

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

PAULO ROBERTO LEME

Uma Proposta do uso Motivacional do Mecanismo de
Antikythera para o Aprendizado Contextualizado de
Fundamentos de Astronomia

São Paulo

2017

PAULO ROBERTO LEME

Uma Proposta do uso Motivacional do Mecanismo de
Antikythera para o Aprendizado Contextualizado de
Fundamentos de Astronomia

Dissertação apresentada ao Departamento
Astronomia do Instituto de Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas da
Universidade de São Paulo como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre em
Ensino de Astronomia.

Versão Corrigida. O original encontra-se
disponível na Unidade.

Área de Concentração: História da Astronomia e
da Cosmologia

Orientador: Prof. Dr. Amâncio Cesar Santos Friaça

São Paulo

2017

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Amâncio Cesar Santos Friaça, pela confiança e valioso apoio em todas as etapas da elaboração deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia, por todas as contribuições.

À minha mulher, Selma Casagrande, pelo carinho, companheirismo, incentivo e paciência ao longo dos anos de vida em comum.

Às minhas filhas e netos, Adriana Salles Leme, Juliana Salles Leme, Francesco Leme Broccio e Flávio Salles Santos, pela carinho, grande motivação e propagação da espécie.

Ao meu filho, Rogério Salles Leme (in memoriam), pena ter partido tão cedo. Sempre em minha mente... sempre no meu coração.

Aos meus pais, Evangelista Oliveira Leme e Isabel Solis Leme (in memoriam), pela vida, pelo amor, pela educação e pelo preparo para a vida.

Ao meu pequeno Juanito, pelo companheirismo e 14 anos de amor incondicional.

To my former mentor Mones Berman (in memoriam), for the professional guidance and human example.

Aos meus amigos e colegas professores e astrônomos profissionais e amadores, pelo incentivo e parceria.

Aos meus alunos, por serem motivação para o desenvolvimento deste trabalho.

“Se enxergamos mais longe, é por estarmos sobre os ombros de gigantes.”

Bernard de Chartres (século XII).

RESUMO

O Mecanismo de Antikythera é um sofisticado instrumento astronômico do Período Helenístico e o mais antigo computador analógico conhecido, usado para prever posições astronômicas e eclipses. Foi construído na Grécia, entre os anos 150 e 100 AEC, quase um século após a morte do mais importante matemático, físico, engenheiro, inventor e astrônomo da Grécia Antiga, Arquimedes (290-212 AEC). Ele tem um grande potencial educativo com um profundo apelo a mentes curiosas, pois revela a grande sofisticação da ciência e da tecnologia há mais de 2.000 anos, na época em que o dispositivo foi construído. Ao fazer análises da estrutura do maquinário e do contexto histórico ao qual pertence, um aluno do ensino básico ou superior ou, de modo mais geral, alguém da educação informal, pode se dar conta não só do conhecimento matemático, astronômico e tecnológico envolvidos, mas também das importantes funções culturais e sociais implicadas pelas suas funcionalidades. Seu estudo tem um valor claramente interdisciplinar que pode ser aproveitado como um recurso educacional ímpar, capaz de estimular tanto os estudantes da área de ciências exatas como de ciências humanas. O surpreendente conhecimento astronômico e técnico incorporado ao mecanismo bem como as tecnologias utilizadas nos processos de investigação do artefato, podem também ser usadas para apresentar conceitos científicos e tecnológicos contextualizados.

Palavras-chave - astronomia, ensino de astronomia, aprendizagem, motivação, Mecanismo de Antikythera, planetário, transdisciplinaridade, Grécia

ABSTRACT

The Antikythera Mechanism is a sophisticated astronomical instrument of the Hellenistic Period and the oldest known analog computer used to predict astronomical positions and eclipses. It was built in Greece between 150 and 100 BCE, almost a century after the death of the most important mathematician, physicist, engineer, inventor and astronomer of Ancient Greece, Archimedes (290-212 BCE). It has a great educational potential with a deep appeal to curious minds as it reveals the great sophistication of science and technology more than 2,000 years ago at the time the device was built. In making an analysis of the machinery structure and the historical context to which it belongs, a student of basic or higher education or, more generally, someone in informal education may become aware not only of the mathematical, astronomical and technological knowledge involved, but Cultural and social functions implied by their functionalities. His study has a clearly interdisciplinary value that can be harnessed as a unique educational resource, capable of stimulating both students in the area of exact sciences and the humanities. The amazing astronomical and technical knowledge incorporated into the mechanism as well as the technologies used in the artifact research processes can also be used to present contextualized scientific and technological concepts.

Keywords - astronomy, astronomy teaching, learning, motivation, Mechanism of Antikythera, planetarium, transdisciplinarity, Greece

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO PROJETO	10
2. MARCOS TEÓRICOS.....	15
2.1 <i>Multidisciplinariedade, Interdisciplinaridade e Transdisciplinaridade</i>	16
3. METODOLOGIA.....	20
3.1 <i>Relato da Descoberta e Recuperação do Artefato.....</i>	20
3.2 <i>Datação dos Achados.....</i>	22
3.3 <i>Investigações sobre a estrutura e a composição do mecanismo utilizando tecnologias modernas</i>	22
4. FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA.....	28
4.1 <i>Calendário Egípcio de 365 dias e o Ano Solar</i>	28
4.2 <i>Esfera celeste</i>	32
4.3 <i>Equinócios, solstícios e as estações do ano</i>	33
4.4 <i>Lua e suas fases</i>	35
4.5 <i>Meses lunares</i>	37
4.6 <i>Eclipse lunar e eclipse solar.....</i>	43
4.7 <i>Zodíaco e constelações.....</i>	52
4.8 <i>Ciclo metônico</i>	55
4.9 <i>Ciclo de Saros.....</i>	61
5. CONJECTURAS SOBRE O ACHADO	67
5.1 <i>Reconstruções e modelos.....</i>	67
5.2 <i>Especulações sobre a origem do Artefato.....</i>	74
5.3 <i>Questões suscitadas pelo dispositivo</i>	79
6. TRANSVERSALIDADES	81
6.1 <i>Tópicos de História e Geografia.....</i>	81
6.2 <i>Tópicos de História da Arte.....</i>	84
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Aula sobre a Terra e atração gravitacional, curso de Educação de Jovens e Adultos da Escola Vera Cruz, em 2008 (foto do autor).	11
Figura 3.1 – Mapa do Mar Mediterrâneo, ilustrando a Grécia e as ilhas de Creta, Kythera e Antikythera, esta situado do lado oposto.	21
Figura 3.2 - Fragmentos remanescentes (82) do Mecanismo de Antikythera, que se encontram em exposição permanente no Museu Nacional de Arqueologia de Atenas – (NATIONAL ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF ATHENS, 2008).	21
Figura 3.3 - Fragmentos maiores do Mecanismo de Antikythera e as correspondentes imagens de raios-X.	23
Figura 3.4 - Tomografias computadorizadas do fragmento A, o maior encontrado.....	25
Figura 3.5 – Imagem composta de uma fatia de tomografia computadorizada com inscrições da tampa traseira do instrumento (FREETH; JONES, 2012).	25
Figura 3.6 - Mapeamento polinomial de textura evidencia as inscrições dos fragmentos mascaradas pela deterioração pelo tempo.	26
Figura 3.7 - Inscrição que se destaca nos fragmentos do artefato: ΚΟΣΜΟΥ, significando “cosmos”	27
Figura 4.1 - Ilustração da modelo virtual do mostrador frontal.	29
Figura 4.2 – Admirável modelo virtual do Mecanismo de Antikythera disponível em vídeo no website do autor (VICENTINI, 2007).	30
Figura 4.3 - Ilustração do modelo virtual do mostrador frontal superposto a uma fotografia do fragmento maior (figura montada pelo autor).	30
Figura 4.4 – Esfera celeste (figura elaborada pelo autor).	32
Figura 4.5 - Ilustração dos solstícios e equinócios (figura elaborada pelo autor).	34
Figura 4.6 - Diagrama representando a posição da Lua e suas respectivas fases (vistas desde o hemisfério sul). No início a fase é lua nova e retorna a ela ao final do ciclo. Fonte: Orion 8 (2010) (figura adaptada pelo autor).	36
Figura 4.7 - Mês sinódico e mês sideral (figura elaborada pelo autor).	37
Figura 4.8 – Imagem de tomografia (com cores falsas) do sistema excêntrico de 4 engrenagens que reproduziam o movimento anomalístico da Lua (FREETH, 2006). ...	39
Figura 4.9 – Modelo de Apolônio, onde T representa a Terra e L a posição da Lua que gira no epíclito em torno do ponto C, o deferente da Lua.	40

Figura 4.10 – Reconstrução virtual do sistema excêntrico de 4 engrenagens com 50 dentes cada (figuras adaptadas pelo autor).....	40
Figura 4.11 - Apogeu e perigeu da trajetória da Lua reproduzida pelo sistema excêntrico de engrenagens (FREETH, 2006).....	41
Figura 4.12 - Comparação dos tamanhos observados da Terra quando a Lua se encontra no perigeu e no apogeu (figura elaborada pelo do autor).	42
Figura 4.13 - Precessão das apsidés da Lua (sentido horário nesta figura) tem um período de 8,85 anos. Fonte: Fassbind (2015).....	43
Figura 4.14 - Tabuleta da argila da Babilônia com registros de eclipses solares entre 518 e 465 AEC. Fonte: NASA (2006).	44
Figura 4.15 – O Sol projeta a umbra e a penumbra, duas regiões de sombra distintas atrás da Terra	45
Figura 4.16 – Eclipse lunar. Fonte: Las Cumbres Observatory (2010).	45
Figura 4.17 – Tipos de eclipse lunar. Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2004).	46
Figura 4.18 – Sequência de um eclipse lunar total, evidenciando a coloração avermelhada da Lua pelo efeito de refração da luz solar pela atmosfera da Terra. Fonte: Witte (2010).....	47
Figura 4.19 – Geometria de um eclipse solar. Fonte: Sagredo (2008).	48
Figura 4.20 – Tipos de eclipse solar. Fonte: Sogumo (2007).....	49
Figura 4.21 – Sombra da Lua sobre a Terra durante o eclipse solar total de 11 de agosto de 1999, observada pela estação espacial russa Mir. Fonte: Mir (1999).	50
Figura 4.22 – Sequência de um eclipse solar total. Fonte: Espenak (2009).....	51
Figura 4.23 – Posições relativas do plano da órbita lunar e da eclíptica ao longo de cerca de um ano, e condições possíveis de eclipse. Fonte: Gronwall (2010).....	52
Figura 4.24 - Mostrador frontal: constelações do zodíaco em grego e latim.	53
Figura 4.25 – Zodíaco, eclíptica e equador celeste e ponto vernal (figura elaborada pelo autor).	54
Figura 4.26 – Constelações modernas definidas como 88 regiões na esfera celeste, em reunião da IAU (International Astronomical Union) em 1929.	55
Figura 4.27 - Modelo exibe o mostrador da esquerda da parte posterior do instrumento, formado por uma escala espiral de 5 voltas representando o ciclo metônico de 19 anos solares ou 235 meses lunares.....	57

- Figura 4.28** – Fragmento B do mecanismo formado pela escala espiral de 5 voltas representando o ciclo metônico (FREETH, 2006)..... 58
- Figura 4.29** - Uma camada de tomografia computadorizada (CT) do fragmento B (FREETH, 2012). O texto em vermelho foi decifrado a partir de várias camadas e revelou todos os nomes no calendário metônico. O texto em azul foi reconstruído, com base na estrutura provável do calendário..... 58
- Figura 4.30** - Detalhe de um modelo do mostrador do ciclo metônico, mostrando o calendário lunissolar; cada glifo indica o dia no ano solar e a fase da Lua. O pequeno mostrador indica os anos dos jogos pan-helênicos. 59
- Figura 4.31** - Decodificação dos mostradores. (a) Camada de uma imagem tomográfica computadorizada (CT) gerada por raios-X mostra parte do mostrador com glifos do ciclo metônico. As letras têm 1,7 mm de altura. (b) O texto em vermelho foi traçado a partir do CT e revelou os nomes dos meses no dial pela primeira vez; o texto em azul já tinha sido decifrado visualmente. (c) e (d) Esta outra camada mostra o dial das Olimpíadas. Seus setores exibem o ciclo de quatro anos dos Jogos Pan-helênicos (ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT, 2005)..... 60
- Figura 4.32** - Manuscrito do século IX ilustrando o ciclo metônico e a data da lua nova de Páscoa. 61
- Figura 4.33** – Fragmento C do sistema revelando parcialmente as escalas espirais representando o ciclo de Saros (FREETH, 2006)..... 62
- Figura 4.34** - Reconstrução exibe o mostrador da direita que representa um calendário de 18 anos, 11 dias e 8h, para prever eclipses solares e lunares (ciclo de Saros)..... 62
- Figura 4.35** – Glifos referentes aos eclipses lunares e solares (FREETH, 2006)..... 64
- Figura 4.36** – Detalhe da reconstrução em processo do mostrador do ciclo de Saros, onde são mostrados 16 glifos de eclipse identificados (cor verde)..... 65
- Figura 4.37** - Detalhe do mostrador de previsão dos eclipses baseada nos $223 \frac{1}{3}$ meses sinódicos do ciclo de Saros, incluindo o disco menor indicador do período exeligmo. . 65
- Figura 5.1** – Primeira tentativa de reconstrução do dispositivo em 1930. Fonte: Antikythera Mechanism Research Project (2005)..... 67
- Figura 5.2** - Primeiro modelo funcional construído por Price. O diagrama mostra a complexidade do sistema. As rodas dentadas em preto são visíveis aos raios-X e as rodas em vermelho são presumidas a fim de completar o modelo. Fonte: Price (1979).68

Figura 5.3 – Mostradores frontal e traseiros do modelo construído por Wright. Fonte: Wright (2005).	69
Figura 5.4 – Diagrama esquemático das engrenagens utilizadas no modelo de Freeth e Jones (FREETH et al., 2008).	70
Figura 5.5 - Reconstrução mais recente por Freeth e Jones (2012).	70
Figura 5.6 - Admirável modelo virtual construído por Vicentini (2007).	71
Figura 5.7 - Abrangente modelo virtual realizado por Vicentini e Wright (2013).	71
Figura 5.8 – Modelo desenvolvido em Lego. Fonte: Carol (2010).	72
Figura 5.9 – Modelos miniatura de pulso Hublot. Fonte: Buttet (2013).	73
Figura 5.6 – O Colosso de Rodas, uma das 7 maravilhas do mundo antigo, Fonte: de Vos (1614).	77
Figura 5.7 - Altar de Pérgamo, construção monumental erigida na acrópole da cidade de mesmo nome (atual Turquia), no século II AEC (SPEKKING, 2004).	79
Figura 6.1 - O Império de Alexandre, o Grande, na época de sua expansão máxima (334 – 323 AEC).	81
Figura 6.2 - Áreas de língua grega durante o período helenístico (323 a 31 AEC.).	82
Figura 6.3 – Marco Túlio Cícero (106 AEC - 43 AEC)	83
Figura 6.4 - Estátua de bronze do Efebo de Antikythera. Fonte: Myers (1999).	85
Figura 6.5 – Parte de uma estátua de bronze chamada de “filósofo de Antikythera”, (circa 240 AEC).	86
Figura 6.6 – Estátuas em mármore em mármore fortemente danificadas. A da esquerda representa Zeus e a da direita, um menino, com datações estimadas no início do século I AEC.	87
Figura 6.7 – Moedas de prata e brincos de ouro, pérolas, esmeralda e granada, com uma figura pendente de Eros (KALTSAS; VLACHOGIANNI; BOUYIA, 2012).	87
Figura 6.8 – Peças de vidro e cerâmica encontrada no naufrágio.	88
Figura 6.9 – Atlas de Farnese, em exibição no <i>Museo Archeologico Nazionale di Napoli</i>	89
Figura 7.1 - Imagem com origem na mitologia grega: o gigante cego Orion carrega seu servo, Cedalion, nos ombros, para servir como os olhos do gigante. (Figura em domínio público). Fonte: Rosenwald (2006).	92

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO PROJETO

A presente proposta teve sua origem de experiência pessoal quando ministrei a disciplina de ciências em um curso de Ensino de Jovens e Adultos (EJA) por 4 anos, na Escola Vera Cruz, na cidade de São Paulo, que chamava afetivamente o projeto como “Ilha de Vera Cruz”, a partir do ano 2004. O público alvo era formado de pessoas com *idade média elevada* (estimo que acima de 40 anos), que haviam deixado de estudar havia muitos anos, de origem humilde e que exerciam profissões modestas na sociedade, porém estudavam em busca de uma aculturação para conseguir um emprego melhor e mais bem remunerado. Os professores exerciam as funções como voluntários, uma vez que se tratava de um movimento de inclusão social.

