

---

# METODOLOGIA E POLÍTICA EM CIÊNCIA: O DESTINO DA PROPOSTA DE HUYGENS DE 1673 PARA ADOÇÃO DO PÊNDULO DE SEGUNDOS COMO UM PADRÃO INTERNACIONAL DE COMPRIMENTO E ALGUMAS SUGESTÕES EDUCACIONAIS \*<sup>†</sup>

---

*Michael Matthews*  
School of Education  
University of New South Wales  
Sídney – Austrália

## **Resumo**

*Este artigo trata do destino da proposta de Christiaan Huygens de 1673 para o uso do comprimento de um pêndulo de segundos (na verdade um metro) como um padrão universal, natural e objetivo de comprimento. Caso tal padrão tivesse sido adotado, isto teria sido de um valor científico, comercial e cultural inestimável. O motivo pelo qual ele não foi adotado em fins do séc. XVII e foi, mais uma vez, rejeitado em fins do séc. XVIII (1795) quando a assembléia revolucionária na França adotou o sistema métrico, com o metro sendo definido como a décima milionésima parte da distância entre o equador e o pólo norte, levanta questões interessantes acerca de metodologia e política da ciência. Uma vez que o movimento pendular é um componente regular de todos os cursos de ciências em todas as partes do mundo, e considerando-se que a maioria das reformas no ensino de ciências, inclusive os Padrões Nacionais de Ensino de Ciências nos Estados Unidos e as recentes reformas nos estados australianos, exigem que algo do “grande quadro” da ciência seja transmitido aos alunos (a relação da ciência com a cultura, o comércio, a história e a filosofia), sugere-se que estas metas educacionais podem ser promovidas através do ensino sobre o destino da proposta de Huygens.*

---

\* Methodology and Politics in Science: The Fate of Huygens' 1673 Proposal of the Seconds Pendulum as an International Standard of Length and Some Educational Suggestions - Conferência proferida no VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis, março de 2000.

<sup>†</sup> Traduzido por **Claudia Mesquita**.

Nas duas últimas décadas, os currículos de ciências em várias partes do mundo têm defendido um programa de ciências liberal ou contextual de acordo com o qual o aluno deve aprender um pouco sobre as dimensões ética, social, histórica e filosófica da ciência, além de adquirir conhecimento científico e habilidades de processo (Matthews, 1994, cap. 3; McComas & Olsen, 1998). Tais currículos exigem que o aluno aprenda tanto *sobre* a ciência como o *conteúdo* da ciência. Às vezes, isto é formulado como aprender sobre “a natureza da ciência” (McComas, Clough & Almazroa, 1998) e, em outras, é expresso como desenvolver um domínio mais profundo, mais bem informado e mais “crítico” do código científico (Bybee *et al.*, 1992, cap. 2).

Os *Padrões Nacionais de Ensino de Ciências* nos Estados Unidos (NRC, 1996), por exemplo, estabelecem que o aluno deve aprender como:

- a ciência contribui para a cultura (NCR, 1996, p. 21);
- tecnologia e ciência são intimamente relacionadas: um único problema possui tanto aspectos científicos como tecnológicos (NRC, 1996, p. 24);
- o currículo vai freqüentemente integrar tópicos de diferentes áreas temáticas... e matérias escolares – tais como ciência e matemática, ciência e linguagem, ou ciência e história (NRC, 1996, p. 23);
- dominar o código científico também inclui compreender a natureza da ciência, do empreendimento científico e o papel da ciência na sociedade e na vida do indivíduo (NRC, 1996, p. 21);
- o progresso da ciência e da tecnologia pode ser afetado por questões e desafios sociais (NRC, 1996, p. 199).

Formulações semelhantes podem ser encontradas nas recomendações curriculares canadenses, japonesas, britânicas e australianas, sobretudo as do estado de New South Wales.

Infelizmente, os programas de formação de professores deixaram esses desenvolvimentos curriculares de lado. A maioria dos programas não prepara adequadamente os professores para lidarem com as dimensões culturais mais amplas dos novos currículos. A recomendação conjunta BSCS-SSEC reconheceu esta situação quando, após desenvolver sua estrutura curricular para uma abordagem mais histórica e filosófica no ensino de ciências naturais e sociais, afirmou que a primeira barreira à implementação de tal currículo era o fato de que “a formação de professores é inadequada” (Bybee *et al.* 1992, p. xiii).

Não há dúvida de que é preciso fornecerem-se aos professores estudos de casos acessíveis que possam ser utilizados em sala de aula para ilustrar as dimensões cultural, histórica e filosófica da ciência. O destino da proposta de Huygens de 1673 para a adoção de um pêndulo de segundos como um padrão universal de comprimento é um desses estudos.<sup>1</sup>

## I. Christiaan Huygens

Nascido em Haia em 1629, Christiaan Huygens (1629-1695) foi uma das mentes proeminentes do séc. XVII. Aos treze anos ele já tinha construído o seu próprio torno mecânico; aos dezessete, havia descoberto por si mesmo as leis propostas por Galileu da queda no tempo quadrático e da trajetória parabólica de um projétil;<sup>ii</sup> aos vinte, já havia terminado e publicado um estudo de hidrostática; aos vinte e três anos, formulou as leis da colisão elástica; aos vinte e cinco havia se tornado um renomado lapidador de lentes óticas; aos vinte e seis, usando um de seus próprios telescópios, havia descoberto o anel de Saturno. Quando tinha cerca de trinta e cinco anos, muitos o consideravam o maior matemático da Europa – o que não é uma afirmação modesta, considerando-se que figuravam como seus contemporâneos nomes como Pascal, Mersenne, Fermat, Descartes, Leibniz e Newton. Em 1663, foi feito membro da recém fundada Royal Society da Inglaterra (1662). Em 1666, aos trinta e sete anos, foi convidado por Luís XIV para ser o presidente fundador da *Académie Royal des Sciences*, convite que aceitou e posição que ocupou até 1681, mesmo durante a guerra entre a França e a Holanda.<sup>iii</sup>

Huygens forneceu contribuições fundamentais para a matemática (teoria das evolutas e da probabilidade), para a mecânica (teoria do impacto), para a ótica (tanto de forma prática, com as lentes polidas que ele próprio desenvolveu, como teoricamente com sua teoria ondulatória da luz), para a astronomia (a descoberta dos anéis de Saturno e a determinação do período de Marte), e para a filosofia (sua elaboração da visão de mundo mecânica e suas propostas de uma forma de metodologia hipotético-dedutiva em ciência). Em 1695, Huygens morreu no mesmo local onde nasceu.<sup>iv</sup> A propósito de sua morte, escreveu Leibniz: “A perda do ilustre Monsieur Huygens é inestimável; poucos conheceram-no tão bem quanto eu; em minha opinião, sua reputação equiparava-se à de Galileu e à de Descartes, as favorecia mesmo, pois Huygens superou as descobertas que eles fizeram; em suma, ele foi um dos principais ornamentos de nosso tempo” (Yoder, 1991, p. 1).

