dois mecanismos distintos segundo os quais eventos ordenados podem ser gerados: o mecanismo estatístico que produz a ‘ordem a partir da desordem’ e um novo mecanismo que produz a ‘ordem a partir da ordem’ não podemos esperar que as leis da física (...) sejam suficientes para explicar de imediato o comportamento da matéria viva (SCHOEDINGER, 1944). Schroedinger tratou, assim, de dois aspectos do fenômeno da vida que se tornaram emblemas: 1 - A “ordem a partir da ordem” - a transmissão pelos seres vivos da informação de geração em geração, isto é, o código genético. 2 - E a “ordem a partir da desordem” - ou seja, como os seres vivos, a despeito da segunda lei da termodinâmica, preservam sua estrutura altamente organizada e altamente improvável.

Com a descoberta da estrutura do DNA por Watson e Crick, permitindo achar a chave do código genético, Schroedinger foi sagrado como o profeta da “ordem a partir da ordem”, bem expressa na sua metáfora de associar ao organismo vivo o conceito de cristal aperiódico. Cristal é o símbolo da ordem na estrutura da matéria. Aperiódico parece uma contradição pois os cristais são caracterizados pela periodicidade espacialmente repetitiva. O DNA com a simetria geométrica da sua estrutura em dupla hélice foi a imagem da síntese proposta por Schroedinger. Não é por diferenças no tipo de processos químicos ou físicos que os seres humanos diferem de uma bactéria, mas sim porque possuem e transmitem um conteúdo de informação mil vezes maior no código genético.

5. A Mecânica Quântica e a Redução Gravitacional de Penrose

Penrose formulou uma interpretação polêmica da mecânica quântica e aplicou-a à teoria da mente. A convivência de diferentes formalismos sob uma teoria única não é nenhuma novidade; na mecânica há pelo menos três: o newtoniano, o lagrangeano e o hamiltoniano. Enquanto os formalismos quânticos logo se unificaram sob uma só teoria com dois formalismos, o de Schroedinger e o de Heisenberg, o mesmo não aconteceu com as interpretações da mecânica quântica, que formam uma longa lista com conflitos por vezes severos entre elas, embora nem todas incompatíveis entre si.

A – Interpretações Históricas (i) Semiclássicas – a de Schroedinger e a da onda piloto de De Broglie retomada por Bohm; (ii) Probabilista (hegemônica) - proposta por Born, adotada pela Escola de Copenhague e que tem duas variantes: a redução no aparelho de medida (Bohr) ou na mente (Von Neumann); (iii) Ensemble ou estatística coletiva - sugerida por Einstein, retomada por Popper, que depois passou à interpretação de propensões; (iv) Variáveis escondidas - inspirada nas críticas de Einstein, descartada equivocadamente por Von Neumann e corretamente, apenas nos anos 1960, por Bell; (v) Lógica quântica – há duas: uma de Reichenbach e outra de Von Neumann e Birkhoff;

B - Interpretações Posteriores (vi) Mundos paralelos - ou do estado relativo de Everett; (vii) Estocástica- reduz a mecânica quântica à física clássica via eletrodinâmica estocástica; (viii) Outras, como a pragmática, ou para todos os propósitos práticos de Bell, a de Ghirardi, Rimini e Weber (GWR), a modal, a da redução objetiva de Penrose e a existencial de Zurek.

Este debate histórico permanece atualíssimo como mostra, por exemplo, o debate entre os físicos Hawking e Penrose sobre a mecânica quântica e a relação entre a mente e o mundo físico. Penrose é um opositor do neopositivismo e defensor do realismo na teoria quântica. A propósito da interpretação da mecânica quântica, houve um debate dele com seu colega não menos importante Hawking, que assumiu uma posição neopositivista. Não é esta a posição de Penrose, que considera insatisfatória a situação na fronteira entre a mecânica quântica e a física clássica, exigindo uma nova teoria.

Para Penrose há um processo físico que causa a redução ou colapso da função de onda: a interação da gravidade com o sistema quântico. Embora a força gravitacional entre partículas sub-atômicas seja tão pequena que pode ser negligenciada, ela afeta todo o espaço-tempo, segundo a relatividade geral. Penrose defende a necessidade de uma profunda mudança na teoria quântica, postulando uma relação entre o colapso da função de onda e a relatividade geral, a que chama de redução objetiva da função de onda por interação gravitacional.

