

História das teorias de formação do sistema solar: progressos, continuidades e rupturas

Danilo Nogueira Albergaria Pereira[†]

Resumen

A história das teorias de formação do sistema solar pode ser encarada como um estudo de caso sobre o progresso da ciência. Em versões simplificadas, essa história é marcada por um progresso linear: a hipótese nebular de Laplace teria passado por refinamentos e sofisticções até resultar nas atuais teorias de formação planetária via acreção de planetesimais em um disco protoplanetário. Mostro que essa é uma representação inadequada do desenvolvimento histórico da área, marcado por idas e vindas teóricas. Ao mesmo tempo, defendo que houve um sensível progresso nesse campo teórico, ainda que de maneira não-cumulativa.

1. Introdução

O desenvolvimento histórico das teorias de formação do sistema solar nos últimos quatro séculos é marcado por rupturas e descontinuidades, ao contrário das versões simplificadas dessa história geralmente encontradas em publicações de divulgação científica, programas televisivos de popularização da ciência e, até mesmo, obras de síntese sobre o nosso sistema planetário. É muito comum que, nesses materiais, uma linha ininterrupta seja traçada desde Laplace até os atuais modelos de acreção de planetesimais em discos protoplanetários ao redor de estrelas jovens, testados em sofisticadas simulações de computador. Esse progresso linear e cumulativo transmitido pela divulgação e acalentado na tradição positivista não condiz com o registro histórico desse campo específico e nem de toda a história da ciência, que sugere caminhos tortuosos, idas e vindas e becos sem saída. Ainda assim, argumento que é possível identificar no campo das cosmogonias ou *planetogonias*¹ uma forma de progresso – um tanto limitada e talvez ambígua, é verdade, mas não desprezível.

2. Uma breve história das teorias de formação do sistema solar

René Descartes foi o primeiro pensador de que se tem notícia a ter formulado uma explicação naturalística, dentro da cosmologia copernicana, para a origem do sistema solar². Relegando o papel divino apenas a um impulso inicial de movimento à matéria, a cosmogonia cartesiana concebia cada estrela como o centro de um vórtice (o Sol sendo uma delas) e os planetas e luas como objetos que inicialmente foram centros de outros vórtices destruídos, tornados parte do vórtice solar. Apesar da influência de Descartes, cosmogonias naturalísticas não foram abundantes no século XVII. O estabelecimento da mecânica newtoniana como paradigma da física no século

[†] Doutorando em Filosofia da Ciência - IFCH/Unicamp. Para contatar o autor, por favor, escrever para: daniloberga@gmail.com.

¹ Neologismo que significa: teorias de origem dos planetas ou sistemas planetários.

² A cosmogonia cartesiana pode ser encontrada detalhadamente em O Mundo.

XVIII e a consequente derrocada da física cartesiana e seus vórtices celestes geraram um vazio teórico sobre a origem do sistema solar que demoraria pelo menos meio século para ser preenchido. O próprio Newton se mostrou avesso à tentativa de elaborar uma explicação naturalista para a origem do sistema solar, algo tão aparentemente ordenado, com impressionantes regularidades.

Qualquer teoria sobre a origem do sistema deveria explicar as regularidades conhecidas na época de Newton: 1. a coplanaridade e 2. a baixíssima excentricidade das órbitas dos planetas, que 3. giram em torno do Sol no mesmo sentido do movimento de rotação da estrela; 4. com a exceção de Vênus (posteriormente, Urano), os planetas também giram em torno do próprio eixo nesse mesmo sentido; e 5. todos os satélites conhecidos até então também têm a mesma direção orbital da rotação dos planetas (satélites de Urano, posteriormente descobertos, não).