Os tópicos de física anteriormente abordados, incluíam tópicos como “eletroscópios de folha de ouro”, entre outros, completamente alheios à realidade cotidiana dos alunos. Foi então que resolvi dar um curso baseado na experiência mais básica deles sobre a Terra, a Lua e Sol, uma introdução à astronomia. Apesar da informalidade, eram introduzidos conceitos fundamentais da física, como inércia, princípio fundamental da dinâmica, ação e reação, força centrípeta, contextualizando com o lado histórico, introduzindo nomes como Galileu, Newton e Doppler, entre outros.

Sendo um curso noturno, os alunos chegavam cansados e sonolentos (alguns haviam acordado às 4 ou 5 horas da manhã), e a opção foi por realizar aulas com a participação ativa dos estudantes, utilizando inclusive técnicas de psicodrama como facilitadoras na integração das relações interpessoais, beneficiando o grupo como um todo no processo de ensino e aprendizagem. (LIMA, 1998). As carteiras da sala eram afastadas, os alunos formavam um círculo e o conteúdo era vivenciado no ‘palco’. A introdução era geralmente com um experimento, como um plano inclinado e bolas de massas distintas, uma simulação dos movimentos da Terra, da Lua e do Sol e as fases da Lua (com os próprios alunos se deslocando como os astros). As aulas sobre inércia eram realizadas no metrô, com os alunos experimentando e levantando hipóteses sobre os movimentos

de bolas de tênis quando da aceleração dos vagões. As conclusões finais eram elaboradas após o retorno. O curso culminava com uma viagem à Lua, com a identificação dos fenômenos físicos envolvidos desde o lançamento até a alunissagem, passando por entradas e saídas de órbitas terrestre e lunar. Essas atividades foram valiosas para manter o interesse dos alunos e os mantinham bastante motivado (fig. 1.1).



Figura 1.1 – Aula sobre a Terra e atração gravitacional, curso de Educação de Jovens e Adultos da Escola Vera Cruz, em 2008 (foto do autor).

Outros cursos sobre astronomia se sucederam em ambientes não formais, alguns com nomes sugestivos como “Viagem da Terra às Galáxias”, onde sempre eram abordados não somente o como, mas, sempre que possível, o porquê. A vivência no ensino da astronomia se estendeu com a participação em videoconferências e “hangouts” nas mídias sociais e palestras em congressos de astronomia amadora, como o Encontro Nacional de Astronomia (ENAST) e outros locais.

A motivação específica sobre o tema do presente trabalho se deu em 2008, quando da leitura do caderno de Ciências no website do jornal The New York Times, fui capturado

pelo surpreendente artigo sobre o Mecanismo de Antikythera (WILFORD, 2008), intitulado “How Greeks Computed in 100 B.C.”. A partir de então, passei a pesquisar informalmente sobre o assunto, especializando-me no tema a ponto de proferir palestras em instituições de ensino como a Escola Municipal de Astrofísica de São Paulo, escolas e faculdades.

Por outro lado, nas últimas décadas, temos vivenciado grandes mudanças mundiais, como a globalização, o avanço de tecnologias, as trocas de informação e conhecimento através dos meios digitais incluindo a Internet, as quais incidem drasticamente nos processos do ensino e aprendizagem atuais. As evidências que acarretam no distanciamento entre os métodos habitualmente empregados pelo professor em sala de aula, que ainda na maioria dos casos limita-se às aulas expositivas com transmissão oral e escrita em lousa, e a tecnologia digital familiar ao aluno, repleta de respostas rápidas e automáticas, convergidas pela Internet, têm sido ressaltadas na literatura (DIAS, 2012).

Constata-se, porém, uma tendência de mudar esse panorama através do uso das novas tecnologias no processo de ensino e aprendizagem, como tentativas de aproximação destas gerações de professores e alunos pela capacitação dos primeiros (ESHET-ALAKALAI, 2008).

Esse ajuste tecnológico, entretanto, embora necessário, não é suficiente. Estimular a motivação é ainda mais importante, é um elemento-chave para o aprendizado pois desta forma, despertará nos estudantes um maior interesse pelo conteúdo escolar e conhecimento veiculado pelo professor. De acordo com Coelho (2000):

Não podemos esquecer que, sem estarmos motivados para a descoberta, nenhuma informação, por mais completa e importante que seja, conseguirá nos interessar ou será retida em nossa memória. Ora, se isso acontece conosco, adultos conscientes, do valor das informações como não acontecerá com os jovens?

A motivação do aluno pode ser considerada de suma importância para a potencialização de sua aprendizagem, assim como para a diminuição da evasão nos cursos (GARCIA;

BIZZO, 2011). Segundo Lefrançois (2008), a motivação é uma força consciente (ou inconsciente) que instiga a pessoa a agir, que produz um efeito no comportamento de um indivíduo.

A abordagem histórica do Mecanismo de Antikythera pode se constituir em uma motivação singular, especialmente entre os estudantes deste 3º milênio. A sensação de mistério e aventura é inerente ao tema, servindo para captar o interesse, provocar o entusiasmo e instigar o desafio para desvendar um dos mais antigos dispositivos mecânicos conhecidos na história da civilização.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de identificar publicações anteriores que eventualmente utilizaram o tema, em nosso país, tanto com propósitos de divulgação como seu uso educacional. Foram encontradas poucas experiências anteriores, tanto em nosso país como em outras partes do mundo sobre o emprego de estudos/discussões desse mecanismo no contexto do ensino. Uma consulta no catálogo geral do Sistema Dedalus, o Banco de Dados Bibliográficos da USP, revelou uma única fonte disponível sobre o Mecanismo de Antikythera, o livro no original inglês do primeiro pesquisador a estudar o assunto, Derek de Solla Price (PRICE, 1975).

Uma rara referência sobre essa possibilidade didática encontra-se nos anais do simpósio da União Internacional de Astronomia sobre o “Papel da Astronomia na Sociedade e Cultura” (MOUSSAS, 2009, tradução nossa)

O mecanismo tem um grande potencial educacional por ter um apelo às mentes inquisidoras, como um artefato surpreendente da ciência e da tecnologia. Os achados das últimas pesquisas revelam significativas funções culturais e sociais em sua operacionalidade.

O objetivo primordial do presente trabalho é elaborar uma proposta para construir os conceitos científicos de fundamentos da astronomia a partir da estrutura e funções do Mecanismo de Antikythera, contextualizado com os conhecimentos da cultura grega dos séculos imediatos antes da Era Comum os conheciam.

Essa contextualização será potencializada pelo elevado conteúdo histórico e cultural associado ao tema, entremeando tópicos de história, geografia, tecnologia, matemática e arte.

Não é objetivo deste trabalho apresentar sugestões de planejamento ou roteiros de aulas prontas acerca do tema, pois tais procedimentos não estariam de acordo com os princípios de autonomia do educando, expressos, por exemplo, na metodologia de Paulo Freire (2007): “As estratégias e procedimentos quanto à elaboração de aulas ficará a cargo do professor de acordo com suas necessidades e o tipo de trabalho que pretende realizar com seus estudantes e, também, fazer as escolhas de uso que melhor lhe convier.”

Como objetivo geral, pretende-se contribuir para despertar o interesse para o aprendizado da astronomia, tanto por parte do estudante do ensino médio quanto do professor formador. Pode-se, porém, abarcar também o ensino informal, como a divulgação científica, e até - excepcionalmente - o ensino superior.

2. MARCOS TEÓRICOS

Martins (2006) ressalta que o estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras, mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade. Como assinalam Marangon e Lima (2002), “só quando sai da disciplina e consegue contextualizar é que o educando vê ligação com a vida”. Deste modo, o estudante ou estudioso, ao desenvolver análises da estrutura do Mecanismo de Antikythera e do contexto histórico ao qual pertence, realiza um processo de interligação entre disciplinas e de superação das barreiras disciplinares. O desenvolvimento do estudo desse mecanismo iria abrindo campo para a comunicação entre várias disciplinas, como matemática, astronomia, física, química, história e geografia, que normalmente são pensadas como estanques. Uma consequência importante do estudo do Mecanismo de Antikythera é que o estudante/estudioso percebe que um conhecimento mais completo de qualquer “objeto”, seja o Mecanismo de Antikythera ou outro (mas o Mecanismo de Antikythera é particularmente motivante) só se dá quando as disciplinas colaboram entre si e quando se vai além das fronteiras disciplinares, ou seja, que o conhecimento se dá imerso na interdisciplinaridade e na transdisciplinaridade. Esse último ponto também é enfatizado nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio:

Assim, a consciência desse caráter interdisciplinar ou transdisciplinar, numa visão sistêmica, sem cancelar o caráter necessariamente disciplinar do conhecimento científico mas completando-o, estimula a percepção da inter-relação entre os fenômenos, essencial para boa parte das tecnologias, para a compreensão da problemática ambiental e para o desenvolvimento de uma visão articulada do ser humano em seu meio natural, como construtor e transformador deste meio. Por isso tudo, o aprendizado deve ser planejado desde uma perspectiva a um só tempo multidisciplinar e interdisciplinar, ou seja, os assuntos devem ser propostos e tratados desde uma compreensão global, articulando as competências que serão desenvolvidas em cada disciplina e no conjunto de disciplinas, em cada área e no conjunto das áreas. Mesmo dentro de

cada disciplina, uma perspectiva mais abrangente pode transbordar os limites disciplinares, (BRASIL, 2000, p. 9).

2.1 Multidisciplinariedade, Interdisciplinaridade e Transdisciplinaridade

São formas possíveis de articulação das diversas disciplinas escolares. Constituem estratégias de integração disciplinar para reunir as possibilidades de produção de conhecimento multidisciplinar, interdisciplinar ou transdisciplinar, em oposição ao conhecimento exclusivamente disciplinar.

A *multidisciplinaridade*, é a condução de uma atividade ou pesquisa através da aplicação coordenada de diversas disciplinas. Cada disciplina, porém, mantém sua metodologia e teoria, sem ser modificada. Não há integração dos resultados apresentados por cada disciplina. Busca-se a solução de um problema imediato, sem alcançar a articulação entre as ações e informações.

A *interdisciplinaridade* é um processo de integração recíproca entre várias disciplinas e campos de conhecimento. Constitui uma associação de disciplinas, por conta de um projeto ou de um objeto que lhes sejam comuns. Ela adota uma perspectiva teórico-metodológica comum para as disciplinas envolvidas e promove a integração dos resultados obtidos. Busca-se a solução dos problemas através da articulação de disciplinas, enquanto preservando o caráter próprio de cada disciplina.

A *transdisciplinaridade* é uma abordagem epistemológica que visa a unidade do conhecimento. Desta forma, procura estimular uma nova compreensão da realidade articulando elementos que passam entre, além e através das disciplinas, numa busca de compreensão da complexidade. Representa um nível de integração disciplinar além da interdisciplinaridade, enfatizando o caráter arbitrário das fronteiras disciplinares. Busca-se o sentido cognitivo para a resolução de problemas, através do reconhecimento de relações entre os diversos saberes (ciências exatas, humanidades e artes), sem priorizar nenhum saber, mas revelando a importância singular de cada saber.

A transdisciplinaridade foi primeiramente proposta por Piaget (1972), contudo, só recentemente é que esta proposta tem sido analisada e pontualmente estudada para implementação como processo de aprendizado. Ele propunha que o estágio das conexões interdisciplinares fosse seguido pelo estágio transdisciplinar, no qual essas conexões se situariam "dentro de um sistema total sem limites estáveis entre as disciplinas". Esse projeto de se caminhar rumo a uma compreensão da totalidade encontra seu eco em um dos pais da mecânica quântica, Niels Bohr (1999), que afirmava: "O problema da unidade do conhecimento é intimamente ligado à nossa busca de uma compreensão universal, destinada a elevar a cultura humana".

A transdisciplinaridade, ao enfatizar o caráter arbitrário dos limites entre disciplinas e das limitações pré-estabelecidas às competências (por que não, por exemplo, um filósofo, não ser um pesquisador em biologia?), resulta no desenvolvimento de respostas criativas aos grandes problemas contemporâneos:

A transdisciplinaridade representa o germe capaz de promover um desenvolvimento endógeno do espírito evolutivo da consciência crítica interna, onde a religião e a ciência são complementares. O respeito, a solidariedade e a cooperação devem ser padrões globais para todo o desenvolvimento humano sem fronteiras. Isso exige uma mudança radical nos modelos ontológicos de desenvolvimento sustentável, educação global e sociedade mundial. Devemos confiar no reconhecimento de uma pluralidade de modelos, culturas e diversificação sócio-econômica. Além de a biodiversidade é o caminho para o surgimento de novas espécies, a diversidade cultural representa o potencial criativo da sociedade mundial. Mesmo dentro de cada disciplina, uma perspectiva mais abrangente pode transbordar os limites disciplinares. (COLLADO RUANO, 2013, tradução nossa).