Huygens refinou a teoria pendular de Galileu.<sup>v</sup> Seu primeiro livro sobre o assunto foi o *Horologium* (1658)<sup>vi</sup> e seu segundo e maior trabalho foi o *Horologium Oscillatorium* (1673), “o relógio pendular”. Ele reconheceu o problema apontado por Descartes – “o pêndulo simples não fornece naturalmente uma medida de tempo precisa e homogênea, uma vez que se observa que seus movimentos mais amplos são mais lentos do que os movimentos mais curtos” (Huygens [1673] 1986, p 11). Huygens alterou dois componentes centrais da teoria de Galileu: as alegações de que o período variava com o comprimento e de que o círculo era a curva tautócrona (a curva na qual os corpos em queda livre sob a influência da gravidade alcançam o seu nadir ao mesmo tempo, independentemente do ponto de onde eles tenham sido lançados). Ao contrário, Huygens demonstrou matematicamente que o período variava com a raiz quadrada (“subduplicata”, nos termos de Huygens) do comprimento e que a cicloide era a curva tautócrona.<sup>vii</sup>

Huygens acreditava tanto no segundo resultado que ele o descreveu em 1666 em uma carta para Ismaël Boulliau como “o principal fruto que alguém poderia ter desejado da ciência do movimento acelerado, de que Galileu tinha tido a honra de ser o primeiro a tratar” (Blay, 1988, p. 19).<sup>viii</sup> Huygens percebeu que um movimento tão isocrônico poderia ser o parâmetro regulador para um relógio novo e preciso, o relógio de pêndulo, que ele se pôs a construir e com o qual esperava ganhar os vários prêmios de longitude oferecidos pelos governantes e monarcas.<sup>ix</sup>

## II. O pêndulo de segundos como um padrão universal de comprimento

Durante o processo de elaboração de sua teoria do movimento pendular e do projeto de mecanismo de relógio Huygens argumentava que o pêndulo de segundos poderia fornecer um novo padrão internacional de comprimento. Não há dúvida de que isto teria sido uma contribuição importante no sentido de simplificar o estado caótico das medidas existentes na ciência e na vida quotidiana. Na França, como em outros países, a unidade de comprimento variava de cidade para cidade. Não se trata de um problema insignificante para as trocas, o comércio, a construção e a tecnologia. Para não mencionar a ciência. Foram feitas muitas tentativas para simplificar e unificar o caótico sistema francês. O imperador Carlos Magno em 789 aparece entre os primeiros a publicar éditos urgindo um sistema uniforme de pesos e medidas na França. Henrique II reiterou estes apelos, publicando um decreto em 1557 afirmando que:

*Os pesos e as medidas devem ser reduzidos a formas claramente definidas e devem exibir a designação de pesos e medidas reais. Uma vez que em todos os ducados, marquesados, condados, viscondados, baronias, castelânicas, cidades e terras que observam as leis de nosso reino os pesos e as medidas têm nomes e dimensões diversas, por conseguinte muitos deles não correspondem a suas designações; e, na verdade, freqüentemente coexistem dois pesos e duas medidas de diferentes tamanhos, sendo o menor usado na venda e o outro na compra, por isso, surgem muitos acordos desonestos ... Todos deverão ajustar suas medidas de acordo com as nossas. (Kula, 1986, pp. 168-169)*

Isto teve o mesmo efeito que a advertência do rei Canute à enchente da maré. Um viajante na França em 1789 ficou irritado com um país “onde a perplexidade infinita das medidas está além de qualquer lógica. Elas diferem não apenas em cada província, mas em cada distrito e praticamente em cada vila” (Alder, 1995, p. 43). Havia 700 ou 800 unidades ou medidas diferentes, com diferentes vilas ou localidades tendo suas próprias versões da medida ou unidade. Como Heilbron comenta, “Em Paris um quartilho media pouco menos de um litro; em Saint-Denis, um litro e meio; em Seine-en-Montagne, dois litros; e em Précý-sous-Thil, três litros e um terço” (Heilbron,

1989, p. 989). Uma estimativa é de que só na França havia 250.000 diferentes medidas de comprimento, peso e volume locais (Alder, 1995, p. 43).

Nos estados alemães a situação não era nada melhor. Embora a “milha alemã comum” fosse largamente usada e correspondesse convencionalmente a 1/15 de um grau no equador, em Viena ela era subdividida em 23.524 “work shoes”<sup>NT</sup>, ao passo que em Innsbruch era subdividida em 32.000 “work shoes”. Outras cidades tinham suas divisões peculiares. Alguns estados italianos usavam a “milha italiana” que era 1/60 de um grau equatorial e continha 5.881 work shoes de Viena. A multiplicidade de medidas facilitava a fraude generalizada, ou simplesmente a prática do cambalacho: os negociantes geralmente compravam de acordo com medidas “longas” e vendiam de acordo com “curtas”.

A situação inglesa era pelo menos mais uniforme, ainda que menos “natural”. Em 1305 Eduardo I tinha estabelecido a jarda padrão como o comprimento do Cúbito de Ferro mantido no Palácio Real, e 1/36 desta jarda seria uma polegada. Fora do Palácio, nos locais que não tinham acesso a uma cópia do Cúbito Real, havia sido imposto que “três grãos de cevada, seca ou integral, perfaziam uma polegada; doze polegadas, um pé; três pés, uma ulna; e 5 ½ ulnas, uma vara”. Uma jarda padrão um pouco mais curta foi decretada por Henrique VII em 1497, e uma outra ainda um pouco menor, por Elizabeth I em 1588.