Tentativas de explicações naturalistas para a origem do sistema solar começaram a surgir dentro do framework da mecânica newtoniana (ainda que sem um tratamento quantitativo) apenas em meados do século XVIII. Em 1755, Kant publicou uma sistematização qualitativa da hipótese segundo a qual o sistema solar seria o resultado da contração de uma nuvem de gás primordial. Porém, apenas no final desse século e no começo do seguinte foi desenvolvida a primeira teorização quantitativa sobre a origem do sistema solar baseada na física newtoniana: a *hipótese nebular*³, de Laplace.

Simplificadamente, o processo descrito por essa teoria é o seguinte: uma nuvem de gás primordial se contrai por meio de interações gravitacionais; pela lei de conservação do momento angular, a nuvem entra em rotação, assumindo a forma de um disco. Ao girar, o disco deixaria desprender, progressivamente, de fora para dentro da nebulosa, anéis de matéria que, condensando-se, formariam os planetas, com o Sol no centro. Trata-se de uma teoria que propõe um único processo de formação da estrela e dos planetas, em conjunto. Em outras palavras, *os planetas seriam subproduto da formação estelar*.

Isso tem consequências importantes para um campo que vai além dos muros da ciência: as especulações sobre a pluralidade dos mundos e a vida extraterrestre. Se planetas são consequências da formação estelar, os sistemas planetários devem ser um lugar-comum da natureza. A hipótese nebular foi um dos pilares do cenário de incontáveis sistemas solares que permeou as especulações dos amantes da astronomia por todo o século XIX, continuando a tradição que remonta a Voltaire, Fontenelle e Giordano Bruno.

Até o final do século XX, ou seja, antes da era de detecção de planetas extrassolares e do estudo de discos protoplanetários, qualquer formulação sobre a abundância ou raridade de sistemas planetários dependia das teorias de formação do sistema solar: se a teoria recorresse a um mesmo processo natural como origem do Sol e dos planetas (ou seja, em que os planetas são subproduto da formação estelar), então o cenário sugeriria a existência de incontáveis sistemas planetários; se, por outro lado, a formação dos planetas fosse vista como algo à parte, estranho ou posterior à formação do Sol, então o cenário sugeriria raridade dos sistemas planetários, ou mesmo a ideia de que o sistema solar é o único no universo. Numa categorização muito utilizada, são *monistas* as

³ Laplace não a batizou. O nome é graças a Herschel e suas observações de nebulosas espirais, interpretadas então como sistemas planetários em formação.

teorias que recorrem a um único processo natural e *dualistas* as que necessitam de algum evento extraordinário para a formação dos planetas.

O impacto e o sucesso da teoria monista de Laplace podem ser medidos por sua predominância durante todo o século XIX, coincidindo com a crescente profissionalização e institucionalização da ciência, além do galopante avanço técnico dos instrumentos de observação. Porém, nesse mesmo período de crescimento na capacidade de observação e coleta de dados empíricos, foram surgindo e se acumulando *anomalias*. O vocabulário kuhiano não é por acaso. É possível entender a hipótese nebular como um *paradigma* evolucionista⁴, orientando uma visão de mundo baseada na *evolução cósmica*, que concebe a humanidade inserida numa linha ininterrupta de progresso da natureza, com direção clara: de uma nuvem de gás primordial à civilização europeia (Brush, 1996a).

O mais grave dos problemas de adequação empírica da hipótese nebular era o da distribuição do momento angular no sistema solar: o Sol tem aproximadamente 99,8% da massa total do sistema, mas apenas 0,5% do momento angular reside na estrela (a maior parte está concentrada nos gigantes gasosos). Se o sistema realmente tivesse surgido de uma nuvem de gás em colapso, a lei de conservação do momento angular prevê que o Sol deveria apresentar uma velocidade de rotação muito maior do que a observada. O conhecimento de física e astronomia do período dificultava uma explicação plausível para a discrepância entre uma explicação monista e a distribuição do momento angular no sistema.