Um exemplo típico da necessidade do emprego da transdisciplinaridade, pela própria natureza da área, é a astrobiologia. "Surgiu com o propósito de estudar a vida no universo usando ferramentas da metodologia científica atual tendo como ponto de partida a vida terrestre perspectiva" (SANTOS et al., 2016, tradução nossa). Ainda segundo estes autores, "a ascensão dos estudos astrobiológicos é explicitamente baseada

numa abordagem transdisciplinar. Isso lembra a revolução copernicana, que erodiu a base de uma visão aristotélica fechada e reforçou a noção de que as fronteiras entre as disciplinas são artificiais”. “A transdisciplinaridade não só leva à expansão dos horizontes de disciplinas, promovendo sua interação, mas também transforma e fortalece os atores da pesquisa da transdisciplinaridade, que têm uma variedade de experiência”, conforme Santos (apud ROSENFELD, 1992).

Assim, a transdisciplinaridade implica em uma mudança de paradigma. Trata-se de uma mudança epistemológica e não simplesmente metodológica.

Para efeito didático, no ensino tradicional, é habitual isolar os objetos (do seu meio ambiente), separar as disciplinas (em vez de reconhecer suas correlações), dissociar os problemas (em vez de reunir e integrar). Reduz-se o complexo ao simples, isto é, separa-se o que está ligado; decompõe-se, e não se recompõe; elimina-se tudo o que causa desordens ou contradições em nosso entendimento".

O indivíduo do terceiro milênio está exposto a problemas cada vez mais complexos. Estes podem estar ligados a própria complexidade do inter-relacionamento dentro da sociedade humana ou através do grau de especialização atingido pelo conhecimento científico da humanidade.

O fato é que o ser social deste novo milênio, caracterizado pela era da informação, do avanço tecnológico diuturno, da capacidade de interconexão em rede e de outras propriedades que caracterizam os paradigmas que constituem essa nova era, precisa encontrar na escola, seu ente social para a formação, o aparato técnico-científico-social capaz de o "cunhar" para a sua participação social.

Pietrocola et al. (2013) ressaltam os benefícios da abordagem histórica na educação na área de ciências:

A inserção de uma perspectiva histórica no ensino de Ciências ajuda na compreensão dos conteúdos pelos alunos, na medida em que traz a origem dos conceitos, contextualiza o conhecimento e apoia a interdisciplinaridade.

A história favorece a concepção da Ciência como um empreendimento humano na busca por respostas a questões do mundo natural e da realidade do seu tempo, e que, por isso, deve ser considerada como parte integrante da nossa cultura.

2.2 Abordagem Histórica.

O desenrolar narrativo da descoberta e da evolução das investigações sobre o Mecanismo de Antikythera permitem uma abordagem interdisciplinar e transdisciplinar do tema. Além dos fatos históricos da própria ciência, a história da civilização helenística, pode ser abordada, bem como dados do contexto geográfico da Magna Grécia à época. Os aspectos sociais e linguísticos referentes às civilizações mediterrâneas e as características das artes a elas relacionadas são também passíveis de análise. Sem dúvida, porém, as ciências exatas como a astronomia, a física e a matemática são favorecidas de um modo privilegiado no desenvolver do tema.

Assim, exatamente por sua natureza complexa em relação à sua confecção e misteriosa em relação à sua função e origem, o Mecanismo de Antikythera é um recurso educativo e ferramenta singular. É apropriado para o ensino de modelagem da natureza por meio de leis, métodos matemáticos e a tradução de movimentos das engrenagens em matemática. Ao mesmo tempo, concentra a nossa atenção no fundo cultural e tecnológico da época e da região onde ele surgiu.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta consiste na narrativa histórica da descoberta do Mecanismo de Antikythera, das investigações da sua estrutura e funcionalidade e na apresentação dos fundamentos da astronomia a ele associados, adicionando abordagem de aspectos históricos, geográficos, tecnológicos e de arte relevantes, assinalando as implicações educacionais da análise e contextualização do instrumento.

Dentro do tema, há evidentemente uma profusão de elementos históricos, geográficos, tecnológicos e de arte que podem ser abordados. Há, porém que se ser criterioso tanto para não se afastar demasiado do foco quanto pela questão da inexorável limitação do tempo do curso. Pela própria conceituação de transdisciplinaridade, grande parte desses elementos, principalmente os históricos, encontram-se entremeados com os demais tópicos do texto. Entretanto será dedicado um capítulo sobre eles.

3.1 Relato da Descoberta e Recuperação do Artefato

Em outubro de 1900, uma equipe de mergulhadores coletava esponjas do mar ao sul da Grécia, ao norte de ilha de Creta, de elevada importância comercial à época, pois, devido à sua estrutura macia, eram utilizadas por centenas de anos como material de limpeza, na manufatura de pincéis, como revestimento de cerâmica e até como antibiótico. Uma tempestade em mar aberto levou-os a se abrigar nas costas da pequena ilha de Antikythera (Αντικύθηρα), oposta à ilha grega de Khytera (fig. 3.1). Quando o tempo se estabilizou eles mergulharam no local e lá descobriram um antigo naufrágio contendo estátuas de mármore e de bronze, além de inúmeros objetos como ânforas, utensílios e moedas antigas. Tratava-se de um navio romano com cerca de 50 metros de comprimento que retornava a Roma com riquezas trazidas de cidades gregas.



Figura 3.1 – Mapa do Mar Mediterrâneo, ilustrando a Grécia e as ilhas de Creta, Kythera e Antikythera, esta situado do lado oposto.

Um aglomerado de peças de bronze severamente corroídas, contendo rodas de engrenagem, foi também resgatado, porém não recebeu especial atenção (fig. 3.2). Sua importância e complexidade não foram compreendidos até décadas mais tarde.



Figura 3.2 - Fragmentos remanescentes (82) do Mecanismo de Antikythera, que se encontram em exposição permanente no Museu Nacional de Arqueologia de Atenas – (NATIONAL ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF ATHENS, 2008).

3.2 Datação dos Achados

Embora a recuperação de artefatos do naufrágio tenha sido altamente bem-sucedida e realizada em dois anos, sua datação revelou-se difícil e levou muito mais tempo. Baseado em trabalhos relacionados com procedências conhecidas, concluiu-se que algumas das estátuas de bronze datavam do século IV AEC enquanto as estátuas de mármore revelaram ser réplicas de obras anteriores ao século I AEC. As ânforas foram datadas entre os anos 86 e 60 AEC e o madeirame do navio, através do radiocarbono-14, em 200 ± 45 AEC (KALTSAS; VLACHOGIANNI; BOUYIA, 2012).

Jacques Cousteau e sua equipe visitou os destroços em duas oportunidades, em 1953 e 1976 e recuperou moedas datadas entre 76 e 67 AEC, evidenciando o período mais provável da ocorrência do naufrágio (ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT, 2005).

A construção do mecanismo é atualmente estimada entre 150 e 100 AEC (PRICE, 1974).

3.3 Investigações sobre a estrutura e a composição do mecanismo utilizando tecnologias modernas

As riquezas dos objetos de arte monopolizaram as atenções dos pesquisadores por muito tempo e os remanescentes do Mecanismo de Antikythera ficou relegado à obscuridade durante décadas.

As primeiras hipóteses sobre o engenho eram de que se tratava de algum instrumento de navegação, alguma forma de astrolábio, que somente surgiu muitos séculos depois (625 EC).

Embora seu estado avançado de corrosão tenha tornado impossível realizar uma análise precisa da sua composição, os testes indicaram que o dispositivo foi feito de uma liga de bronze com baixa abundância de estanho (95% cobre, 5% de estanho). O suporte do

mecanismo, todas as engrenagens, eixos e as fixações são feitas dessa liga. O dispositivo foi originalmente alojado em uma caixa de madeira que praticamente se desintegrou quando foi removido do mar e hoje somente restam poucos fragmentos da madeira (ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT, 2005).

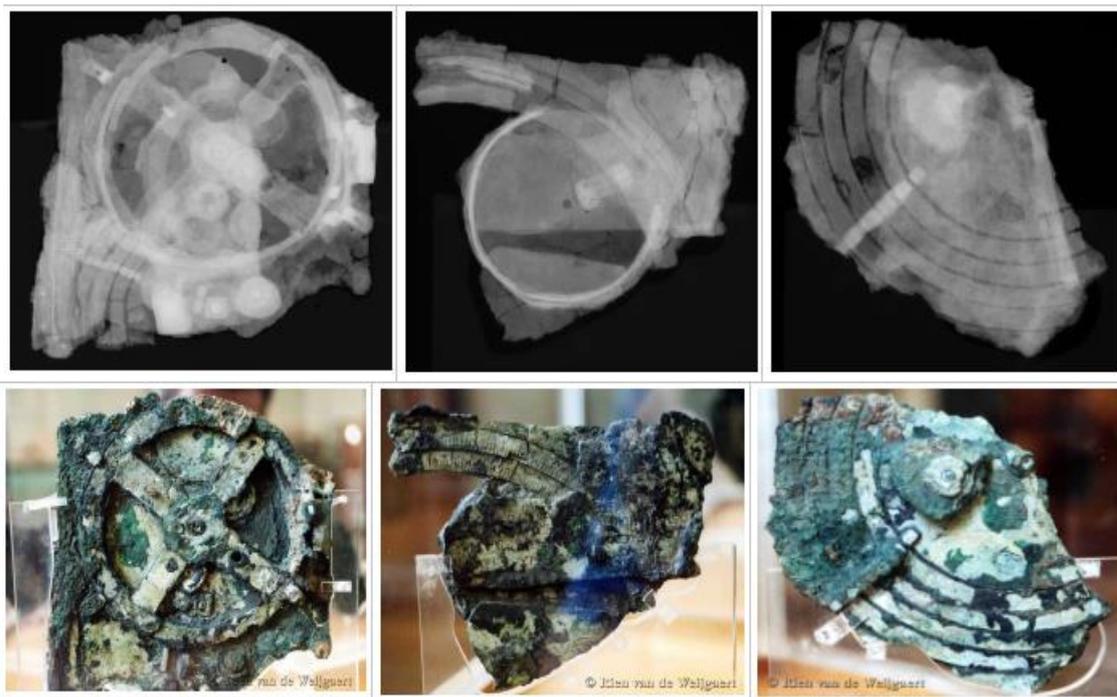


Figura 3.3 - Fragmentos maiores do Mecanismo de Antikythera e as correspondentes imagens de raios-X.

Foram realizadas 3 importantes análises com raios-X do Mecanismo de Antikythera desde a década de 1970. Além disso, o Museu Nacional de Arqueologia de Atenas efetuou estudos de raios-X de alguns fragmentos individuais (fig. 3.3). Historicamente, muitos dos mais importantes avanços na sua compreensão vieram dos raios-X.

As primeiras teorias da origem deste mecanismo foram baseadas nas letras gravadas nos fragmentos e em descrições de dispositivos mecânicos em antigos textos gregos e romanos. O primeiro estudo bem-sucedido deveu-se ao físico e historiador científico britânico Derek de Solla Price (1922-1983), familiarizado com a construção de

astrolábios medievais. Algumas inscrições astronômicas visíveis na parte externa do dispositivo chamaram sua atenção e o instigaram a desvendar do que se tratava.

Price (1959) passou três décadas analisando cerca de 80 fragmentos de bronze e, por meio de radiografias foi capaz de contabilizar os dentes da maioria das engrenagens. Ele identificou uma engrenagem com 127 dentes formados por triângulos equiláteros e a associou ao ciclo metônico que é composto por 254 meses siderais, o dobro desse número. Concluiu que era um instrumento para calcular eventos astronômicos e construiu um modelo bastante realista do mecanismo com dimensões de $34 \times 18 \times 9$ cm, com poucas inconsistências. Em 1959 publicou na revista *Scientific American* o artigo "An Ancient Greek Computer" (Um Computador da Antiguidade Grega) descrevendo o mecanismo como uma máquina calendário, um instrumento para calcular os movimentos da Lua, do Sol e dos planetas, o que o tornaria realmente no primeiro planetário mecânico conhecido, e também um computador analógico.

Essa postulação era tão inesperada para os especialistas da época que levou um pesquisador a conjecturar que alguém na idade média poderia ter derrubado um instrumento medieval coincidentemente no local onde o naufrágio ocorreu. A noção de que os gregos antigos pudessem ter concebido um mecanismo tão sofisticado não se ajustava ao padrão de tecnologia conhecida na época.

Em 1971 o Oak Ridge National Laboratory nos Estados Unidos publicou um artigo sobre o uso de raios-gama de alta energia para analisar o interior de estruturas metálicas (MARCHANT, 2006). Price e Charalambos Karakalos, professor de Física Nuclear da Comissão Nacional de Energia Atômica da Grécia, usaram o método para obter imagens de gamagrafia e puderam elucidar o arranjo das engrenagens no interior do artefato (MARCHANT, 2006).

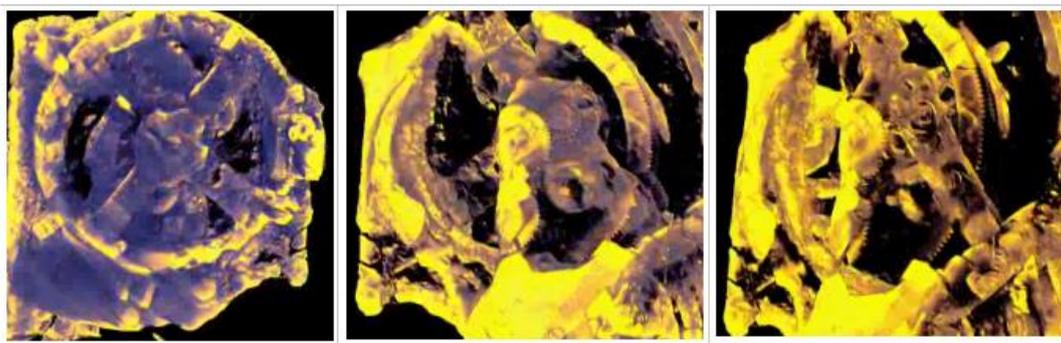


Figura 3.4 - Tomografias computadorizadas do fragmento A, o maior encontrado.

A estrutura mais detalhada do mecanismo foi revelada com a técnica de tomografia tridimensional computadorizada (WRIGHT, M.T., BROMLEY, A. G.; MAGKOU, E., 1995), mostrada na figura 3.4.

Em 2005 foi criado o Antikythera Mechanism Research Project – AMRP – (ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT, 2005), uma colaboração internacional de pesquisadores formada por arqueólogos, astrônomos, engenheiros de computação e físicos, apoiada por empresas de alta tecnologia, com a missão de investigar o dispositivo. Três sofisticadas técnicas computacionais de reconstrução de imagens foram utilizadas: tomografia tridimensional computadorizada com microfoco de raios-X, mapeamento polinomial de textura e fotografia digitalizada de alta-resolução.