Estes padrões ingleses eram arbitrários e artificiais; a jarda não era uma unidade natural. Quando foi criada, a Royal Society deveria investigar a reforma dos padrões de comprimento, e Christopher Wren propôs, como o fez Huygens, o comprimento de um pêndulo que marca os segundos não apenas como um padrão de comprimento inglês, mas também internacional.<sup>x</sup> Tanto Huygens como Wren pressupunham que um pêndulo de segundos indicaria os segundos em qualquer local do mundo para onde fosse levado. Os problemas técnicos referiam-se a, em primeiro lugar, como fazer um pêndulo marcar os segundos e, depois, como medir seu comprimento efetivo.

Huygens afirma, nas páginas iniciais de seu *Horologium*, após fornecer o comprimento de seu pêndulo de segundos:

*Quando digo “três pés”, não me refiro ao termo “pés” como ele é usado em vários países da Europa, mas, ao contrário, no sentido daquela medida exata e eterna de um pé, medida a partir do comprimento mesmo deste pêndulo. Daqui em diante, chamá-lo-ei de um “pé horário”, e a medição de todos os outros pés deverá tê-lo como referência, se desejamos tratar as questões que se seguem com exatidão. (Huygens, [1673] 1986, p. 17)*

---

<sup>NT</sup> Work shoes era o termo empregado para os sapatos usados pelos homens do povo. Foi escolhido aleatoriamente um desses homens que teve seus sapatos medidos; esta medida tornou-se a medida local de comprimento.

Este tópico é retomado adiante no livro quando ele discute o centro de oscilação dos corpos; lá, ele comenta:

*Um outro resultado, que creio seja útil a muitos, é que por meio disso posso oferecer uma definição mais precisa de comprimento que é exata e permanecerá para sempre. (Huygens, [1673] 1986, p. 106)*

Ao elaborar este “resultado útil”, ele afirma:

*Uma medida exata e permanente de magnitudes, que não está sujeita a mudanças acidentais e não pode ser revogada, corrompida, ou corroída pela passagem do tempo é algo bastante útil que muitos vêm buscando há muito tempo. Se ela tivesse sido descoberta na antigüidade, não estaríamos tão perplexos agora pelas disputas acerca da medição dos antigos pé romano e hebreu. Entretanto, tal medida é facilmente estabelecida por meio de nosso relógio, sem o qual, ou isto não poderia ser feito, ou só poderia ser feito com enorme dificuldade. (Huygens, [1673] 1986, p. 167)*

Em suma, Huygens afirma que, primeiro, um relógio de segundos é construído e testado tendo como parâmetro a rotação das estrelas fixas (como é descrito nas pp. 23-25 de seu livro de 1673), depois, um pêndulo deve ser posto em movimento com uma amplitude pequena e que seu comprimento deve ser ajustado até que ele oscile no mesmo ritmo do relógio de segundos, e então deve-se:

*medir a distância entre o ponto de suspensão e o centro do pêndulo simples. No caso em que cada oscilação não coincida com um segundo, deve-se dividir esta distância em três partes. Cada uma destas partes é o comprimento de um pé de hora ... Fazendo tudo isso, o pé de hora pode ser estabelecido não apenas em todas as nações, mas também pode ser restabelecido para todas as épocas vindouras. Além disso, todas as outras medições de um pé podem ser expressas de uma vez por todas através de sua proporção em relação ao pé de hora, e assim podem, para sempre, ser conhecidas com bastante certeza. (Huygens, [1673] 1986, p. 168)*

De modo que, sua unidade básica de comprimento deveria ser três pés horológicos (0,9935m, 391/s polegadas inglesas), menos de um milímetro mais curto do que o metro original adotado um século mais tarde. O astrônomo Picard concordava com esta recomendação, dizendo que um “pé universal” deveria ser um terço do comprimento do pêndulo de segundos.

### III. Uma descoberta extraordinária: a viagem de Jean Richer de 1672-1673 a Cayenne

Huygens pensou que seu padrão de comprimento universal, o pêndulo de segundos, dependia apenas da força da gravidade, que ele tomou como constante em todo lugar do mundo; assim, o padrão de comprimento não mudaria com a mudança de lugar. O padrão deveria poder ser transportado através do espaço e do tempo. Ele reconhecia mesmo que a força centrífuga exercida pela terra em rotação (a força que tende a empurrar os corpos para fora da superfície terrestre) variava do equador (a maior) ao pólo (a menor), mas ele não achava que seu efeito sobre o pêndulo poderia ser medido.<sup>xi</sup> Nisto ele estava errado.

Tão logo o observatório da *Académie Royal des Sciences* foi estabelecido por Jean-Dominique Cassini em 1669, a *Académie*, de acordo com seu secretário “começou a considerar o envio de observadores para diferentes partes do mundo, sob o patrocínio de nosso mais munificente rei, a fim de que observem as longitudes das localidades para o aperfeiçoamento da geografia e da navegação” (Olmsted, 1942, p. 120). A *Académie* instituiu a tradição moderna de viagens científicas de descobrimento, e a viagem de Jean Richer a Cayenne em 1672-1673 foi a segunda viagem com este caráter puramente científico já empreendida –<sup>xii</sup> a primeira tendo sido a viagem de Jean Picard a Uraniborg na Dinamarca em 1671. Cayenne ficava na Guiana Francesa, a uma latitude de aproximadamente 5° N. Ela foi escolhida como local apropriado para observações astronômicas porque as observações no nível do equador eram minimamente afetadas pela refração da luz passando através da atmosfera terrestre – o observador, o sol e os planetas estavam todos na mesma elipse.

O propósito primário da viagem de Richer era apurar o valor da paralaxe solar e corrigir as tabelas de refração usadas por navegadores e astrônomos. Uma preocupação secundária consistia em checar a confiabilidade dos relógios de pêndulo marítimos que estavam sendo levados com a finalidade de estabelecer a longitude exata de Cayenne.

A viagem foi espetacularmente bem sucedida em seus objetivos primários: a obliquidade da elipse foi determinada, a medição do tempo dos solstícios e equinócios foi refinada e, sobretudo, foi apurado um novo e bem mais preciso valor para a paralaxe do sol – 9,5” do arco. Porém, foram as conseqüências inesperadas da viagem de Richer que destruíram a visão de Huygens do pêndulo de segundos como um padrão universal de comprimento “para todas as nações” e “todas as épocas”.