Ao contrário do que ocorreu no século XIX, na primeira metade do século XX o campo das teorias de formação do sistema solar foi marcado por dramáticos processos de mudança teórica. O domínio da hipótese nebular chegou ao fim na virada do século. Já abalada por um montante considerável de dados empíricos incompatíveis com a teoria – especialmente sua incapacidade de explicar a baixa velocidade de rotação do Sol, que se supunha devesse conservar a maior parte do momento angular e, por isso, girar mais rápido que o resto do sistema – a aceitação da hipótese nebular foi destruída pela pesquisa conjunta de dois cientistas estadunidenses, o geólogo Thomas Chamberlin e o astrônomo Forest Moulton (Chamberlin & Moulton, 1900). Além de derrubarem a centenária teoria de Laplace, Chamberlin e Moulton publicaram uma nova teoria em 1905: a *hipótese planetesimal*. Segundo os estadunidenses, os planetas seriam o resultado de um processo de acreção de matéria por meio de colisões entre pequenos corpos condensados e relativamente frios, *planetesimais* originados por uma quase colisão entre o Sol e outra estrela. A violenta interação gravitacional desse encontro estelar teria arrancado material solar que, resfriando-se e colidindo lentamente em órbitas originalmente excêntricas ao redor do Sol, teriam dado origem ao nosso sistema planetário (Chamberlin & Moulton, 1909).

Dez anos depois emergiu um modelo quantitativo e dedutivo que coincidia com o de Chamberlin e Moulton quanto à ideia de um encontro estelar como acontecimento gerador do sistema planetário ao redor do Sol. De forma independente, dois cientistas britânicos, o físico

⁴ As teorias de formação do sistema solar experimentaram uma queda de relevância de fins do século XIX em diante quanto à capacidade de orientação de toda uma cosmologia, de toda uma visão de mundo. Durante o século XX essas teorias perderam esse papel.

James Jeans e o geólogo Harold Jeffreys, propuseram uma teoria de encontro estelar um pouco diferente quanto ao processo de formação planetária, mas as diferenças não são significativas para os propósitos desse artigo. Fundamentalmente, ambas as teorias são *dualistas*, ou seja, propõem que a origem da estrela e dos planetas ocorreu por meio de processos distintos e não relacionados.

Uma das consequências mais importantes dessas teorias é a de que o sistema solar deve ser raríssimo ou mesmo único no universo (Brush, 1996c, p. 9). Essa conclusão vem da improbabilidade de um encontro ou colisão estelar – algo que foi ficando cada vez mais claro segundo os cálculos do próprio Jeans a partir da década de 20 (Dick, 1998, p. 76). Ou seja, se a formação de planetas depende de algo que tem chance remota de acontecer, então nosso sistema planetário é, provavelmente, raríssimo ou mesmo o único no universo.

As teorias do encontro estelar tornaram-se dominantes e foram aceitas pelo *establishment* científico até meados da década de 1930. Jeans se tornou um divulgador de destaque. Além de levar ao público geral sua teoria de encontro estelar, os livros de divulgação do físico sublinhavam a conclusão de que provavelmente habitamos o único sistema planetário que existe (Jeans, 1930). Naturalmente, houve um impacto profundo nas especulações sobre a possibilidade de vida extraterrestre: como aponta Stephen J. Dick, um dos mais importantes historiadores do tema, no período de aceitação das teorias dualistas ocorreu um arrefecimento do entusiasmo pela imagem de um universo com uma miríade de sistemas planetários potencialmente habitados (Dick, 1998, p. 78). A visão de mundo pluralista dos séculos XVIII e XIX havia saído de moda, pelo menos entre os cientistas.