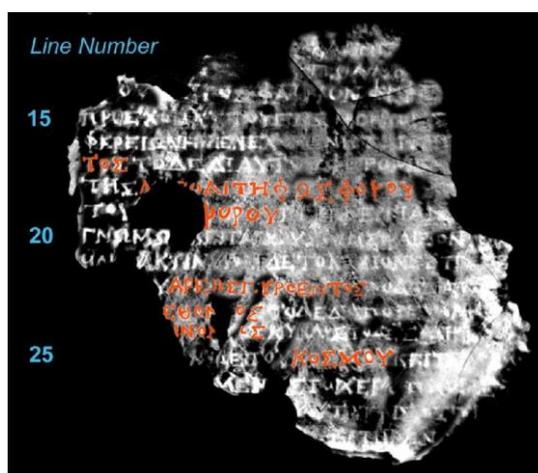


Figura 3.5 – Imagem composta de uma fatia de tomografia computadorizada com inscrições da tampa traseira do instrumento (FREETH; JONES, 2012).

O mapeamento polinomial de textura (MPT) é uma técnica de imageamento desenvolvida pelos laboratórios de pesquisa da Hewlett Packard (HP) que consiste em obter uma série de imagens de um objeto em uma sala escura, com uma câmera em posição fixa, sendo o objeto iluminado variando os ângulos, as intensidades e os comprimentos de onda. Em uma imagem convencional, cada pixel contém valores estáticos de vermelhos, verdes e azuis; em um MPT, cada pixel contém uma função simples que especifica os valores de vermelhos, verdes e azuis do pixel em função de dois parâmetros independentes, L_u e L_v , (MALZBENDER, 2000).

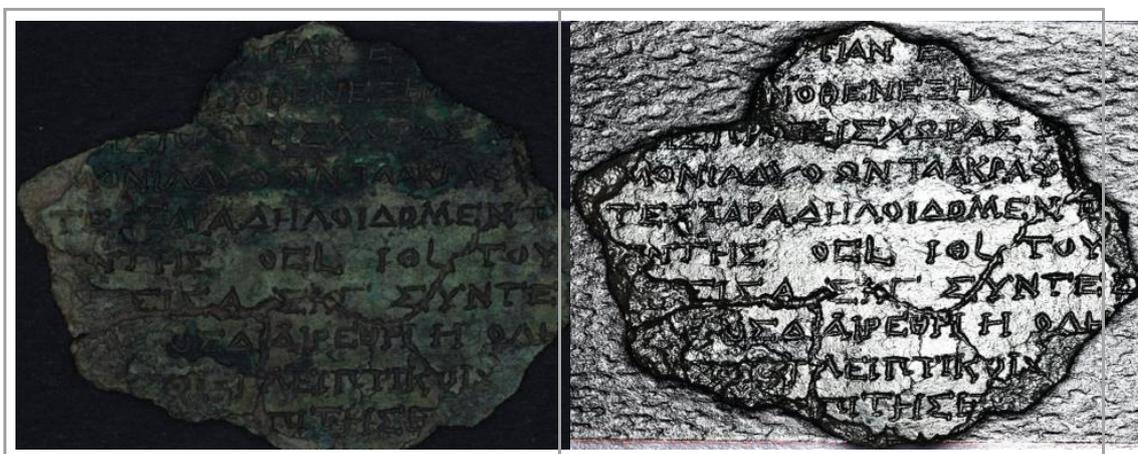


Figura 3.6 - Mapeamento polinomial de textura evidencia as inscrições dos fragmentos mascaradas pela deterioração pelo tempo.

Estas técnicas permitiram o estudo detalhado das secções transversais do dispositivo e revelaram cerca de 3 mil caracteres gregos inscritos (fig. 3.5 e 3.6). O estudo confirmou que o dispositivo era de fato um computador de calendário e revelou que engrenagens modelam de uma forma sofisticada o movimento da anomalia lunar. Um modelo diferente e mais preciso do mecanismo formado por 35 engrenagens foi reconstruído considerando 29 das 30 engrenagens encontradas nos fragmentos (EARL, G. et al., 2010).

Todas as suas informações estão escritas no grego koiné (FREETH; JONES, 2012), que se tornou o dialeto comum na Grécia helenística, no século I AEC.

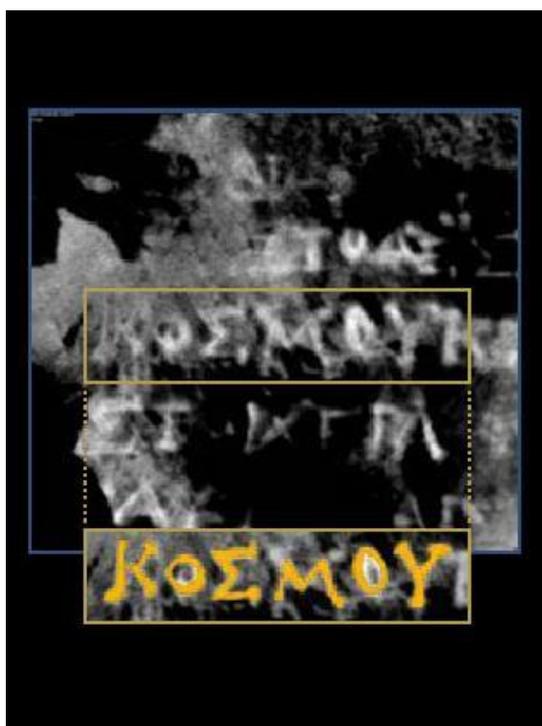


Figura 3.7 - Inscrição que se destaca nos fragmentos do artefato: ΚΟΣΜΟΥ, significando “cosmos”

4. FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA

Uma grande quantidade de tópicos referentes a fundamentos de astronomia é factível de serem abordados a partir da estrutura e das funções das distintas partes do Mecanismo de Antikythera reveladas nas investigações ao longo dos mais de 100 anos de sua descoberta, com intuito didático.

Não é objetivo nem pretensão do trabalho atual esgotar as possibilidades mas abordar os mais importantes e evidentes dentro de um escopo básico de um curso sobre o tema. Os tópicos que serão abordados a seguir são:

- Calendário Egípcio de 365 dias e o Ano Solar
- Esfera celeste
- Solstícios, equinócios e as estações do ano
- Lua e suas fases
- Meses lunares
- Eclipse lunar e eclipse solar
- Zodíaco e constelações
- Ciclo metônico
- Ciclo de Saros

4.1 Calendário Egípcio de 365 dias e o Ano Solar

Todas as civilizações sempre tiveram necessidade de usar medidas do tempo e, para isso, têm utilizado ciclos de tempo de natureza astronômica. Assim, os ciclos mais utilizados e seus conceitos têm sido:

- dia - baseado no ciclo do dia e da noite - devido ao movimento de rotação da Terra;
- mês - baseado ciclo da Lua - devido ao movimento orbital da Lua em torno da Terra;

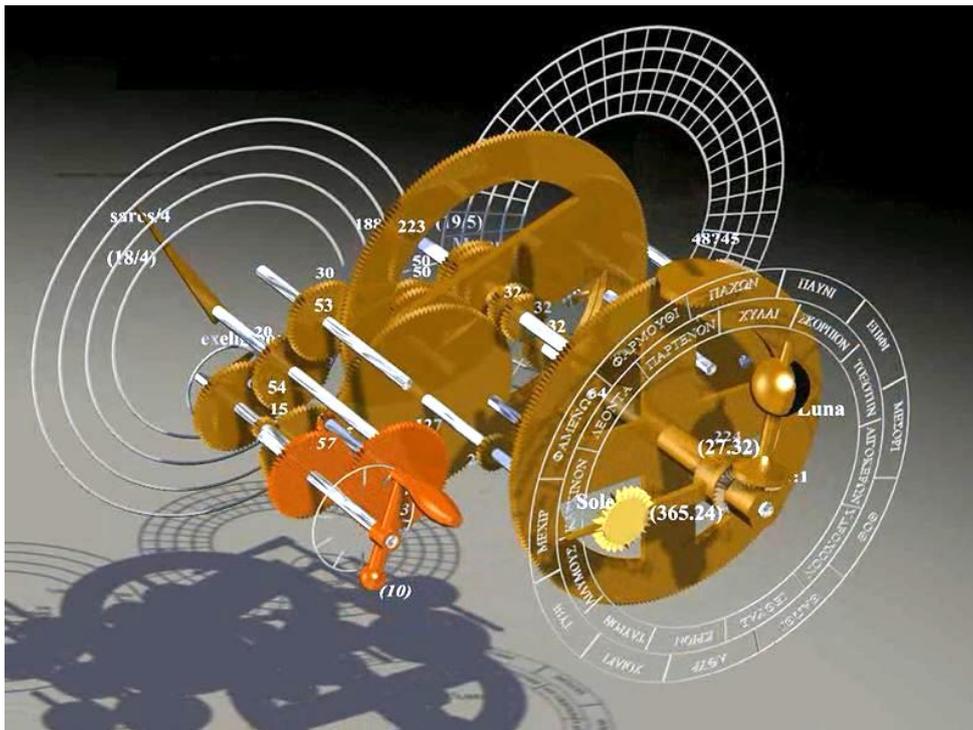


Figura 4.2 – Modelo virtual do Mecanismo de Antikythera disponível em vídeo no website do autor (VICENTINI, 2007).



Figura 4.3 - Ilustração do modelo virtual do mostrador frontal superposto a uma fotografia do fragmento maior (figura montada pelo autor).

Os meses egípcios inscritos no anel externo do mostrador frontal, estavam transcritos no alfabeto grego, conforme se segue:

1. ΘΘΘ (Thoth)
2. ΦΑΩΦΙ (Phaophi)
3. ΑΟΤΡ (Athyr, Hathor)
4. ΧΟΙΑΚ (Choiak)
5. ΤΥΒΙ (Tybi)
6. ΜΕΧΕΙΡ (Mecheir)
7. ΦΑΜΕΝΩΘ (Phamenoth)
8. ΦΑΡΜΟΥΘΙ (Pharmouthi)
9. ΠΑΧΩΝ (Pachon)
10. ΠΑΥΝΙ (Payni)
11. ΕΠΙΦΙ (Eiphi)
12. ΜΕΣΟΡΗ (Mesore)
13. ΣΦΕΝΔΟΝΗ (Epagomene)

Observe que o modelo não inclui o mês epagomeno de 5 dias

Este mostrador também apresentava pelo menos duas hastes, uma com o símbolo do Sol na extremidade que completava um ciclo completo em 365 unidades, representando o **ano solar** e a outra com uma pequena esfera simbolizando a Lua que dava uma volta completa em 27,3 unidades, representando o *mês sideral*. Essa esfera teria uma metade pintada de preto e simularia as fases da Lua (Fig. 4.1).

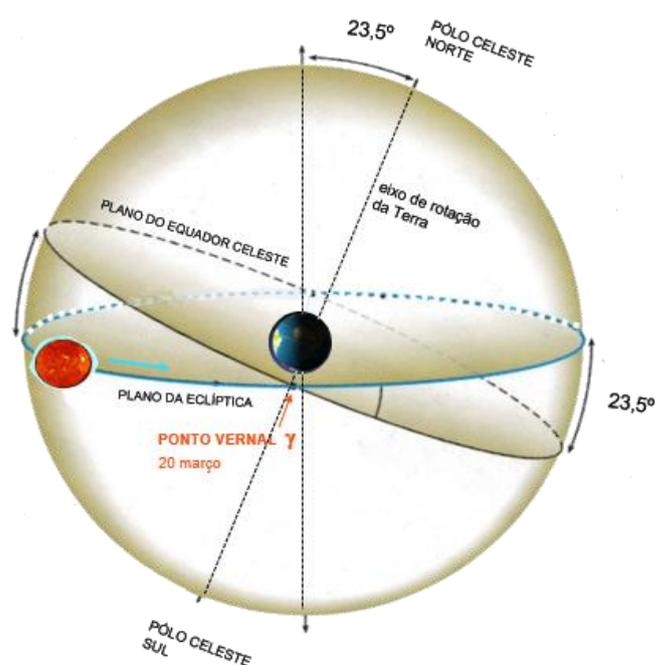
Um **ano solar**, também chamado de **ano tropical**, ou ainda **ano das estações**, é o intervalo de tempo que o Sol, em seu movimento aparente pelo céu, leva para voltar para a mesma posição no ciclo das estações, como observado a partir da Terra. É o tempo entre duas passagens pelo equinócio de primavera, pelo solstício de verão, pelo equinócio de outono ou pelo solstício de inverno, conforme esclarecido mais adiante.

Os dias bissextos eram ignorados. Ptolomeu III tentou introduzir um dia extra a cada quatro anos para corrigir isso, mas os egípcios eram resistentes a esta ideia e não foi implementado até que Augusto introduziu o ano bissexto em 30 AEC. (FREETH;

JONES, 2012). O anel do calendário aparentemente era móvel, de modo que o mecanismo poderia ser reajustado para evitar o atraso de um dia a cada 4 anos.

4.2 Esfera celeste

A esfera celeste é uma esfera abstrata, com um raio arbitrariamente grande, que é concêntrica à Terra. Todos os objetos no céu do observador podem ser concebidos como projetados sobre a superfície interna da esfera celeste, como se fosse a parte inferior de uma cúpula ou uma tela hemisférica (fig. 4.4).



Fundamentos da Astronomia Moderna v 2015.1 ead – Prof. Paulo Leme

Figura 4.4 – Esfera celeste (figura elaborada pelo autor).

Na esfera celeste estão integradas o *plano do equador celeste* e o *plano da eclíptica*, definido como o plano que contém a trajetória aparente do Sol ao longo do ano (fig. 4.4). As trajetórias de todos os planetas do Sistema Solar estão aproximadamente no plano da eclíptica.

O eixo de rotação da Terra forma um ângulo de cerca de $23,5^\circ$ com a reta normal ao plano da eclíptica e, portanto, os planos do equador celeste e da eclíptica também formam um ângulo de $23,5^\circ$ entre si.

Os Polo Celeste Norte e o Polo Celeste Sul estão definidos pelas respectivas intersecções entre o eixo de rotação da Terra com a esfera celeste.

O Ponto Vernal, representado pela letra grega gama (γ) na figura 4.4, é definido pela intersecção da trajetória do Sol com o plano do equador celeste e marca o *equinócio de primavera* no hemisfério norte (*equinócio de outono* no hemisfério sul), que atualmente ocorre por volta do dia 20 de março.

4.3 Equinócios, solstícios e as estações do ano

O eixo de rotação da Terra não forma um ângulo reto com o plano da sua trajetória em torno do Sol, mas está inclinada de um ângulo aproximado de $23,5^\circ$, conforme ilustrado na figura 4.5. Esse ângulo é mantido em toda sua trajetória ao longo do ano.

Equinócios

Apenas duas vezes ao ano o eixo da Terra não é inclinado em relação ao raio conectando a Terra ao Sol, resultando em aproximadamente a mesma quantidade de luz do dia em todas as latitudes. Consequentemente a duração da noite e do dia são praticamente iguais. Estes eventos são referidos como *equinócios*. A palavra equinócio é derivada do latim *aequus* (igual) e *nox* (noite). No equador terrestre, o Sol incide perpendicularmente à Terra ao meio-dia, nessas datas.