Este ponto está longe do consenso na física e devemos vê-lo com precaução e espírito crítico. Sua conjectura de que esta redução seja efeito de um colapso gravitacional parece incorreta à luz da teoria da descoerência. Penrose desconsiderou este conflito nos seus dois primeiros livros citados sem dar uma explicação satisfatória, mas o discute em livro posterior, fruto de um debate com Hawking e no seu livro “The Road to Reality” de 2005, mas não a resolve. No seu último livro para um público amplo “Fashion, Faith and Fantasy” de 2016 Penrose não desenvolve esse problema. Entretanto volta a ele em longa entrevista em março de 2020 (PENROSE, 2020). O que é a redução da função de onda por colapso gravitacional de que fala Penrose? Os estados quânticos superpostos podem ter energias gravitacionais diferentes entre si, o que significa diferentes métricas do espaço-tempo, segundo a relatividade geral. Mas a métrica do espaço-tempo macroscopicamente tem de se reduzir a uma única, obrigando os estados superpostos a se colapsarem em um deles. Penrose associa uma incerteza à energia gravitacional dos estados superpostos, de tal modo que - usando a quarta relação de Heisenberg entre incerteza da energia e incerteza do tempo (as outras três são entre as três componentes do momentum e as três coordenadas cartesianas) - o tempo para ocorrer o colapso é inversamente proporcional a ela. Para corpos pequenos, como as partículas elementares constituintes da matéria a energia gravitacional é mínima e o tempo para o colapso imenso, possibilitando a existência de estados superpostos até que se faça uma medida, interagindo com um sistema macroscópico. Já para corpos macroscópicos, este tempo é mínimo. Assim, em um experimento do tipo gato de Schroedinger o acoplamento entre função de onda de um processo microscópico com a do “gato” macroscópico leva a um colapso imediato.

Como um teste para sua hipótese de colapso gravitacional na redução da função de onda,

Penrose propõe um experimento modificando o aparato experimental do interferômetro de Max-Zehnder. Lembremos que a interferência quântica entre os estados superpostos da partícula, nos trajetos entre os espelhos e deles aos dois detectores, faz com que apenas um detector receba a partícula, jamais o outro detector. A ideia é deixar livre um dos espelhos de modo que sofra um recuo com o impacto da partícula. Este recuo é desprezível, mas usando fóton no experimento e colocando os detectores e espelhos a grandes distâncias entre si, pode-se ter o recuo suficiente para localizar o espelho em uma ou outra posição durante o voo do fóton, de modo a ocorrer uma redução dos estados induzida pela gravidade, segundo a teoria de Penrose. Isto faria com que o fóton fosse localizado em um trajeto ou no outro, destruindo a interferência que privilegia sempre um dos detectores. Ou seja, com a repetição do experimento os dois detectores passariam a receber o fóton com 50% de probabilidade para cada um, mudando o resultado do experimento com o interferômetro de Max-Zehnder. Se isso ocorrer, a teoria de que a redução dos estados quânticos superpostos se dá por colapso gravitacional passaria no teste, como em um experimento crucial de Francis Bacon. Problema: o experimento permanece irrealizável. Em artigo publicado na *Physical Review Letters* em 2003, Penrose, seu estudante Marshall e colaboradores propõem uma solução experimental ainda não testada.

6. Da Mecânica Quântica à Teoria da Mente

Como explicar cientificamente a mente? Este problema é relevante, não só com respeito à filosofia da ciência, mas especialmente na atualíssima polêmica sobre a teoria da mente, na qual Penrose conjecturou ser a redução do pacote de ondas orquestrada no cérebro a chave para uma explicação física da consciência, um problema ainda em aberto na ciência do Século XXI. Na filosofia da física, em posição diametralmente oposta à “explicação fisicalista de eventos mentais” está Shimony (1989), para quem isso não é crível “por razões que são ingênuas mas fortes”, citando Whitehead e sua teoria da bifurcação da natureza. Esta publicação de Shimony, de 1989, é anterior ao livro de Penrose (1994) “*Shadow of the Mind*”, do qual ele fez, depois, uma resenha em que volta a Whitehead, mas assumindo uma posição diferente da citada acima, menos cética (SHIMONY, 1997). Admitiu que o problema da mente possa ser tratado cientificamente e que a mecânica quântica seja relevante para isso. Entretanto se declarou cético sobre a proposta de Penrose, de buscar uma explicação gravitacional para a redução do pacote de ondas. Apesar disso, Shimony considera esta redução um problema ainda não resolvido pela teoria da descoerência, sendo, portanto, a busca de uma solução, como propõe Penrose, válida.