Esse cenário não durou muito. Na década de 1920, a disputa teórica sobre a natureza das nebulosas espirais foi decidida a favor da ideia de que eram outras galáxias, aumentando sobremaneira o número de estrelas no universo. Isso é importante por dois motivos. Em primeiro lugar, Chamberlin e Moulton interpretavam as nebulosas espirais como representativas de estágios iniciais de discos de acreção de planetesimais, assim como boa parte da comunidade científica – quando o consenso se formou em torno da ideia de que eram outras galáxias, a teoria planetesimal dos norte-americanos sofreu um abalo significativo. Em segundo lugar, a conclusão de que as nebulosas espirais eram galáxias aumentou a probabilidade de que outros sistemas planetários pudessem existir caso fossem originados em encontros estelares. Porém, se essas teorias dualistas estivessem corretas, o número de sistemas planetários continuaria bastante baixo no universo, especialmente em comparação com a consequência lógica da eventual aceitação de um processo de formação que pudesse se reproduzir com frequência a partir da formação das estrelas, o que resultaria numa grande probabilidade de que os sistemas planetários são tão comuns quanto as próprias estrelas.

A partir de 1935, pesquisas de Henry Norris Russell e Lyman Spitzer abalaram significativamente a aceitação das teorias do encontro estelar, apontando, principalmente, para a impossibilidade de que material ejetado do Sol para tão longe tivesse adquirido a maior parte do momento angular do sistema e condensado para formar os planetas. A matéria a alta temperatura teria se dissipado antes de se condensar – isso atingia em cheio, principalmente, a teoria de Jeans.

A segunda metade do século XX testemunhou uma proliferação de hipóteses, com um *revival* de teorias de formação planetária a partir de uma nebulosa primordial. Essas teorias contêm diferenças significativas em relação à hipótese nebular e incorporam inovações teóricas, como a

astrofísica de evolução estelar e uma de suas consequências, a de que estrelas jovens possuem campo magnético que transfere momento angular para o disco protoplanetário antes de chegar à sequência principal, sendo uma das possíveis soluções para o problema da distribuição do momento angular nas teorias monistas. Além disso, algumas das novas teorias monistas incorporaram uma concepção muito distante da teoria de Laplace, a acreção de planetesimais – formação de planetas a partir de colisões de objetos relativamente frios num disco protoplanetário de gás e poeira. É o próprio conceito original de Chamberlin, ressuscitado. No final da década de 1960, Viktor Safronov incorporou a acreção de planetesimais a seu influente *modelo de nebulosa de baixa massa*, posteriormente mais conhecido como *solar nebula theory*, ou SNT. Embora alternativas teóricas dualistas ainda tenham sido propostas, no final do século XX o campo das planetogonias pendeu para a aceitação da teoria de Safronov (Encrenaz *et al*, 2004, p. 82). Atualmente, a SNT orienta grande parte das questões trabalhadas pelos astrofísicos e as próprias simulações em computador.

3. A natureza do progresso no campo das planetogonias

A ideia de que o progresso científico se dá por meio da acumulação de conhecimento tem uma longa história que nasce nas formulações otimistas da Ilustração, perpassa o século XIX especialmente influenciado pelo positivismo comtiano, avança século XX adentro, e apesar de consistentemente criticada e desconstruída a partir da década de 1960, continua arraigada em muitas das representações mais simpáticas à ciência. Entretanto, a história da ciência – se fizer justiça às limitações, falhas, erros, becos sem saída, mudanças bruscas de direção e revoluções que caracterizam a variação de seu objeto no tempo – desautoriza qualquer visão cumulativa e linear do progresso científico. Em meados do século XX, o pensamento de Popper, com sua analogia do desenvolvimento da ciência com a seleção natural darwinista, tornou-se uma visão influente sobre o progresso científico que se distanciava criticamente do cumulativismo.