Os equinócios acontecem em março e setembro, sendo que as datas variam pouco a cada ano. A tabela 4.1 indica as datas e horas (em formato Tempo Universal – UT), em ocorrem os equinócios e solstícios entre os anos de 2006 e 2025.

O equinócio de março marca o início do outono no hemisfério sul (primavera, no hemisfério norte). No sul noites se tornarão progressivamente mais longas (no norte, mais curtas), até atingir sua máxima duração no solstício de inverno em junho (solstício de verão no norte).

O equinócio de setembro marca o início da primavera no hemisfério sul (outono, no hemisfério norte).

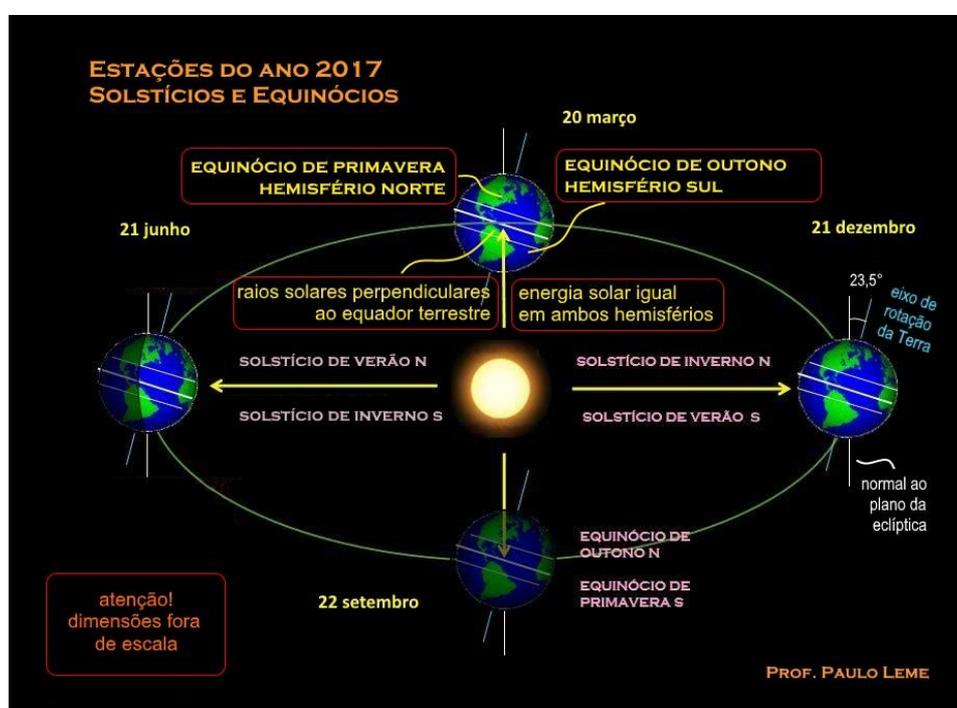


Figura 4.5 - Ilustração dos solstícios e equinócios (figura elaborada pelo autor).

Solstícios

O *solstício* de verão no hemisfério sul (*solstício* de inverno no hemisfério norte), é o momento em que a inclinação do eixo da Terra é máxima, com o Polo Norte situado em direção oposta ao do Sol, em dezembro. Nesse dia, em 21 ou 22 de dezembro, o Sol se encontra diretamente sobre o Trópico de Capricórnio, que está localizado a 23,5° latitude sul. Para cada lugar ao sul do Trópico de Capricórnio, o Sol está no seu ponto mais alto do céu do ano. É o dia mais longo do ano no hemisfério sul e o mais curto, no hemisfério norte.

O *solstício* de inverno no hemisfério sul (*solstício* de verão no hemisfério norte), no mês de junho, marca o dia mais curto e a noite mais longa do ano. No hemisfério norte, a situação é inversa. Nesse momento, o Sol está diretamente sobre o Trópico de Câncer, que está localizado a 23,5° ao norte do Equador.

Data e hora UTC dos solstícios e equinócios entre 2006 e 2025 ^[1]								
Ano	Equinócio Março		Solstício Junho		Equinócio Setembro		Solstício Dezembro	
	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora	Dia	Hora
2006	20	18:26	21	12:26	23	04:03	22	00:22
2007	21	00:07	21	18:06	23	09:51	22	06:08
2008	20	05:48	20	23:59	22	15:44	21	12:04
2009	20	11:44	21	05:45	22	21:18	21	17:47
2010	20	17:32	21	11:28	23	03:09	21	23:38
2011	20	23:21	21	17:16	23	09:04	22	05:30
2012	20	05:14	20	23:09	22	14:49	21	11:11
2013	20	11:02	21	05:04	22	20:44	21	17:11
2014	20	16:57	21	10:51	23	02:29	21	23:03
2015	20	22:45	21	16:38	23	08:21	22	04:48
2016	20	04:30	20	22:34	22	14:21	21	10:44
2017	20	10:29	21	04:24	22	20:02	21	16:28
2018	20	16:15	21	10:07	23	01:54	21	22:23
2019	20	21:58	21	15:54	23	07:50	22	04:19
2020	20	03:50	20	21:44	22	13:31	21	10:02
2021	20	09:37	21	03:32	22	19:21	21	15:59
2022	20	15:53	21	09:14	23	0:40	21	21:48
2023	20	21:24	21	14:58	23	06:50	22	03:27
2024	20	03:06	20	20:51	22	12:44	21	09:21
2025	20	09:01	21	02:42	22	18:19	21	15:03

Tabela 4.1 – Datas e horários de ocorrência dos equinócios e solstícios entre os anos de 2006 e 2025. Fonte: Wikipedia (2006).

4.4 Lua e suas fases

A Lua está representada no mostrador frontal no Mecanismo de Antikythera por uma pequena esfera na extremidade de um ponteiro, tendo uma metade pintada de branco e a

outra metade de preto, representando o dia e a noite (fig. 4.2 e 4.3). Essas metades, em rotação, representam as **fases da Lua**.

As **fases da Lua** referem-se à mudança aparente da porção visível da Lua, como vista por um observador na Terra, à medida que a Lua orbita a Terra. Devem-se à geometria relativa entre a Lua, o Sol e a Terra.

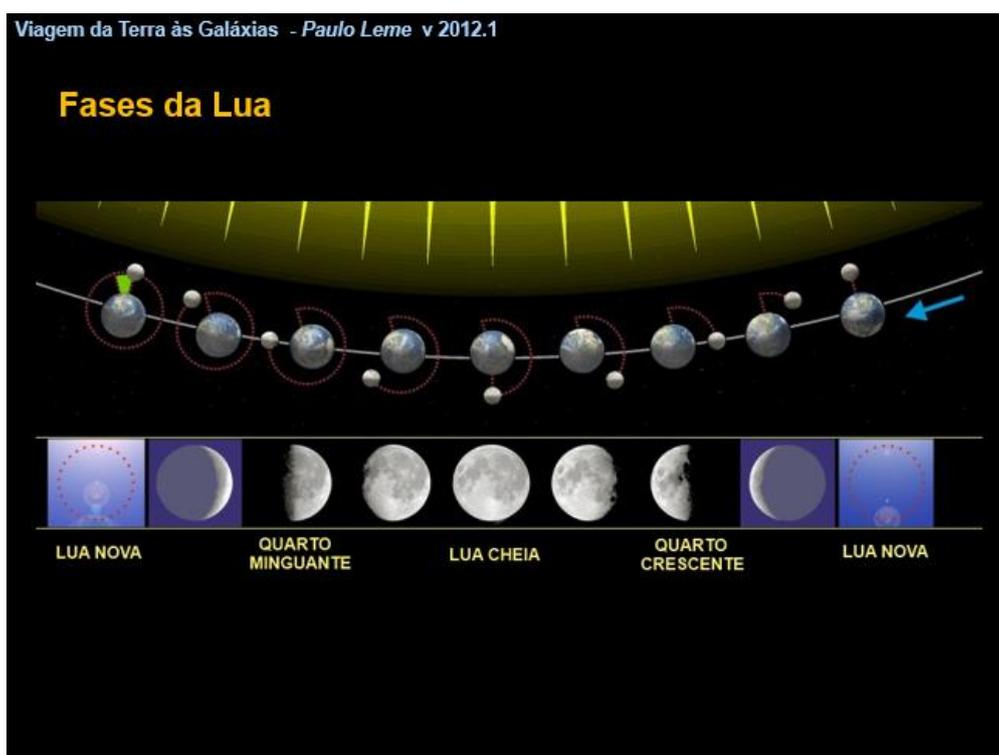


Figura 4.6 - Diagrama representando a posição da Lua e suas respectivas fases (vistas desde o hemisfério sul). No início a fase é lua nova e retorna a ela ao final do ciclo. Fonte: Orion 8 (2010) (figura adaptada pelo autor).

A figura 4.6 descreve as fases da Lua, observadas no hemisfério sul, conforme a Terra se desloca em sua órbita em torno do Sol da esquerda para a direita. Quando a Lua se encontra entre o Sol e a Terra (primeira posição), sua face não iluminada fica totalmente voltada para a Terra, de forma que se torna impossível sua observação e a fase é chamada de **lua nova**. À medida que a Lua se desloca em torno da Terra (sentido horário na figura), uma porção iluminada crescente passa a ser vista. Quando o ângulo

Lua-Terra-Sol se torna 90° , a metade da Lua passa a ser visível da Terra (terceira posição a partir da esquerda) e a fase da lua é chamada de **quarto crescente**. Quando a Lua, a seguir, passa a ocupar o lado oposto ao Sol em relação à Terra (quinta posição na figura), todo seu disco parece iluminado e a fase é denominada **lua cheia**. A fase seguinte chama-se **quarto minguante**, na qual a outra metade da Lua passa a ser visível da Terra, na qual o ângulo Lua-Terra-Sol se torna 90° , (sétima posição). O ciclo é completado quando a Lua passa novamente a ocupar a posição entre a Terra e o Sol, chegando novamente à fase **lua nova**. Note que, ao final, o destaque em verde na figura representa a porção da órbita a mais que a Lua teve que executar para chegar novamente à fase nova, por conta do movimento de ambos os astros ao redor do Sol. No Brasil as outras posições (fases intermediárias, na figura) não têm nome especial.

4.5 Meses lunares

Mês sideral e mês sinódico

Em relação à esfera celeste, a lua completa sua órbita (360°) em torno da Terra em 27,321661 dias, ou 27d 7h 43m 11.6s (fig. 4.7), definindo o **mês sideral**. (LANG, 2012, p. 57) Pode-se imaginar o **mês sideral** é como o tempo que a Lua leva para passar por duas vezes consecutivas diante de uma estrela considerada como "fixa".

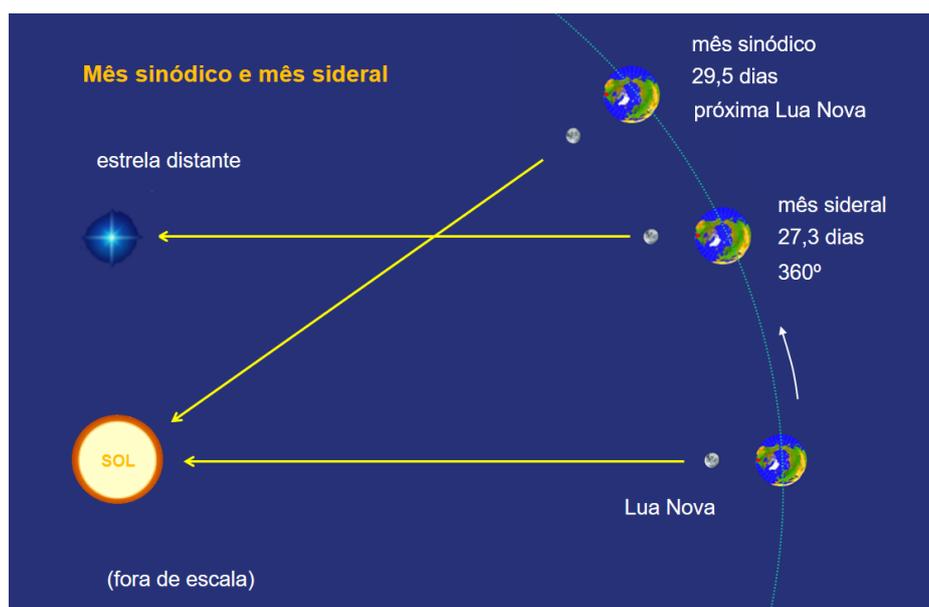


Figura 4.7 - Mês sinódico e mês sideral (figura elaborada pelo autor).

Mas devido ao movimento da Terra em torno do Sol, nesse período a Lua ainda não completa um ciclo entre duas fases iguais consecutivas, como de *lua nova a lua nova*. Para completar o ciclo, são necessários mais cerca de 2,2 dias (fig. 4.7). Chama-se de **mês sinódico**, o tempo de um ciclo completo entre duas fases iguais consecutivas da Lua. Também recebe o nome de **lunação** e tem duração média de longo termo de 29.530588 dias, ou 29d 12h 44m 2.8s,. O nome provém do termo sínodo, do grego σύνοδος (*sínodos*), que significa "caminhar juntos", "encontro" ou "reunião" (HOUAISS, 2009), referindo-se que a posição geométrica relativa entre Sol, Terra e Lua se repete após esse período.

Como já referido anteriormente, o ponteiro que representa a Lua no Mecanismo de Antikythera, por sua vez, faz um giro completo de 360° no período de 27,3 dias, simulando um **mês sideral**.

Sistema excêntrico do mecanismo de engrenagens

Através das imagens de tomografia dos fragmentos do Mecanismo de Antikythera identificou-se um sistema excêntrico de 4 engrenagens com 50 dentes cada (FREETH, 2006), uma evidência que o mecanismo foi elaborado para reproduzir o **movimento anomalístico** da Lua (fig. 4.8). Astrônomos caldeus já no século 10 AEC tabelavam o movimento diário da Lua por longos períodos e tinham conhecimento de que o movimento da Lua não é uniforme, mas que sua velocidade varia ao longo da sua trajetória. Essa é a razão da expressão *movimento anomalístico*.