Richer descobriu que um pêndulo ajustado para oscilar marcando os segundos em Paris tinha que ser encurtado para oscilar marcando os segundos em Cayenne. Não muito – 2,8 mm (0,28%) –, mas ainda assim, encurtado. Embora muitos tenham duvidado, com razão, de sua habilidade experimental,<sup>xiii</sup> Richer descobriu que um pêndulo de segundos ajustado em Paris perdia 2 ½ minutos diariamente em Cayenne. Richer foi adamantino quanto ao fato de que os relógios de Huygens atrasavam e que precisavam ser encurtados. Isto era equivalente a dizer que a força da

gravidade e, conseqüentemente, o peso dos corpos diminuía de Paris ao equador – uma conclusão de causar espanto.<sup>xiv</sup>

A demonstração de Richer levantou o problema de uma possível medida independente de tempo. Ele não tinha um outro mecanismo para medir o tempo (como um relógio digital, por exemplo) para usar como parâmetro e medir o adiantamento ou o atraso de seu relógio de pêndulo. O único relógio independente que ele tinha era o relógio dos céus. Provavelmente ele mediu o número de oscilações do pêndulo comparando-o ao número de segundos num dia solar (iniciando e finalizando ao meio dia) ou num dia sideral, ou em períodos menores. Este já foi um exercício técnico suficientemente difícil, complicado ainda mais pelo fato de que a duração de um dia solar na verdade varia em mais ou menos 15 minutos no período de um ano. Entretanto, a variação anual, a Equação do Tempo, era conhecida e os problemas técnicos de se medir a trajetória do sol já haviam sido superados.

#### IV. Algumas questões metodológicas

A alegação de Richer de que o relógio de pêndulo atrasa em regiões equatoriais ilustra bastante bem algumas questões metodológicas centrais para a ciência e para submeterem-se teorias à prova. A lógica de acomodação da teoria à prova constitui a *metodologia* da ciência. É útil a distinção entre *metodologia* e *método* da ciência que envolve como se conduzem experimentos, reúnem-se dados, buscam-se informações e selecionam-se as ferramentas, instrumentos e meios de análise apropriados para conduzir uma investigação. Metodologia envolve o que se faz com os dados e como estes são relacionados a hipóteses e teorias: Quantos cisnes brancos alguém precisa ver para concluir que “todos os cisnes são brancos”? Como uma evidência contingente pode sustentar a verdade das hipóteses científicas que são universais nos limites de seu alcance? E assim por diante. Estas questões metodológicas têm sido, desde Aristóteles, o tópico central da filosofia da ciência.

O próprio Huygens produziu o que talvez tenha sido a primeira descrição da abordagem hipotético-dedutiva da metodologia da ciência. No Prefácio de seu *Treatise on Light* (Huygens, [1690] 1945), ele escreveu:

*Nesta matéria, encontra-se um tipo de demonstração que não traz um grau de certeza tão elevado quanto aquele que ocorre em geometria e que difere marcadamente do método empregado pelos geômetras, no sentido de que eles comprovam suas proposições por meio de princípios bastante estabelecidos e incontrovertidos, enquanto aqui os princípios são testados pelas inferências deduzidas a partir deles. A natureza da matéria não permite outro tratamento. Porém, deste modo é possível estabelecer uma probabilidade com um grau de certeza quase máximo. Este é o caso quando as conseqüências dos princípios pressupostos estão*



*perfeitamente de acordo com os fenômenos observados, e especialmente quando tais verificações são numerosas; mas, sobretudo, quando se emprega a hipótese para predizer novos fenômenos e tem-se esta expectativa concretizada.*

A ortodoxia arraigada desde pelo menos o séc. II AC era de que a terra era esférica (teoria T). Pressupondo-se que apenas a gravidade afeta o período de um pêndulo de comprimento constante, a implicação para a observação era de que o período do pêndulo de segundos de Huygens em Paris e em Cayenne seria o mesmo (O). Assim:

$$T \rightarrow O$$

Mas Richer aparentemente descobriu que o período em Cayenne era mais longo ( $\sim O$ ). Portanto, em visões refutatórias simples dos testes de teorias:

$$\begin{array}{l} T \rightarrow O \\ \sim O \\ \therefore \sim T \end{array}$$

Mas testar teorias nunca é tão simples. Muitos que sustentavam T apenas negaram a segunda premissa,  $\sim O$ . O astrônomo Jean Picard, por exemplo, não aceitou as descobertas de Richer. Ao invés de aceitar a mensagem de gravitação variável, ele duvidou do emissor da mensagem. Da mesma forma, Huygens não era favoravelmente impressionado por Richer. Em 1670, numa viagem de teste de longitude para as Índias Ocidentais e Canadá, Richer havia comportado-se irresponsavelmente com relação aos relógios de Huygens – ele não os colocou imediatamente em funcionamento após terem parado devido a uma tempestade e, por último, permitiu que caíssem no convés. (Mahoney, 1980, p. 253). Huygens não precisou de muito para convencer-se de que era habilidade que faltava a Richer em Cayenne, e não gravidade.

Outros achavam que as teorias por si mesmas não contradiziam as evidências: havia sempre uma suposição do tipo “todas as outras coisas permanecendo como estão” em testes de teorias; havia orações *ceteris paribus* (C) atreladas à teoria nos experimentos. Deste modo:

$$\begin{array}{l} T \div C \rightarrow O \\ \sim O \\ \therefore \sim T \text{ ou } \sim C \end{array}$$

Estas pessoas continuaram a acreditar em T, e diziam que a suposição de que as outras coisas eram as mesmas estava errada – a umidade havia interferido nas oscilações, o calor havia dilatado o pêndulo, a fricção havia aumentado nos trópicos, e

assim por diante. Essas, em princípio, eram preocupações legítimas. Mas, uma a uma, tais explicações foram eliminadas. Além disso, outros, incluindo Sir Edmund Halley, confirmaram a descoberta de Richer de que o pêndulo tornava-se lento em regiões equatoriais.<sup>xv</sup> Conseqüentemente, ~ O foi estabelecido como fato científico, e os que sustentavam T, a hipótese de que a terra era esférica, tiveram que se ajustar a tal fato. Isto não foi fácil.