Pensadores como Kuhn e Feyerabend, que gravitavam o pensamento popperiano no começo da segunda metade do século XX, acabaram trilhando um caminho crítico à ciência e produziram obras de impacto duradouro na filosofia da ciência, pulando para fora dela e fecundando outras áreas, como a história e a sociologia da ciência. A imensa influência de Kuhn, em especial, acabou desencadeando na década de 1970 o surgimento de uma sociologia da ciência que passou a representar a natureza como praticamente irrelevante no processo de construção do conhecimento científico, reduzindo-o a relações sociais. Nas versões mais extremas dessa sociologia da ciência epistemologicamente relativista (por exemplo, o Programa Forte de Edimburgo), a natureza não tem papel relevante na resolução de disputas teóricas, que ocorre por meio de negociações, pelo exercício do poder e pelas disputas políticas. O progresso científico – entendido como aprofundamento do conhecimento da natureza – torna-se, portanto, uma ilusão. Veremos que o episódio examinado neste artigo abre um caminho para mostrar as inadequações dessa visão cética quanto ao progresso científico, ao mesmo tempo em que serve para ilustrar a inviabilidade do cumulacionismo.

Em sua obra seminal sobre a história das teorias de formação do sistema solar, Stephen G. Brush afirmava que as teorias da origem do sistema solar ainda não haviam respondido, no final

dos anos 1980, a uma questão fundamental: “o sistema solar forma-se naturalmente por si mesmo a partir de matéria primordial ou requer a assistência de uma estrela pré-existente ou outra entidade?” (Brush, 1996c). Essa indefinição ainda perduraria na era da detecção de planetas extrassolares, de observação de discos protoplanetários e de possíveis zonas de acreção de planetesimais?

Talvez a resposta para a questão fundamental de Brush ainda não tenha chegado de forma inequívoca, mas há bons motivos para pensar que o caminho tomado atualmente é o mais promissor.

Dado o volume de planetas extrassolares já conhecidos e a pequena fatia da galáxia que foi vasculhada; dado o conhecimento empírico já de décadas sobre discos protoplanetários; dadas as novíssimas imagens de zonas de acreção; dado que o aumento do poder dos telescópios provavelmente vai revelar em maiores detalhes uma maior quantidade desses objetos (essa, aliás, é uma das justificativas para o dispêndio de uma quantidade significativa de recursos nesses projetos); dado tudo isso, a melhor explicação para que o campo das planetogonias tenha convergido para teorias em que os planetas são vistos como subproduto da formação estelar é a de que os cientistas racionalmente escolheram *perseguir, entreter, testar, trabalhar com* teorias do tipo e deixar de lado (ao menos temporariamente) teorias que apontam para a existência apenas de nosso sistema planetário, ou para a raridade dos sistemas planetários, ou ainda para a ideia de que sistemas planetários apenas se formam tendo havido algum evento fora do comum, raro, difícil de se reproduzir, etc. Não se trata apenas de avaliar a aceitação ou a crença em teorias do tipo, no meio científico. Larry Laudan tem razão em apontar que há uma gradação entre a aceitação e a rejeição, a crença e a descrença, bem como chama a atenção para outras instâncias da relação entre cientistas e teorias, como a busca por entreter e testar uma ou mais hipóteses sem que se apresente ao cientista a necessidade de acreditar em ou aceitar como verdadeira uma teoria (Laudan, 2010).

As teorias de formação do sistema solar tornaram-se muito mais complexas e sofisticadas no decorrer da segunda metade do século XX. Os dados empíricos coletados com o avanço da tecnologia inviabilizaram propostas como as teorias dualistas que desembocam na conclusão de existência de planetas somente ao redor do Sol (e, provavelmente, mesmo a raridade de sistemas planetários). As teorias de formação de sistemas planetários do século XXI devem responder a um *background knowledge* composto por uma rede de teorias físicas razoavelmente bem amarrada, que incluem a física atômica e a astrofísica, que por sua vez se coadunam com outras teorias acerca da estrutura física do universo. As teorias atuais também devem respeitar dados empíricos (como os oriundos da análise espectroscópica da composição do Sol, dos planetas, de outras estrelas, de discos protoplanetários, de nebulosas de formação estelar), observações muito detalhadas (feitas por sondas espaciais, telescópios espaciais, etc.). Ou seja, as teorizações atuais devem se coadunar com um conjunto de conhecimento científico muito mais sofisticado e com capacidade de observação e teste empírico que penetram muito mais profundamente na natureza do que o que havia no final do XIX e começo do XX.