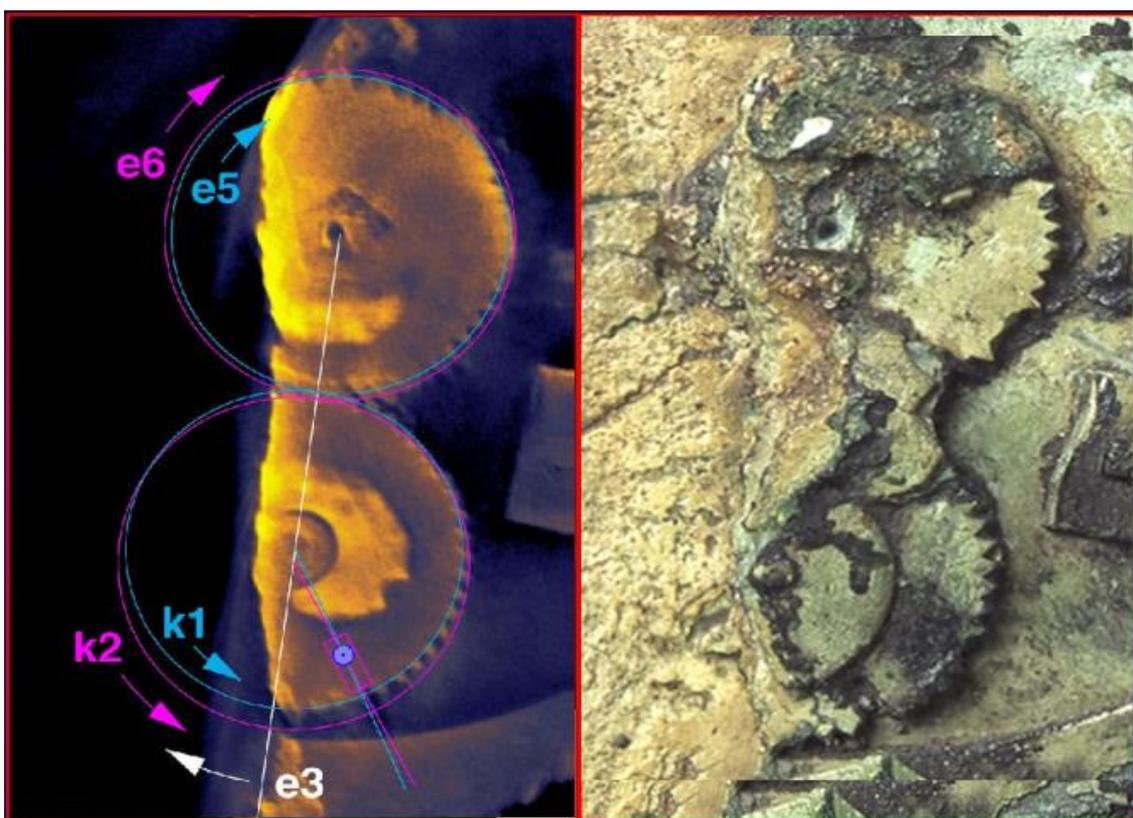


Figura 4.8 – Imagem de tomografia (com cores falsas) do fragmento com o sistema excêntrico de 4 engrenagens que reproduziam o movimento anomalístico da Lua (FREETH, 2006).

Apolônio de Perga (262 AEC – 190 AEC), geômetra e astrônomo grego conhecido por suas teorias sobre as seções cônicas, propôs um modelo geométrico para explicar o movimento anomalístico. O modelo propõe que a Lua se move em um círculo com velocidade constante, o *epiciclo*, que por sua vez se move ao longo de um círculo maior chamado de *deferente* (fig. 4.9). Apesar do sistema ser considerado geocêntrico, a órbita circular da Lua não seria centrada na Terra, mas deslocado para um ponto chamado de excêntrico e , em consequência, a Lua se move em uma trajetória oval.

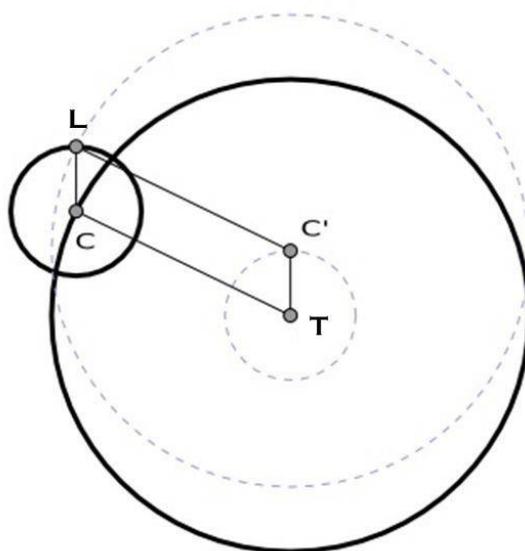


Figura 4.9 – Modelo de Apolônio, onde T representa a Terra e L a posição da Lua que gira no epiciclo em torno do ponto C, o deferente da Lua.

O modelo de epiciclos foi usado também para as órbitas dos planetas e explicava seus movimentos retrógrados.

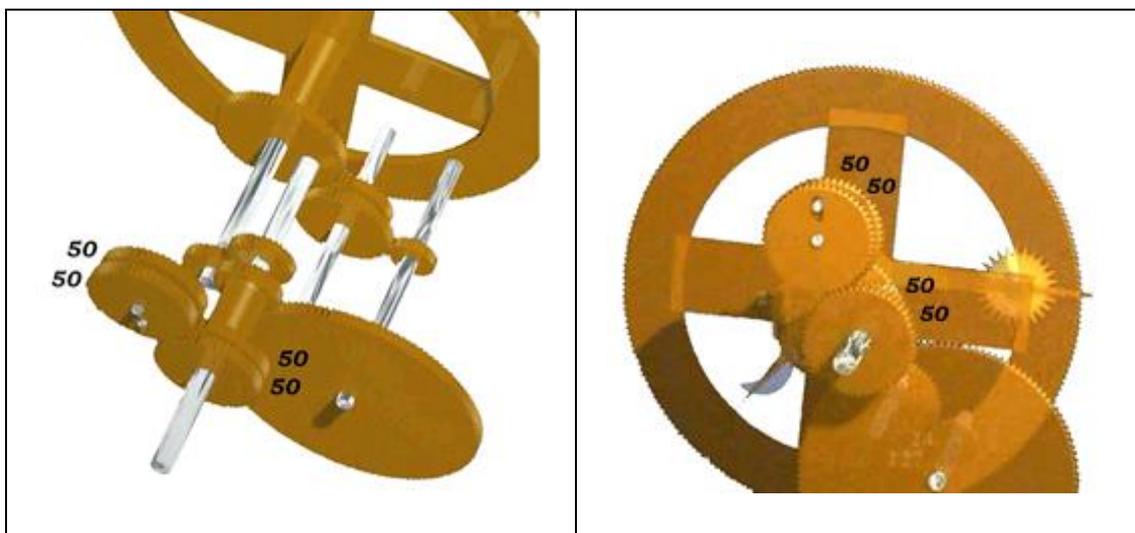


Figura 4.10 – Reconstrução virtual do sistema excêntrico de 4 engrenagens com 50 dentes cada (figuras adaptadas pelo autor).

O sistema excêntrico de 4 engrenagens que reproduziam o movimento anomalístico da Lua evidencia, conseqüentemente os pontos da sua trajetória em que se encontra mais próximo da Terra, o **perigeu**, e o que se encontra mais afastado desta, o **apogeu** (fig. 4.11 e 4.12).

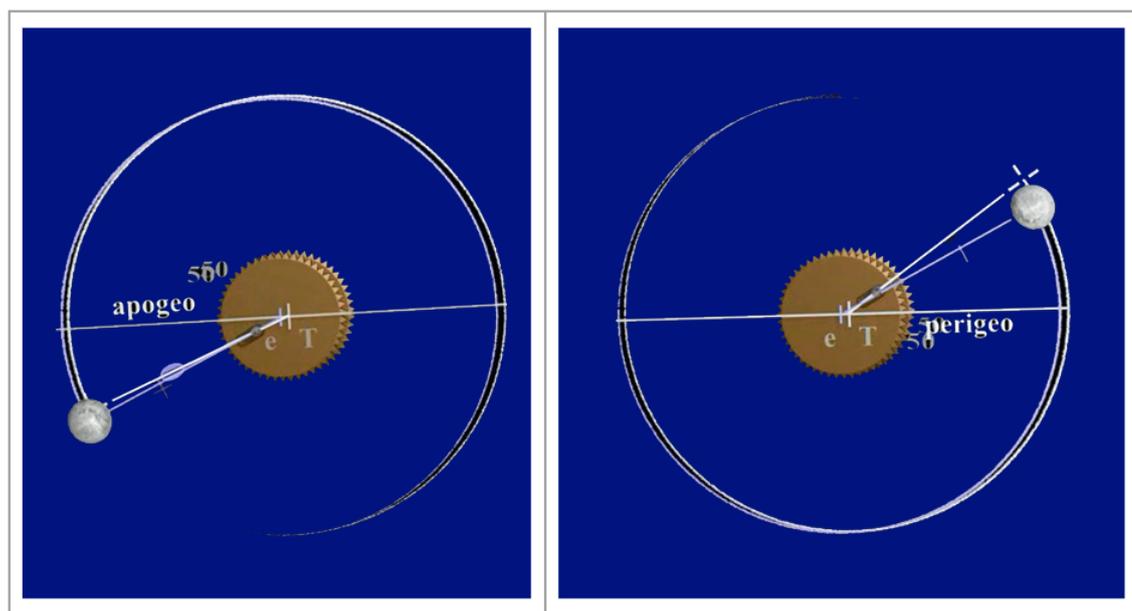


Figura 4.11 - Apogeu e perigeu da trajetória da Lua reproduzida pelo sistema excêntrico de engrenagens (FREETH, 2006).

A distância média da Lua à Terra (fig. 4.12) no perigeu é de 362.600 km (356.400 - 370.400 km) e no apogeu é de 405.400 km (404.000 - 406.700 km). Isso implica que a Lua no perigeu apresenta um diâmetro aparente cerca de 12% maior do que no apogeu.



Figura 4.12 - Comparação dos tamanhos observados da Terra quando a Lua se encontra no perigeu e no apogeu (figura elaborada pelo do autor).

Mês anomalístico

O **mês anomalístico** é o tempo médio que a Lua leva entre 2 perigeus sucessivos e seu valor é hoje conhecido: 27,554551 dias = 27d 13h 18m 33.2s. Esse período foi calculado geometricamente por Hiparco com um erro de menos de um segundo (FREETH, 2006).

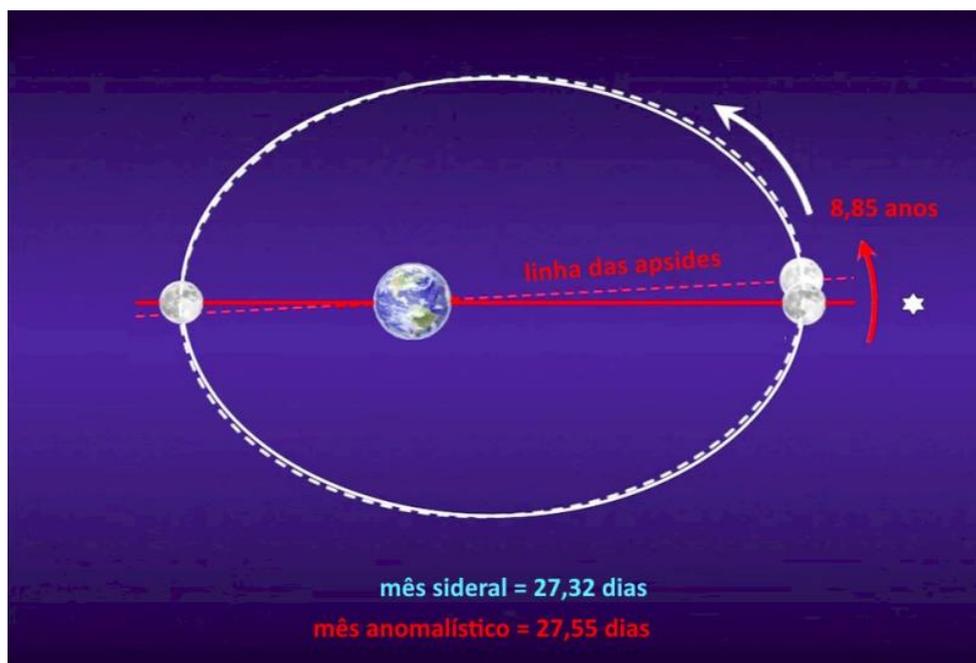


Figura 4.13 - Precessão das apsides da Lua (sentido antihorário nesta figura) tem um período de 8,85 anos. Fonte: Fassbind (2015).

A linha imaginária entre o perigeu e o apogeu é chamada de *linha das apsides*. Hiparco inferiu também que ela sofre um avanço, ou seja, movimento de precessão em sentido direto, no mesmo sentido que os movimentos aparentes do Sol e da Lua relativos às estrelas fixas, e estimou o período desse movimento como 8,85 anos (fig. 4.13).

4.6 Eclipse lunar e eclipse solar

Os eclipses têm sido objeto de admiração e encantamento, desde os primórdios das civilizações. Os babilônios observavam e registravam o fenômeno em tabuletas de argila (fig. 4.14), sendo o mais antigo eclipse solar total reportado em 3 de maio de 1375 AEC (DE JONG; VAN SOLDT, 1989).



Figura 4.14 - Tabuleta da argila da Babilônia com registros de eclipses solares entre 518 e 465 AEC. Fonte: NASA (2006).

Um **eclipse** é o bloqueio temporário parcial ou total da luz de um corpo celeste por outro. O termo é derivado do grego antigo ἔκλειψις (*ékleipsis*), que significa "deixar para trás", "deixar de existir" ou ainda "estar ausente". Expressões como "o dia em que o Sol desapareceu" ou "o dia virou noite", eram comuns nos registros dos eclipses solares da antiguidade (DE JONG; VAN SOLDT, 1989).

Sombra e penumbra

O Sol iluminando a Terra gera, no lado oposto, dois tipos de sombra, a **umbra** e a **penumbra**. Isso se dá pelo fato do disco solar ser uma fonte luminosa extensa, com diâmetro aparente de $0,5^\circ$ e não puntiforme (fig. 4.15).

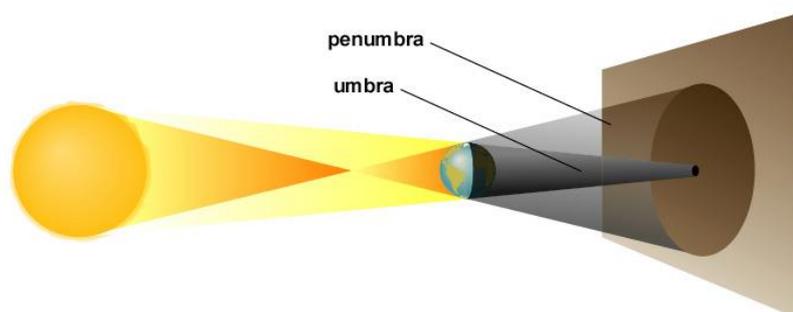


Figura 4.15 – O Sol projeta a umbra e a penumbra, duas regiões de sombra distintas atrás da Terra

A **umbra** é o núcleo interno de escuridão total da sombra. Nela o disco do Sol está completamente bloqueado.