Um ponto polêmico é a ideia de que, para a explicação física da mente, seja essencial o caráter não algorítmico da elaboração da matemática pela mente humana. Penrose valorizou extremamente a demonstração de Gödel (1931) de que nenhuma teoria matemática pode ser, ao mesmo tempo, completa e consistente (NAGEL, 1958). Por pura analogia nos faz lembrar a impossibilidade quântica de termos, ao mesmo tempo, o momentum e a posição

de uma partícula, o que levou Einstein a concluir que a mecânica quântica é uma teoria incompleta. O teorema de Gödel diz que não podemos reduzir a matemática a um algoritmo, como propunha Hilbert, ou seja, a um conjunto de axiomas que permitam seu desenvolvimento seguindo regras de dedução lógica. Daí decorre, segundo Penrose, que o funcionamento do cérebro humano - que dá lugar à mente humana e, por via desta, à elaboração mental da matemática - não é simulável em um computador. Se não simula sequer a capacidade matemática humana, menos ainda o pensamento consciente em geral. Para Penrose isto é essencial para proibir que as máquinas computacionais adquiram a inteligência humana- tal como a segunda lei da termodinâmica proíbe que as máquinas térmicas ultrapassem os limites de eficiência impostos pelo crescimento da entropia na natureza.

Revivemos, no Sec XXI, Francis Bacon, que, no Séc. XVI, imaginou na sua Nova Atlântida o futuro da ciência e da tecnologia por ela viabilizada na era moderna. Penrose trata da tecnologia da pós-modernidade. Talvez tenhamos aqui um exemplo da relação entre conhecimento científico e interesse, de que falou Habermas, embora nem Habermas nem Shimony tenham dado atenção a este lado ingênuo e generoso da ciência. Encontramos aí a chave do humanismo revelado no “The Emperor’s New Mind”, que levou, dialeticamente, ao cientificismo de “Shadowsofthe Mind”. Eis um ponto de encontro da tecnociência com as humanidades.

“Um alpinista que tentou escalar a montanha errada”, assim Shimony (1997) se refere a Penrose, a propósito da sua conjectura, de que o caráter não algorítmico da matemática seja essencial para que a mente não possa ser reproduzida em uma máquina. Esta conjectura foi criticada pelo filósofo Hillary Putnam (1994) com o argumento de que é possível um computador simular o cérebro, mas ainda assim isto não significaria ser possível ele adquirir consciência de si. Esta é a posição de John Searle (1997), que tem estudado a filosofia da mente e é autor da ideia do quarto chinês. Uma pessoa que aprenda a usar um dicionário, bem como as regras de sintaxe, pode traduzir um texto em chinês para outra língua sem entender o significado das palavras. Pode fazer uma tradução sem saber o sentido do que traduz. Tal é o caso de um computador.

O contra-argumento é que, se fosse possível simular o cérebro completamente, a transferência de todas as faculdades mentais para uma máquina, em última instância, dependeria do avanço da engenharia de computação. Seria uma questão de tempo, como advoga a maioria dos especialistas em inteligência artificial. Searle e, com ele, Putnam concordam com os especialistas quanto a se poder simular, mas discordam de que isto possa, um dia, dar a uma máquina consciência de si. Penrose discorda de Searle e de Putnam, dizendo que, se for possível simular, pode-se um dia chegar a dar consciência a um computador, concordando neste ponto com os especialistas, mas discordando de que seja possível fazer a simulação. Mesmo com a chamada computação “bottom-up” - como as redes neuronais e os algoritmos genéticos, que permitem o aprendizado pelo “software” - usa, em última análise, um programa baseado no conceito de máquina de Turing ideal. Logo,

diz Penrose, está governada por um algoritmo programável, portanto é incapaz de simular as funções não algorítmicas do cérebro.

A ousadia de Penrose o levou a imaginar como pode ser produzida a consciência no cérebro, segundo ele, em nível sub-neuronal, no citoesqueleto dos neurônios. Comprou uma briga com os neurobiologistas, convencidos de que os neurônios são a base do funcionamento cerebral. E admite que a consciência se dá por um processo quântico que chamou de redução objetiva orquestrada, causada, em última análise, por colapso gravitacional – o que exige uma mudança da teoria quântica. Aí comprou briga maior com os físicos convictos de que a redução quântica foi resolvida pela descoerência, a que Penrose não se referiu nos seus dois livros sobre a teoria da mente.

De certo modo Penrose propôs o inverso de Von Neumann, para o qual a mente explicava a redução do pacote de ondas. Para Penrose a redução orquestrada no cérebro explica a mente.