Por exemplo, as descobertas recentes de milhares de planetas e sistemas planetários extrassolares fornecem uma restrição empírica significativa a qualquer teorização e *sugerem* que *os planetas devem ser subproduto da formação estelar*. De outra forma, como explicar seu elevado número tendo sido examinada apenas uma fatia minúscula da Via Láctea ainda nos estágios iniciais de desenvolvimento de tecnologia capaz de detecção de planetas extrassolares?

Não devemos concluir pela inexistência do progresso científico simplesmente porque não podemos ter certeza de que caminhamos em direção à resposta (ou teoria) certa. Mas é possível concluir que respostas erradas ou infrutíferas foram sensatamente rejeitadas (ou, pelo menos, colocadas de lado em favor de hipóteses mais profícuas). Podemos conceber a coisa toda em termos modestos: não é descabido considerar que o rumo que o campo das planetogonias tem tomado é certamente mais promissor do que o cenário encontrado até o final do século XX pois as teorias têm como referência as descobertas de planetas e sistemas extrassolares e o estudo detalhado de discos protoplanetários e zonas de acreção observáveis (Cieza *et al.*, 2016).

Não quer dizer que esses avanços teóricos e a torrente de dados empíricos coloque necessariamente os atuais teóricos da formação do sistema solar em condição definitivamente melhor do que os de antes da era espacial pois, por exemplo, uma complicação pode nascer de eventuais novas descobertas que coloquem problemas empíricos que antes não existiam para as teorias monistas. Por exemplo, a existência de “Júpiteres quentes” e “Super-Terras” são relativamente novas peças que complicam a montagem do quebra-cabeças. Mas além de fornecerem novos problemas ou anomalias a serem explicados, essas descobertas geram restrições empíricas específicas: qualquer que seja a explicação para a diversidade dos sistemas planetários, está além de qualquer dúvida razoável que existe um número e uma variedade grande de sistemas planetários. Qualquer teoria deverá se adaptar a esse cenário.

O complemento que deve ser feito à pergunta “houve progresso na área?”, e que permite encontrarmos uma resposta que faça sentido, é: “em relação a que?”. Se for algo de caráter mais universal ou generalizante, por exemplo, “em relação ao conhecimento da realidade”, “à busca pela verdade” ou “ao aumento do grau de verissimilitude”, então não é fácil sustentar que houve progresso – trata-se de um problema epistemológico espinhoso. É preciso frisar: ainda que que bússola da ciência parece ter apontado como norte a rejeição da ideia de que o sistema solar é o único sistema planetário do universo, e ao mesmo tempo em que nosso conhecimento do sistema solar aumentou num ritmo acelerado desde o lançamento das sondas e telescópios espaciais, não parece ter havido nem de longe o mesmo progresso em direção a uma teoria que explique satisfatoriamente a formação do sistema solar de maneira que dê conta de abarcar todos os detalhes atualmente conhecidos acerca dos planetas, luas, asteroides e cometas de nosso sistema planetário, apesar de uma história que percorre quase três séculos. A situação é ainda mais precária se o intuito for o de atingir uma teoria geral da formação de sistemas planetários. Em suma, trata-se de um campo ainda em estágio inicial de desenvolvimento.

Entretanto, se o complemento à pergunta sobre se houve progresso na área das planetogonias for “em relação à origem dos planetas: se são originados em processos naturais que devem ter sido produzidos inúmeras vezes através da(s) galáxia(s) ou não, se são subprodutos da formação estelar ou se são tributários de processos raros, catastróficos ou extraordinários”, então por via da inferência da melhor explicação é possível sustentar com alguma confiança que sim, houve progressos significativos na direção de um distanciamento da visão de mundo em que o sistema solar é o único sistema planetário, em que os sistemas planetários são raros, em que a formação planetária é algo que se reproduz muito raramente em nossa galáxia.