Newton, por exemplo, reconheceu a veracidade das alegações de Richer ao escrever em seu *Waste Book* de 1682, que:

*O senhor Richer enviado por vosso rei da França para fazer observações na ilha de Cayenne (5° Lat. N.), tendo ajustado seu relógio exatamente em Paris antes de partir para aquele lugar, descobriu lá em Cayenne que ele se movia com tal lentidão que a cada dia atrasava-se dois minutos e meio por vários dias seguidos e, após seu relógio ter parado e recomeçado sua movimentação ainda atrasava-se 2 ½ minutos como antes. Por isso o Sr. Halley conclui que vosso pêndulo deveria ser encurtado numa proporção de – para – para que vosso relógio marcasse o tempo correto em Cayenne. Em Gorea, vossa observação foi menos exata. (Cook, 1998, p. 116)*

Em seu *Principia* (Livro III, Prop. XX, Prob. IV), Newton utilizou a observação de Richer, e as observações semelhantes de Halley em Santa Helena, para desenvolver sua abordagem da forma oblata da terra.

Em 1738, Voltaire, um defensor da ciência newtoniana, escreveu a respeito do episódio com Richer, chamando atenção para os problemas de adaptação que os cientistas experimentaram:

*Finalmente, em 1672, o Sr. Richer, em uma viagem a Cayenne, próxima à Linha, empreendida por ordem de Luís XIV sob a proteção de Colbert, o Pai de todas as Artes; Richer, afirmo, dentre tantas observações, descobriu que o pêndulo de seu relógio não mais vibrava tão freqüentemente quanto o fazia na latitude de Paris, e que era absolutamente necessário encurtá-lo em uma linha, isto é, um duodécimo de nossa polegada, e cerca de mais um quarto. A Filosofia Natural e a Geometria não eram naquele momento, nem de longe tão cultivadas como no presente. Quem teria acreditado que a partir desta observação, tão trivial na aparência, de que da diferença do duodécimo de polegada, ou mais ou menos isso, poderia ter brotado a maior das verdades físicas? Descobriu-se, primeiramente, que a Gravidade deve ser menor abaixo do equador*

*do que na latitude da França, uma vez que a Gravidade é a única responsável pela vibração de um pêndulo.*

*Como decorrência disto, descobriu-se que, considerando que a gravidade dos corpos é muito menos potente à medida que estes corpos são afastados do centro da terra, a região do equador deve com toda certeza ser muito mais elevada do que a da França e, portanto, deve estar mais afastada do centro; portanto, a terra não poderia ser uma esfera. Muitos filósofos na ocasião dessas descobertas fizeram o que o homem geralmente faz: naqueles pontos a respeito dos quais precisavam alterar sua opinião, eles se opuseram à recém descoberta verdade. (Fauvel & Gray, 1987, p 420)*

## **V. Do pêndulo de segundos ao metro original: algumas questões políticas**

As descobertas de Richer, em uma era de precisão, eliminou mesmo o pêndulo de segundos como um padrão universal invariante de comprimento, verificável para todas as nações. Mas, uma vez especificado um local, ou uma latitude, então o comprimento do pêndulo de segundos seria invariante, e ainda poderia ser um padrão universal. Além disso, tal padrão seria natural, não arbitrário. Certamente, seria uma questão de orgulho nacional o local que tivesse sido escolhido: Paris, Londres, Madri, Berlim ou Roma, por exemplo. La Condamine e outros, numa expedição ao Peru em 1735, determinaram que o comprimento do pêndulo de segundos equatorial deveria ser 439,15 linhas. Em 1739, o comprimento de um pêndulo de segundos em Paris foi estabelecido em 440,5597 linhas. Em 1745, La Condamine propôs na Academia de Ciências, talvez como uma forma de elevação acima das rivalidades nacionalistas na Europa, que houvesse uma medida universal e invariável baseada no comprimento do pêndulo de segundos no equador (todas as principais potências européias tinham colônias equatoriais onde elas poderiam fazer suas próprias medições).

Os revolucionários franceses de 1789 não só propuseram acabar com o sistema feudal disfarçado do *ancien régime*, mas também com a cacofonia de medidas que o povo via como um elemento que o roubava em cada transação e que requeria um conhecimento elitista para avaliar e manipular. O povo queria um sistema simples, racional, democrático e universal. Um sistema onde, como diria Sir John Riggs Miller, o defensor da reforma das medidas inglês, “o intelecto mais medíocre equipare-se ao mais sagaz” (Heilbron, 1989, p 990). E exatamente mil anos depois que Carlos Magno urgiu por medidas francesas unificadas, os anti-monarquistas da Revolução Francesa resolveram fazer algo efetivo acerca da questão.

Uma das primeiras decisões dos Estados Gerais foi orientar a *Académie* no sentido de instituir uma Comissão de Pesos e Medidas para recomendar a reforma das medidas francesas. Esta Comissão foi devidamente instituída e incluía Lavoisier, Coulombe, Delambre, Lagrange e Laplace. Talleyrand, o Bispo de Autun, não estava

tão preocupado com a inclinação nacionalista e, em 1790, sugeriu à nova Assembléia Nacional pós-revolução que a unidade de comprimento fosse o pêndulo de segundos a 45° de latitude, uma latitude que convenientemente corta a França. Talleyrand escreveu a Riggs Miller no parlamento inglês urgindo-o a usar sua influência para fosse adotado um sistema comum à França e à Inglaterra, dizendo “A Grã-Bretanha e a França têm divergido uma da outra por tempo demais, quer por honra vazia, quer por interesses culpáveis. Já é tempo de duas nações livres unirem seus esforços para a promoção de uma descoberta que pode ser útil à humanidade” (Berriman, 1953, p. 141). Infelizmente, este rogo, mesmo quando seguido do pedido da Assembléia a Luiz XVI que escrevesse a George III à procura de um padrão unificado, caiu em ouvidos moucos.

O segundo relatório da Comissão, em 1791, rejeitou a medida do pêndulo e, em vez disso, reconsiderou uma versão da sugestão de Abbe Gabriel Mouton de 1670 para usar o comprimento de um minuto geodésico da divisão decimal do arco. Em 1720, Cassini também havia defendido a medida do pé geodésico, que ele queria que fosse 1/6.000 de um minuto terrestre do arco. A Comissão recomendou que o comprimento padrão fosse uma décima milionésima parte da distância do quadrante do arco do meridiano a partir do pólo norte até o equador, passando através de Dunkrik, Paris e Barcelona. Dunkrik e Barcelona “prendiam” o segmento do meridiano ao nível do mar, e o meridiano de Paris foi a escolha óbvia para o padrão francês. Tais medidas foram criteriosamente auferidas pelos astrônomos-geodésicos Delambre e Méchain durante os anos de 1792-1799, usando técnicas clássicas de levantamento e o Toise<sup>NT</sup> (aproximadamente 2 m) como unidade de comprimento (Chapin, 1994, p. 1094).