A **penumbra** é a parte externa adjacente à umbra, em sombra parcial. O disco do Sol é bloqueado só parcialmente,

Eclipse Lunar

Eclipses lunares ocorrem quando a Lua é ocultada pela sombra da Terra (fig. 4.16). Eles só ocorrem, portanto, durante a fase da *lua cheia*, quando a Terra está entre o Sol e a Lua.

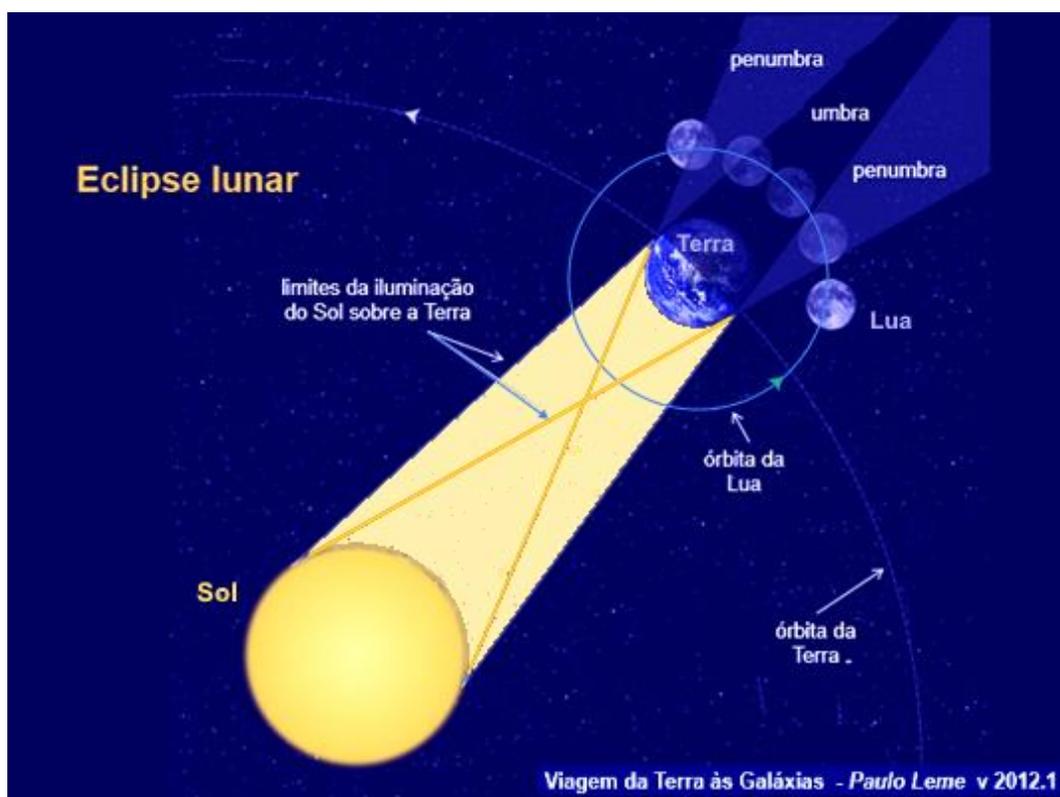


Figura 4.16 – Eclipse lunar. Fonte: Las Cumbres Observatory (2010).

Um eclipse da Lua ou do Sol ocorre quando a Terra, a Lua e o Sol estão alinhados.

Há 3 tipos de eclipse lunar (fig. 4.17):

- *eclipse lunar total*, em que a Lua inteira passa por dentro da umbra da Terra. Esse trânsito na umbra pode durar até 1 hora e 40 minutos e o eclipse todo pode durar até cerca de 6 horas;
- *eclipse lunar parcial*, onde apenas parte da Lua entra na umbra;
- *eclipse lunar penumbral*, no qual a Lua não chega a tocar a umbra e só passa através da penumbra.

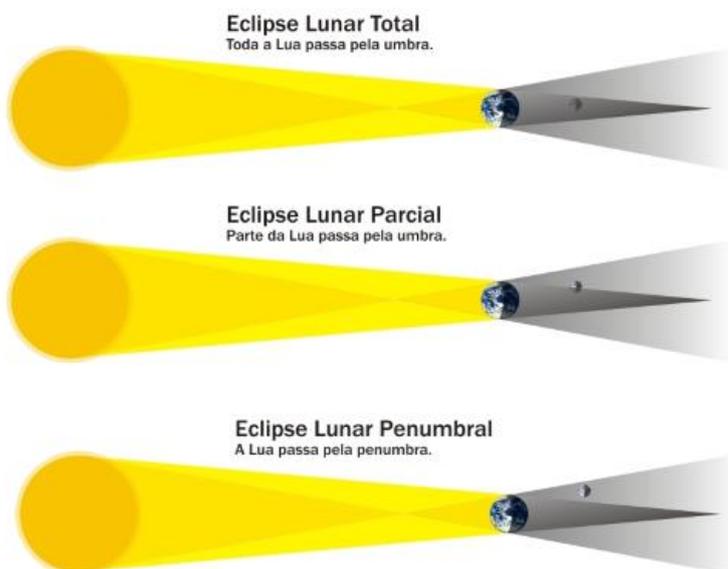


Figura 4.17 – Tipos de eclipse lunar. Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2004).

Durante o eclipse total lunar, ainda é possível se ver a Lua porque a umbra da Terra não é totalmente escura. A Lua se mostra ligeiramente avermelhada, devido ao efeito da refração da luz solar na atmosfera da Terra, semelhante à coloração do Sol ao se pôr ao ou nascer (fig. 4.18).

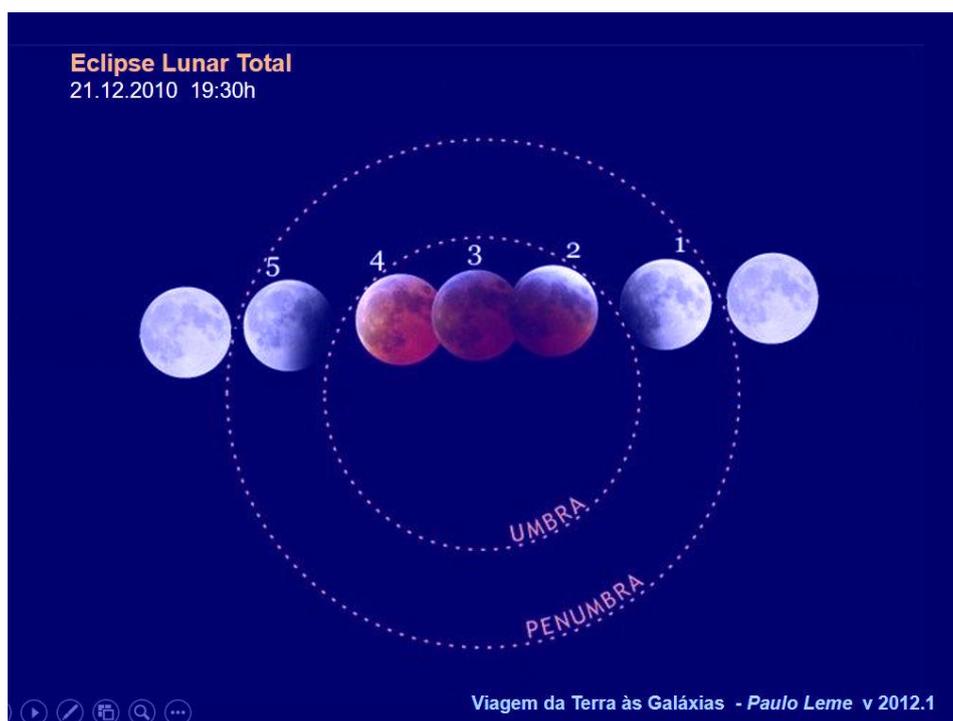


Figura 4.18 – Sequência de um eclipse lunar total, evidenciando a coloração avermelhada da Lua pelo efeito de refração da luz solar pela atmosfera da Terra.

Fonte: Witte (2010).

Eclipse Solar

Eclipses solares ocorrem quando o Sol é ocultado pela Lua (fig. 4.19), quando observado da Terra. Eles só ocorrem, portanto, durante a fase da *lua nova*, quando a Lua passa entre o Sol e a Terra.

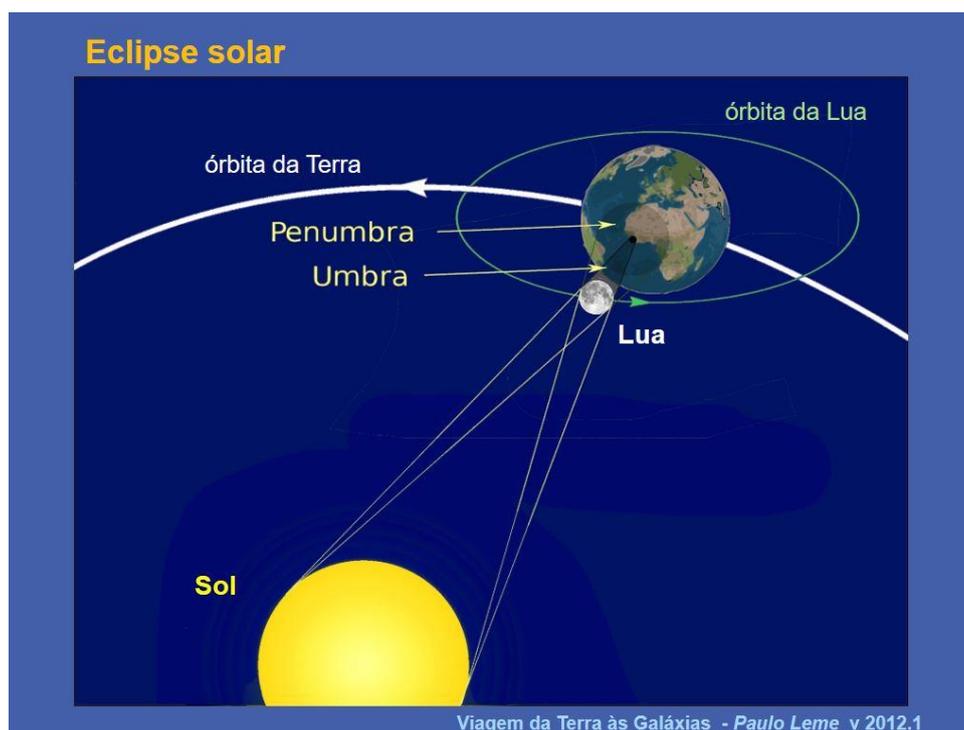


Figura 4.19 – Geometria de um eclipse solar. Fonte: Sagredo (2008).

Há 3 tipos de eclipse solar (fig. 4.20):

- *eclipse solar total*, no qual o observador está dentro da umbra da Lua; a Lua cobre completamente o Sol;
- *eclipse solar parcial*, no qual o observador está dentro da penumbra da Lua e somente enxerga parte do Sol encoberto pela Lua;
- *eclipse anular*, em que a Lua está no apogeu, ou próximo a ele, e assim não tem tamanho suficiente para cobrir o disco solar; a umbra da Lua não toca a Terra, então o observador vê o Sol como um anel que também é chamado “de anel de fogo”.

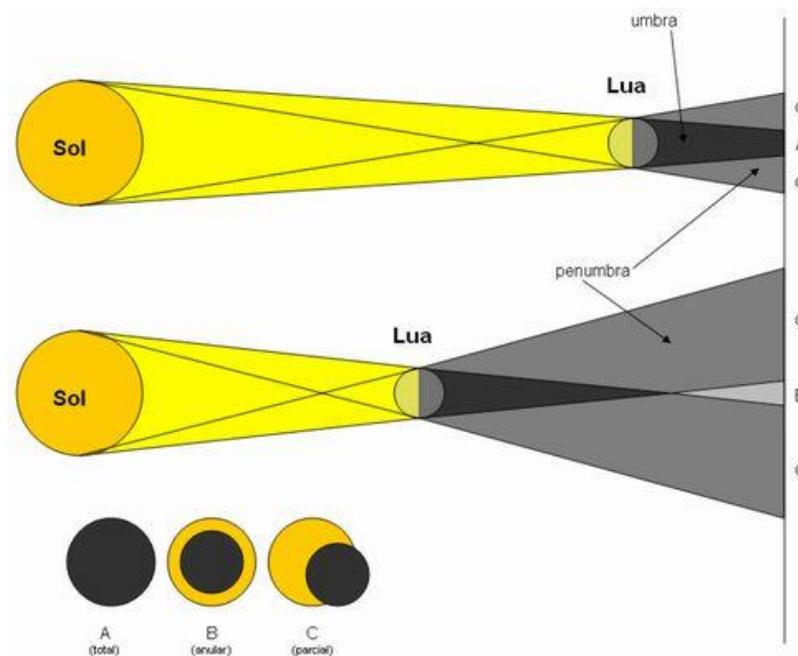


Figura 4.20 – Tipos de eclipse solar. Fonte: Sogumo (2007).

A distância do Sol à Terra é cerca de 400 vezes a distância da Lua à Terra, e o diâmetro do Sol é de cerca de 400 vezes o diâmetro da Lua. Esta coincidência de relações faz com que o Sol e a Lua, vistos da Terra, parecem ter aproximadamente o mesmo tamanho, cerca de 0,5 grau de diâmetro aparente, e favorece o eclipse solar total.

Eclipses solares totais são localizados e tem curta duração:

- a sombra umbral da Lua tem no máximo cerca de 270 km de diâmetro na superfície da Terra e se move a cerca de 2.000 km/h (fig. 4.21);



Figura 4.21 – Sombra da Lua sobre a Terra durante o eclipse solar total de 11 de agosto de 1999, observada pela estação espacial russa Mir. Fonte: Mir (1999).

- a totalidade dura no máximo cerca de 7,5 minutos, com a sombra varrendo rapidamente para o oeste para leste (fig. 4.22);
- apenas observadores na umbra veem um eclipse solar total;
- observadores na penumbra veem um eclipse solar parcial.
- fora da penumbra não se vê eclipse.