Essa inferência se justifica pela quantidade de dados empíricos que suportam um dos lados da contenda e desencorajam o outro – dados coletados ao longo das últimas sete décadas de exploração espacial e aprimoramento tecnológico de aparatos de observação astronômica – bem como pela forma com que esses dados empíricos se coadunam entre si e são produzidos em consonância com a rede de teorias que constituem o *background knowledge* atual: o conhecimento sobre as reações termonucleares, sobre a estrutura e a evolução das estrelas, sobre a interação entre diferentes elementos químicos em condições diversas, etc. Como afirma Susan Haack, “uma malha bem entrelaçada de razões bem ancorada na experiência pode ser uma indicação muito forte da verdade de uma alegação ou teoria” (Haack, 2003, p. 53). A ancoragem empírica somada à malha bem entrelaçada das teorias que formam a astrofísica atual constituem bons motivos para concluir que houve progresso significativo em direção à imagem de um universo marcado por um número pelo menos tão grande de planetas quanto de estrelas e em que, por mais variações que haja no processo de formação de sistemas planetários, é bastante provável que não sejam originados por processos naturais extraordinários, nem dependem de acontecimentos fortuitos como condição necessária para sua existência.

Por isso, é possível hoje inverter o sentido de uma passagem famosa de James Jeans, parafraseando-o com o cuidado epistemológico de não confundir o conhecimento da natureza com a natureza em si: *nosso conhecimento da natureza começa a sussurrar que os sistemas planetários são um lugar comum; não devem precisar de condições fora do comum para que surjam.*

E quanto à relevância das teorias de formação de sistemas planetários na busca de respostas para a velha questão do lugar da vida no universo? As especulações sobre a pluralidade dos mundos dependiam do que as teorias poderiam indicar ou levar a concluir. Elas perderam relevância quanto a isso, graças à torrente de dados empíricos a favor da abundância de sistemas planetários. Ainda assim, quando nos perguntamos sobre se o sistema solar é *típico* ou não, as teorias de formação planetária continuam fundamentais, mas até agora, elas não nos garantiram qualquer progresso significativo em direção a uma resposta satisfatória.

Bibliografia

Brush, S. G. *A History of Modern Planetary Physics. Volume 1: Nebulous Earth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996a.

Brush, S. G. *A History of Modern Planetary Physics. Volume 2: Transmuted Past*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996b.

Brush, S. G. *A History of Modern Planetary Physics. Volume 3: Fruitful Encounters*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996c.

Chamberlin, T. C. & Moulton, F. R. Certain Recent Attempts to Test the Nebular Hypothesis. *Science* **12** (293): 201-208, 1900.

Chamberlin, T. C. & Moulton, F. R. The Development of the Planetesimal Hypothesis. *Science* **30** (775): 642-645, 1909.

Cieza *et al.* Imaging the water snow-line during a protostellar outburst. *Nature* **535**: 258–261, 2016.

Descartes, R. *O Mundo, ou Tratado da Luz*. Campinas: Edunicamp, 2009.

Dick, S. J. *Life on Other Worlds: the 20th Century Scientific Debate*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

Encrenaz, T. *et al. The Solar System*. New York: Springer, 2004.

Haack, S. *Defending Science—within Reason: Between Scientism and Cynicism*. Edição do Kindle. New York: Prometheus Books, 2003.

Jeans, J. *The Mysterious Universe*. London: Pelican Books, 1930.

Kant, I. *Universal Natural History and Theory of the Heavens* [1755]. Edição do Kindle. Arlington: Richer Resources Publications, 2009.

Laplace, P. S. *Exposition du Système du Monde*. Paris: Courcier, 1808.

Laudan, L. *O Progresso e seus Problemas*. São Paulo: Edunesp, 2010.