O terceiro relatório da Comissão, 1793, denominou a nova unidade geodésica de *metro* (da palavra grega *metron*, que significa “medida”). A Convenção, que havia substituído a Assembléia, aceitou esta unidade e o novo padrão foi legalizado através da lei do 18° Germinal, Ano III (7 de abril de 1795), Artigo 5°. Estas novas medidas métricas foram oficialmente chamadas de “republicanas”, sinalizando sua dimensão política. Como disse o Ministro da França no ano II da República, “a introdução de novos pesos e medidas era extremamente importante por conta de sua associação com a Revolução, para o esclarecimento e no interesse do povo (Kula, 1986, p. 239). Esta associação também significava que Lavoisier, Laplace e Coulombe foram exonerados da Agência de Pesos e Medidas por causa de associações não Republicanas. A placa definidora do metro-padrão foi estabelecida em 1799.

A razão porque a Comissão da *Académie* opôs-se à proposta de Talleyrand do pêndulo de segundos, que fora a sugestão de Huygens cem anos antes, é discutível. O comprimento do pêndulo de segundos em uma dada latitude era constante, público, recuperável, natural e portátil. Aparentemente ele preenchia todos os critérios para um bom padrão. Ostensivamente, a razão apresentada pela Comissão era de que ele

---

NT “Toise” é uma palavra francesa que designa um dos padrões de comprimento da época equivalente a cerca de 1,90m.

introduzia considerações temporais num padrão de comprimento. Alguns sugeriram que a razão real é que a *Académie* desejava preservar seu território intelectual e técnico, e melhorar sua arrecadação de fundos. A definição de *seu* padrão consistiu de uma questão altamente complexa e elitista, que exigiu não apenas a tecnologia mais sofisticada, mas também que se chegasse a um acordo quanto ao grau de achatamento da terra. Em 8 de agosto de 1791, a *Académie* recebeu 100.000 “livres”, quase o dobro de seu orçamento anual normal, como adiantamento pelo levantamento geodésico do setor meridiano. Estimativas do custo total para determinar o comprimento da décima milionésima parte da distância do quarto de meridiano que corta Paris variam de 300.000 “livres” a milhões de “livres” (Heilbron, 1989, p. 991). Havia, na recomendação da Comissão, um certo elemento de interesse próprio venal escondendo-se por trás de nobres ideais acadêmicos. Como um comentarista da época, o agrimensor Jean Baptiste Biot, escreveu: “Se as razões que a *Académie* apresentou à Assembléia [para obter apoio para o projeto] não foram, no cômputo geral, as verdadeiras, isso é porque as ciências também têm suas políticas” (Heilbron, 1989, p. 992). É salutar reconhecer que a política, ainda que um tanto venal, estava envolvida no estabelecimento do padrão de comprimento sobre o qual toda a medição em ciência moderna repousa.

Houve mais do que um interesse meramente científico e impessoal envolvido na adoção de um sistema unificado de medição. Como observou um comentarista francês de princípios do séc. XIX:

*Os conquistadores de nossos dias, povos ou príncipes, querem que seu império possua uma superfície unificada sobre a qual o olho soberbo do poder possa vaguear sem encontrar qualquer desigualdade que fira ou limite sua visão. O mesmo código de lei, as mesmas medidas, as mesmas regras, e, se se pode gradualmente chegar lá, a mesma língua; isto é o que se proclama como a perfeição da organização social... O maior slogan atual é a uniformidade. (Alder, 1995, p. 62)*

## **VI. Conclusão**

O argumento da *Académie* acerca de não se dever misturar considerações referentes a tempo e a comprimento não conseguiu convencer os céticos da época: duzentos anos depois em 1983, não convenceu os delegados da Conferência Geral sobre Pesos e Medidas reunidos em Paris que definiram o metro padrão universal como “o comprimento da trajetória percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de  $1/299.792.458$  de um segundo”. Deste modo, tempo e espaço tornam-se inextricavelmente ligados. Mais uma vez, de forma agradável, este número aparentemente arbitrário, que se encontra entre as primeiras coisas com que se deparam

os estudantes que abrem os livros didáticos modernos, difere menos que um milímetro do padrão de comprimento original e inteiramente natural proposto por Huygens.<sup>xvi</sup>

O argumento da *Académie* acerca de não se dever misturar considerações referentes a tempo e a comprimento não conseguiu convencer os céticos da época: duzentos anos depois em 1983, não convenceu os delegados da Conferência Geral sobre Pesos e Medidas reunidos em Paris que definiram o metro padrão universal como “o comprimento da trajetória percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de 1/299.792.458 de um segundo”. Deste modo, tempo e espaço tornam-se inextricavelmente ligados. Mais uma vez, de forma agradável, este número aparentemente arbitrário, que se encontra entre as primeiras coisas com que se deparam os estudantes que abrem os livros didáticos modernos, difere menos que um milímetro do padrão de comprimento original e inteiramente natural proposto por Huygens.<sup>xvii</sup>

O destino da proposta de Huygens de 1673 para a adoção de um padrão universal de comprimento ilustra bastante bem muitas das características centrais da ciência, bem como as inter-relações entre ciência, tecnologia, cultura e política. Uma vez que os Padrões Nacionais de Ensino de Ciências nos Estados Unidos advogam explicitamente o ensino sobre tais inter-relações, e dado que o documento devota duas páginas ao pêndulo, é uma grande pena que não seja mencionado nada dessa estória.<sup>xviii</sup> O fato de ela ser negligenciada indica o grau de aproximação entre o ensino e a história e a filosofia da ciência que ainda é necessário. O pêndulo figura em quase todo currículo de ciências no mundo – e é apontado, via de regra, como o tópico mais chato. Há uma oportunidade de adornarem-se, com a riqueza e a informação da história e da filosofia, os mais áridos exercícios, fórmulas e questões práticas. Se a oportunidade é concretizada depende do conhecimento e do entusiasmo que os professores têm pela história e pela filosofia da matéria que ensinam.