7. Conclusão

Roger Penrose é um dos físicos mais prolíficos e originais dos dias de hoje. A importância de sua obra vai muito além daquela que motivou o Prêmio Nobel e ainda há muito o que ser desdobrado acerca de seu trabalho. Esperemos que com este artigo tenhamos contribuído para uma maior compreensão dessa obra.

Referências Bibliográficas

FABER, J., PORTUGAL, R. e PINGUELLI ROSA, L. Information processing in brain microtubules, **BioSystem**, 83, 2006.

GÖDEL, K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. **Monatshefte für Mathematik und Physik**, 38, 1931.

HAWKING, S.; PENROSE, R. **The Nature of Space and Time**. Princeton: Princeton University Press, N. Jersey, 1996.

HAYES, B. **Sir Roger Penrose's Toilet Paper**. Disponível em: <http://bit-player.org/2017/sir-roger-penroses-toilet-paper>

Acesso: 15 de out. 2020.

HORGAN, J. **The End of Science**. New York: Broadway Books, 1997.

MARSHALL, W.; SIMON, C.; PENROSE, R. and BOUWMEESTER, D. Towards Quantum Superposition of a Mirror, **Phys. Rev. Letters** 91, 2003.

NAGEL, E. and Newman, J. **Gödel's Proof**. HOFSTADTER, D., Revised Edition, New York: N. York Univ. Press, 1958.

PENROSE, R. **The Emperor's New Mind**. Oxford: Oxford Univ. Press, 1989.

PENROSE, R. **Shadows of the mind – a search for the missing science of consciousness**. 1 ed. Oxford: Oxford University Press, 1994.

PENROSE, R. **O grande o pequeno e a mente humana**. 1 ed. São Paulo: Editora Unesp, 1997a.

PENROSE, R. “Por que a nova física é necessária para compreender a mente?” in: MURPHY, Michael P. e O’NEILL, L., A. J. (Org.). **“O que é vida?” 50 anos depois – especulações sobre o futuro da biologia**. São Paulo: UNESP, pp. 137-152, 1997b.

PENROSE, R. **The Road to Reality – A Complete Guide to the Laws of the Universe**. 1 ed. New York: Knopf, 2005.

PENROSE, R. **Cycles of Time – An Extraordinary New View of the Universe**. Londres: Random House Group, 2010.

PENROSE, R. **Fashion, Faith and Fantasy in the New Physics of the Universe**. Princeton: Princeton University Press, 2016.

PENROSE, R. **Roger Penrose: Physics of Consciousness and the Infinite Universe | Lex Fridman Podcast #85**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=orMtwOz6Db0>

Acesso: 3 de dez. 2020.

PENROSE, R.; HAMEROFF, S. Orchestrated reduction of quantum coherence in brain microtubules: a model of consciousness. 1 ed. in: Hameroff, Kaszniak e Scott (org.) **Toward a science of consciousness – the first Tucson discussions and Debates**. Massachusetts: Massachusetts Bradford Book – The MIT Press, 1996a.

PENROSE, R.; HAMEROFF, S. 1996b, Conscious Events as Orchestrated Space-Time Selections in: www.quantumconsciousness.org/publications.html. Acesso: 3 de dez. 2020.

PENROSE, R.; HAMEROFF, S. "Consciousness in the Universe: Neuroscience, Quantum Space-Time Geometry and Orch OR Theory" in: **Consciousness and the Universe**. Penrose e Hameroff (org), Cambridge: Journal of Cosmology, 2011.

PUTNAM, H. artigo em **The New York Times Book Review**, 20 Nov, 1994.

PINGUELLI ROSA; L. e FABER, J. Quantum Models of the Mind: Are they compatible with environment decoherence? **Physical Review E** 70, 2004.

SCHROEDINGER, E. **What is Life**. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1944.

SEARLE, J. trad. **O Mistério da Consciência**. São. Paulo: Paz e Terra, 1997.

SHIMONY, A. Search for a world wich can accommodate our knowledge of microphysics, em CUSHING, James e MCMULLIN, Ernan, **Philosophical Consequences of Quantum Theory, Reflections on Bell's theorem**. Indiana: Univ. ofNotreDame, 1989.

SHIMONY, A. trad. Sobre Mentalidade, Mecânica Quântica e a Atualização de Potencialidades, em PENROSE, R., **O Grande e o Pequeno e a Mente Humana**. São Paulo: UNESP e Cambridge Univ. Press, 1997.