---

## NOTAS

<sup>i</sup> Este estudo de casos faz parte de uma investigação maior acerca da história do pêndulo, sua utilização para medir o tempo e suas ramificações culturais e filosóficas (Matthews, 2000).

<sup>ii</sup> Ele enviou as provas a seu pai com vistas a uma possível publicação, porém quase simultaneamente obteve e leu uma cópia do *Discurso* de Galileu que continha as provas originais deste último. De modo que ele escreveu mais uma vez a seu pai retirando o pedido de publicação e afirmando: “Não pretendia escrever a *Ilíada* depois que Homero já o havia feito” (Yoder, 1988, p. 9).

---

<sup>iii</sup> Esta foi uma das primeiras manifestações da visão de que a ciência deve estar acima, ou pelo menos além, da política. Durante as guerras napoleônicas, permitia-se ao cientista inglês Davy viajar livremente e conduzir sua pesquisa na França; durante a Primeira Guerra Mundial, o cientista e historiador francês Pierre Duhem, defendia as conquistas da ciência alemã (Duhem, [1916] 1991); durante a Segunda Guerra Mundial o cientista Max Planck apelou para tal distinção para justificar a sua permanência como diretor do Instituto Kaiser Wilhelm na Alemanha nazista (Heilbron, 1986).

<sup>iv</sup> Pode-se ler sobre a vida e as realizações de Huygens em Bell (1947), Bos (1980a) e no verbete correspondente no *Dicionário de Biografia Científica*.

<sup>v</sup> Cf. Dolson (1985) a respeito da influência de Galileu nas investigações horológicas de Huygens.

<sup>vi</sup> Uma tradução desta obra para o inglês aparece como apêndice em Edwards (1977).

<sup>vii</sup> A curva cicloide tinha sido estudada por Galileu e seu pupilo Torricelli. Huygens reconhecia que, para amplitudes amplas, o comprimento efetivo do pêndulo tinha que ser encurtado de acordo com a amplitude; uma cicloide permitia que isso ocorresse.

<sup>viii</sup> O que não é um elogio modesto para algo aparentemente tão abstruso e arcano; e um lembrete, dada sua utilização para a produção de movimento pendular verdadeiramente isocrônico em relógios, da utilidade da pesquisa “teórica”.

<sup>ix</sup> Dava Sobel fornece um relato best-seller bastante agradável de se ler acerca dos esforços britânicos para resolver o problema da longitude – definitivamente solucionado entre 1770 e 1780 por John Harrison (Sobel, 1995). A questão de encontrar-se a longitude no mar é tratada em muitos autores, mas merecem atenção especial Gould (1923, pp. 1-17), Williams (1992, cap. 6), Landes (1998) e Stimson (1998). Cf. também as outras contribuições para Andrewes (1998), que consistem dos trabalhos apresentados no Simpósio de Longitude de Harvard de 1993 no qual se baseou o livro de Sobel.

<sup>x</sup> A proposta de Wren não deu em nada, e os ingleses persistiram em um padrão de jarda artificial. Em 1758, descobriu-se que mesmo as duas jardas padrão preservadas em Exchequer não tinham o mesmo comprimento (Heilbron, 1989, p. 990)! Um Ato de 1824 realmente especificava que, se a jarda padrão imperial deveria ser destruída, então deveria ser substituída pela unidade natural de pêndulo de segundos. Tal catástrofe de fato ocorreu em 1834 quando um incêndio na House of Parliament destruiu a jarda padrão. Porém, a esta altura, já havia sido notado que o pêndulo de segundos não era tão invariável como se pensara originalmente. Assim, os ingleses, e suas colônias também, persistiram no padrão de jarda artificial (Scarr, 1967, pp. 2-5).

<sup>xi</sup> Ele havia calculado que o raio da terra teria que ser milhares de vezes maior do que é para que a força centrífuga se igualasse ao peso de um corpo e, conseqüentemente, para que o corpo fosse lançado para fora da terra em rotação. Galileu havia defendido o mesmo argumento em suas discussões com aqueles que alegavam que uma terra em rotação lançaria corpos, e edifícios, no espaço.

---

<sup>xii</sup> Pode-se encontrar detalhes completos sobre a viagem de Richer, seus objetivos e conquistas em Olmsted (1942).

<sup>xiii</sup> Richer não havia se destacado como um condutor de experimentos cuidadoso antes (Mahoney, 1980, p. 253).

<sup>xiv</sup> O fato de que o peso de um corpo mudasse de um lugar para outro, como era evidenciado pela variação do período do pêndulo, lançou as sementes para a distinção conceptual entre peso e massa. A intuição era de que embora o peso mudasse conforme mudava a gravidade, ainda assim havia algo da “substância da massa” do corpo permanecia o mesmo. Primeiro, Jean Bernoulli introduziu a distinção entre massa e peso, e Newton, como será visto a seguir, a esclareceu pela introdução da noção de massa inercial.

<sup>xv</sup> Em 1677, Edmund Halley levou um pêndulo de segundos de Londres para Santa Helena (16° Lat. Sul) e descobriu que ele também tinha que ser encurtado (Cook, 1998, p. 87). Porém, ele atribuiu o efeito à altura acima do nível do mar na qual ele fez suas leituras na ilha. Isto é, quanto maior a distância do centro da terra, menos atração gravitacional. Em 1682, Robert Hooke informou à Royal Society que um relógio de Londres batia mais rápido, ou seja, seu período era mais curto, quando levado para Tangiers. Cf. Ariotti (1972, pp. 406-407) a respeito destes e de outros exemplos.

<sup>xvi</sup> Relatos do desenvolvimento do metro padrão podem ser encontrados em Alder (1995), Thompson (1967), Kline (1988, cap. 9), Kula (1986), Heilbron (1989), Petry (1993, pp. 302-303) e Barriman (1953, cap. XI). Como fonte adicional, cf. *L'Épopée du Metre Historie Systeme Decimel*, Ministério dos Pesos e Medidas, Documentação do Bicentenário da Revolução Francesa, Paris, Setembro 1989.

<sup>xvii</sup> Relatos do desenvolvimento do metro padrão podem ser encontrados em Alder (1995), Thompson (1967), Kline (1988, cap. 9), Kula (1986), Heilbron (1989), Petry (1993, pp. 302-303) e Barriman (1953, cap. XI). Como fonte adicional, cf. *L'Épopée du Metre Historie Systeme Decimel*, Ministério dos Pesos e Medidas, Documentação do Bicentenário da Revolução Francesa, Paris, Setembro 1989.

<sup>xviii</sup> Cf. Matthews (1998) para uma elaboração deste tema.



## VII. Referências Bibliográficas

- ALDER, K. 'A Revolution to Measure: The Political Economy of the Metric System in France'. In M.N. Wise (ed.), *The Values of Precision*, Princeton University Press, Princeton, NJ, pp. 39-71.
- ANDREWES, W.J.H. (ed.): 1998, *The Quest for Longitude: The proceedings of the Longitude Symposium. Harvard University, Cambridge, Massachusetts, Novembro 4-6/1993*. Collection of Historical Scientific Instruments, Harvard University, Cambridge, MA.
- ARIOTTI, P.E.:1972, 'Aspects of the Conception and Development of Pendulum in the 17th Century', *Archive for History of the Esact Sciences* 8, 329-410.
- BELL, A.E.:1947, *Christiaan Huygens and the Development of Science in the Seventeenth Century*, Edward Arnold, California Chicago Cambridge London.
- BERRIAN, A.E.: 1953, *Historical Metrology: A new Analisis of the Archaeological and Historical Evidence Relating to Weights and Measure*, J.M. Dent & Sons, London.
- BLAY, M.: 1998, *Reasoning with the Infinite: From the Closed world to the Mathematical Universe*, University of Chicago Press, Chicago.
- BOS, H.J.M.: 1980a, 'Christiaan Huygens – A Biographical Strech'. In H.J.M. Bos et.al. (eds.), *Studies on Christiaan Huygens*, Swets & Zeitlingler, Lisse. pp.7-18.
- BYBEE, R.W., Ellis, J.D, Giese, J.R. & Parisi, L.:1992, *Teaching About the History and Nature of Science and Technology: A Curriculum Framework*, Colorado Sprngs, BSCS/SSEC.
- COOK, A.: 1998, *Edmond Halley: Charting the Heavens and Seas*, Claredon Press, Oxford.
- DOBSON, R.D.: 1985, 'Galileu Galilei and Christiaan Huygens', *Antiquarian Horology* 15, 261-270.
- DUHEM, P.: 1916/1991, *German Science*, trans. J. Lyon and S.L. Jaki, Open Court Publishers, La Salle IL.
- EDWARDES, E.L.: 1977, *The Story of the Pendulum Clock*, J. Sherratt, Altrincham.

- FAUVEL, J. & GRAY, J. (eds.): 1987, *The History of Mathematics: A reader*, Macmillian, London.
- GOULD, R.T.: 1923, *The Marine Chronometer, Its History and Development*, J.D. Potter, London. Reprinted by The Holland Press, London, 1978.
- HEIBRON, J.L.: 1986, *The Dilemmas of an Upright Man: Max Planck as Spokesman for German Science*, University of California Press, Berkeley.
- HEIBRON, J.L.: 1989, 'The Politics of the Meter Sticks', *American Journal of Physics* 57, 988-992.
- HUYGENS, C.: 1673/1986, *Horologium Oscillatorium. The Pendulum Clock or Geometrical Demonstrations Concerning the motion of Fpendula as Applied to Clock*, R.J. Blackwell trans., Iowa State University Press, Ames.
- HUYGENS, C.: 1690/1945, *Treatise on Light*, translated and edited by S.P. Thompson, University of Chicago Press, Chicago.
- KLINE, H.A.: *The Science of Measurement: A Historical Survey*, Dover Publications, New York.
- KULA, W.: 1986, *Measures and Man*, Princeton University Press, Princeton NJ.
- LANDES, D.S.: 1998, 'Finding the Point at Sea'. In W.J.H. Andrewes (ed.), *The Quest for Longitude*, The Collection of Historical Scientific Instrument, Harvard University, Cambridge, MA. 2<sup>nd</sup> Edition, pp. 20-30.
- MAHONEY, M.S.: 1980, 'Christiaan Huygens: The measurement of the Time and of Longitude at Sea'. In H.J.M. Bos at al (eds.), *Studies on Christiaan Huygens*, Swets & Zeitlinger, Lisse, pp. 234-270.
- MATTHEWS, M.R.: 1994, *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, New York.
- MATTHEWS, M.R.: 1998, 'How History and Philosophy in the US Science Education Standards Could Have Promoted Multidisciplinary Teaching'. *School Science and Mathematics* 98(6), 285-293.
- MATTHEWS, M.R.: 2000, *Time for Science Education: How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion can Contribute to Science Literacy*, Plenum Publishers, New York.

- Mc COMAS, W.F. & OLSEN J.K.: 1998, 'The Nature of Science in International Science Education Standart Documents'. In W.F. Mc Comas (ed.), *Nature of Science in Science*.
- Mc COMAS, W.F. & CLOUGH, M.P. & ALMAZROA, H.: 'The Role and Character of Nature of Science in Science Education. *Science & Education*, 7(6), 511-532.
- (NRC) Nacional Research Council: 1996, *Nacional Science Education Standart*, Nacional Academy Press, Washington.
- OLMSTED, J.W.: 1942, 'The Scientific Expedition of Jean Richer to Cayenne (1672-1673)', *Isis* 34, 117-128.
- PETRY, M.J.: 1993, 'Classifying the Motion: Hegel on the Pendulum'. In: M.J. Petry (ed.) *Hegel and Newtonism*, Kluwer Academic Publishers, Dorsrecht, pp. 291-316.
- SCARR, A.J.T.: 1967, *Metrology and Precision Engineering*, McGraw-Hill, London.
- SOBEL, D.: 1995, *Longitude: the True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*, Walter & Co., New York.
- STIMSON, A.: 1998, 'The Longitide Problem: The Navigator's Story'. In W.J.H. Andrewes (ed.), *The Quest for Longitude*, The Collection fo Historical Scientific Instruments, Harvard University, Cambrigde, M.A, 2<sup>nd</sup> Edition, pp.72-84.
- THOMPSON, E.P.: 'Time, Work-Discipline and Industrial Captalism', *Past and Present* 38, 56-97.
- WILIAMS, J.E.D.: 1992, *From Sails to Satellites: The Origins and Development of Navigational Science*, Oxford University Press, Oxford .
- YODER, J.G.: 1988, *Unrolling Time: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature*, Cambrigde University Press, Cambrigde..