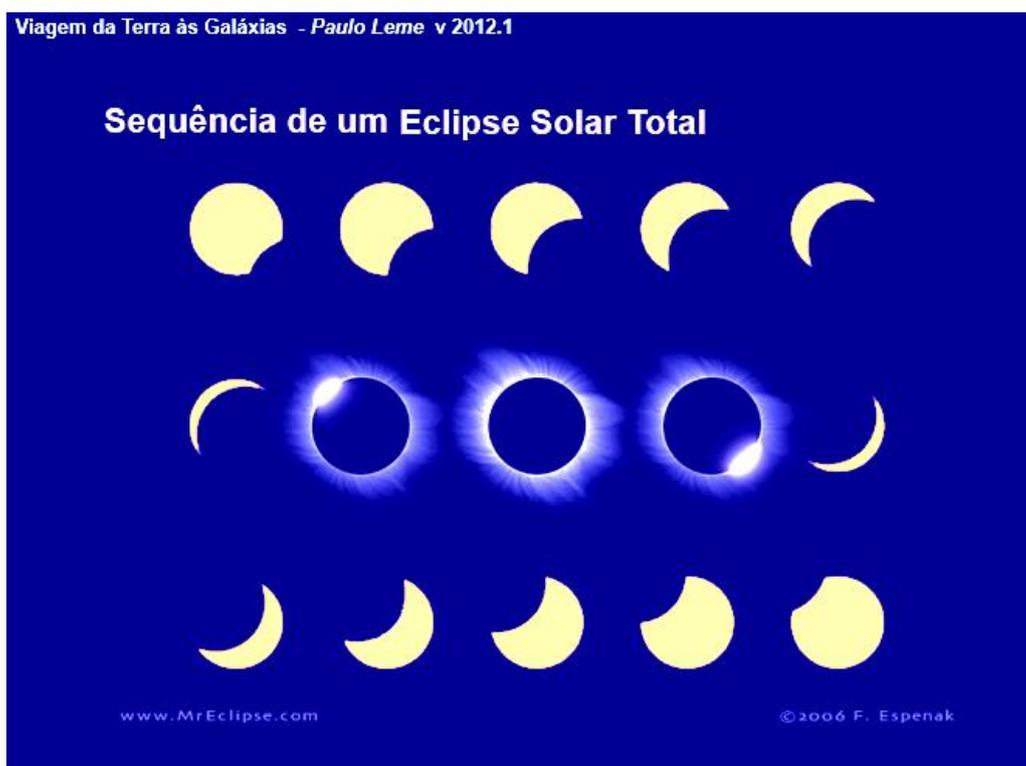


Figura 4.22 – Sequência de um eclipse solar total. Fonte: Espenak (2009).

Se a órbita da Lua estivesse exatamente no mesmo plano que a eclíptica, nós veríamos um eclipse solar a cada lua nova e um eclipse lunar a cada lua cheia. Sabemos, porém, que a órbita da Lua está inclinada a cerca de $5,15^\circ$ da eclíptica e a intersecção entre esses planos define a *linha de nodos*.

Os eclipses só ocorrem quando a *linha dos nodos* e o Sol se alinham durante a lua cheia ou lua nova, conforme ilustrado na figura 4.23. Como o sistema Terra-Lua orbita o Sol, esse alinhamento ocorre no mínimo duas vezes por ano (e um máximo de sete).

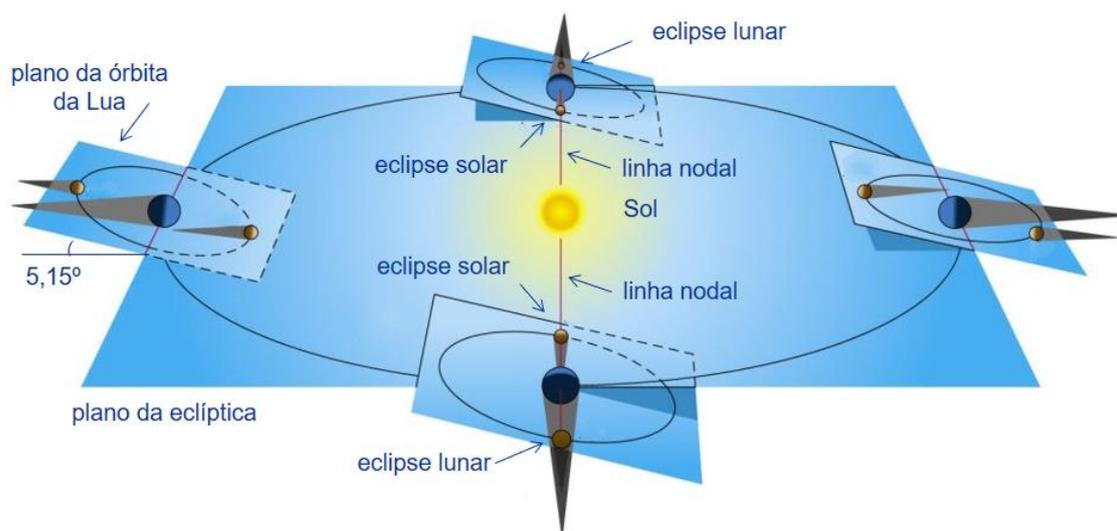


Figura 4.23 – Posições relativas do plano da órbita lunar e da eclíptica ao longo de cerca de um ano, e condições possíveis de eclipse. Fonte: Gronwall (2010).

Mês draconítico

O **mês draconítico** é o tempo médio que a Lua entre duas passagens sucessivas por um dos nodos lunares. Seu valor médio é 27,212220 dias = 27d 5h 5m 35.8s. O mês draconítico é mais curto do que o mês sideral (27,321661 dias), devido à precessão em sentido retrógrado do plano da órbita da Lua (da linha dos nodos) em relação ao plano da eclíptica em 18,6 anos. Os múltiplos dos meses draconíticos são determinantes dos ciclos dos eclipses.

4.7 Zodíaco e constelações

O anel interno do mostrador frontal do Mecanismo de Antikythera era fixo, representando a eclíptica, isto é, a trajetória na esfera celeste na qual o Sol parece seguir ao longo do ano. Esse anel trazia marcados os doze signos do zodíaco (fig. 4.25) em setores iguais de 30 graus, como eram representados desde os tempos dos babilônios (MARCHANT, 2010). A figura 4.24 ilustra esse anel, em um modelo virtual do artefato, e os nomes dos signos do zodíaco grego e latim.



Figura 4.24 - Mostrador frontal: constelações do zodíaco em grego e latim.

O conceito do zodíaco originou-se na astronomia babilônica do período caldeu (meados do primeiro milênio AEC), e foi herdado pela astronomia helenística. O zodíaco é uma área do céu centrada sobre a *eclíptica*, definida pela trajetória aparente do Sol através da esfera celeste, ao longo do ano. É composta de 12 setores igualmente espaçados por 30°, começando no Ponto Vernal (uma das interseções da eclíptica com o Equador Celeste), também conhecido como o primeiro ponto de Áries (Fig. 4.25). As trajetórias da Lua e dos planetas visíveis também permanecem próximo à eclíptica, ao longo do zodíaco, no intervalo de 8° de latitude sul e 8° latitude norte.

A palavra zodíaco deriva do grego antigo *zoidiakòs kýklos*, que significa "círculo de pequenos animais", e reflete a predominância dos animais (e híbridos mitológicos) entre os doze signos. Originalmente, os nomes foram dados em função da passagem das constelações estelares alinhadas ao longo do Sol, visto a partir da Terra, ao longo do ano, conforme mostrado na figura 4.25.

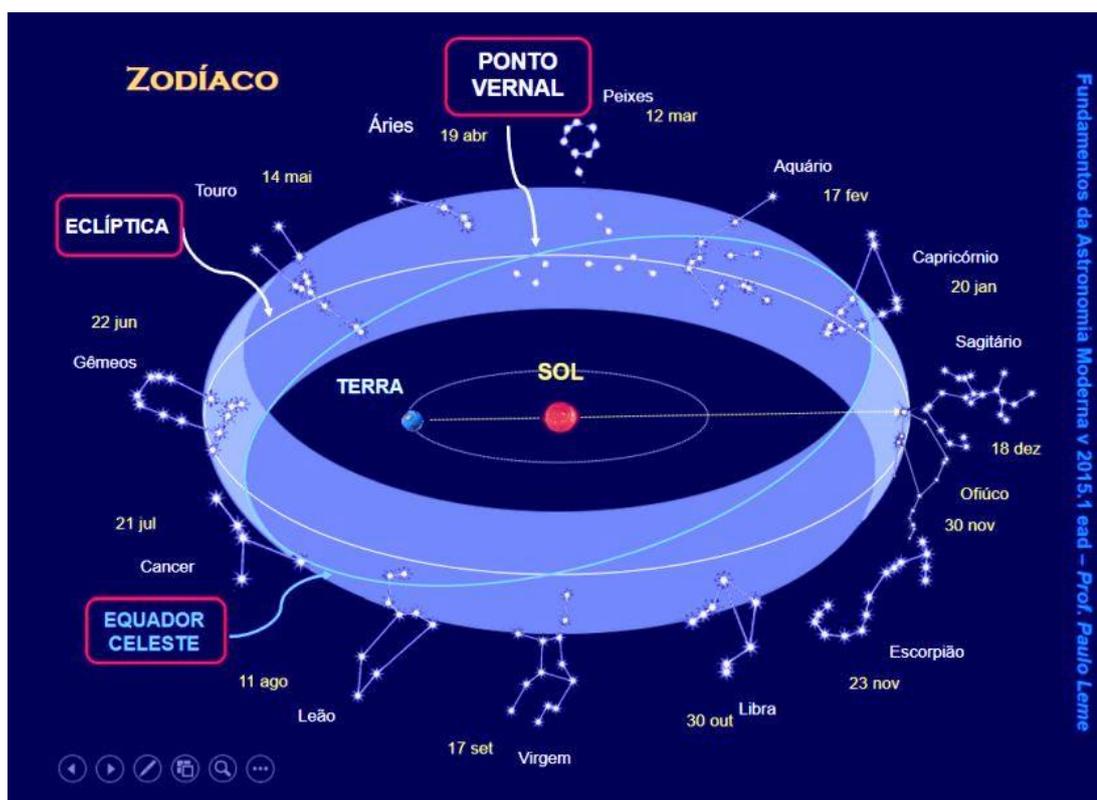


Figura 4.25 – Zodíaco, eclíptica e equador celeste e ponto vernal (figura elaborada pelo autor).

Os signos do zodíaco são distintos das constelações a eles associadas, inclusive porque as constelações físicas assumem larguras variadas da eclíptica, de modo que o Sol não está alinhado em cada constelação pela mesma quantidade de tempo. Por exemplo, a constelação de Virgem ocupa cinco vezes mais longitude na eclíptica que a constelação de Escorpião. Os signos são uma representação do ciclo anual das estações.

Originalmente, desde a Mesopotâmia em 3000 AEC (ROGERS, 1998), as constelações eram grupos de estrelas aparentemente próximas entre si, que eram conectadas por linhas imaginárias para formar imagens reconhecíveis de animais, figuras mitológicas ou objetos.

Na astronomia moderna, a esfera celeste é dividida em 88 regiões chamadas constelações (fig. 4.26), definidas por acordo da comunidade astronômica em 1928

através da IAU (International Astronomical Union), como representado na figura 4.20, (DELPORTE, 1930).

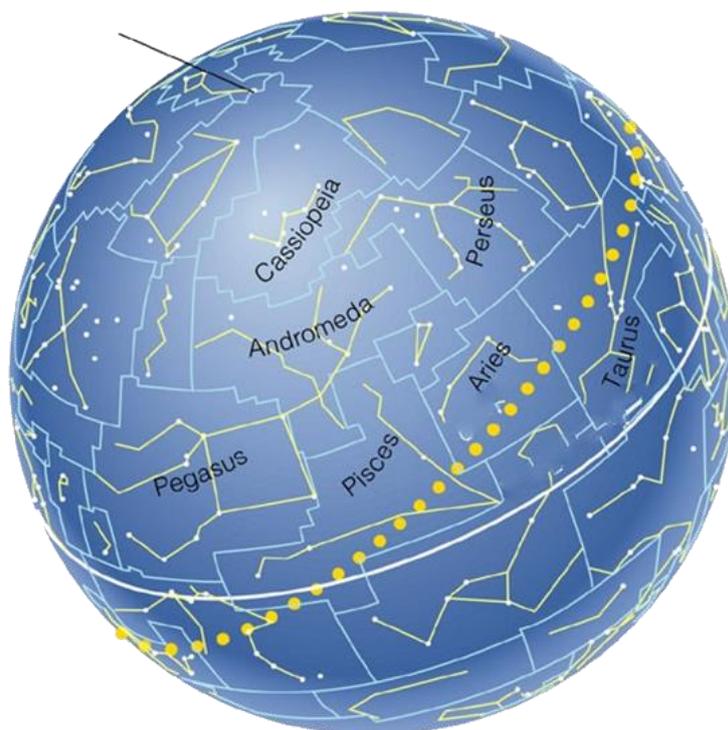


Figura 4.26 – Constelações modernas definidas como 88 regiões na esfera celeste, em reunião da IAU (International Astronomical Union) em 1929.

4.8 Ciclo metônico

Os calendários eram importantes para as sociedades antigas para demarcar as atividades agrícolas e a fixação de festivais religiosos.

Além do *calendário solar*, os antigos egípcios mantiveram simultaneamente um segundo calendário baseado nas fases da lua, o *calendário lunar egípcio*, mais antigo, e que consistia em doze meses de 29,53 dias. O *mês lunar* correspondente a um ciclo lunar completo, ou seja, medido a partir de uma fase lunar até o retorno da mesma fase (por exemplo, entre duas luas cheias consecutivas). Esse intervalo de tempo também é conhecido como *lunação* ou *mês sinódico*.

Um 'ano' de 12 meses sinódicos (lunares) é cerca de 354 dias em média, 11 dias aquém do 365 dia solar ano, o que resulta em um 'descompasso' entre os dois calendários.

O astrônomo grego Meton, no século V AEC, observou que a fase da Lua e a sua posição relativa frente às estrelas fixas (como uma imagem instantânea do céu noturno) se repete, é idêntica, após um período de 19 anos. Esta é uma comprovação observacional de outro ciclo da Lua que passou a ser chamado de **ciclo metônico**.

Assim, o **ciclo metônico**, como um período de 19 anos, tem a interessante propriedade de ser um múltiplo comum do ano solar (tropical) e do mês lunar (sinódico), ou seja 19 anos solares=235 meses sinódicos (lunações). Detalhando:

1 ano solar ou trópico = tempo que o Sol leva para voltar para a mesma posição no ciclo das estações, como visto da Terra

(p.ex. entre 2 equinócios vernais ou entre 2 solstícios de verão);

1 mês lunar ou sinódico = tempo médio que a Lua leva entre 2 fases iguais sucessivas

(p.ex. entre 2 luas cheias);

1 ano solar = 365,24 dias;

1 mês sinódico = 29,53 dias;

19 anos solares = $19 \times 365,24 = 6.939,56$ dias

235 meses lunares = $235 \times 29,53 = 6.939,55$ dias

Portanto,

1 ciclo metônico = 235 meses lunares = 19 anos solares = 6923 1/2 dias

O ciclo metônico ilustra como o **tema da comensurabilidade** é uma das ocupações centrais do pensamento grego, e está presente tanto no estabelecimento de razões perfeitas entre comprimentos de cordas correspondentes aos intervalos tonais em música, como na busca de razões de números inteiros entre os ciclos celestes em astronomia.

O Mecanismo de Antikythera se utilizava do ciclo metônico. Seu lado posterior era composto por 2 mostradores adjacentes; o da esquerda representava o calendário metônico de 19 anos solares ou 235 meses lunares (fig. 4.27).

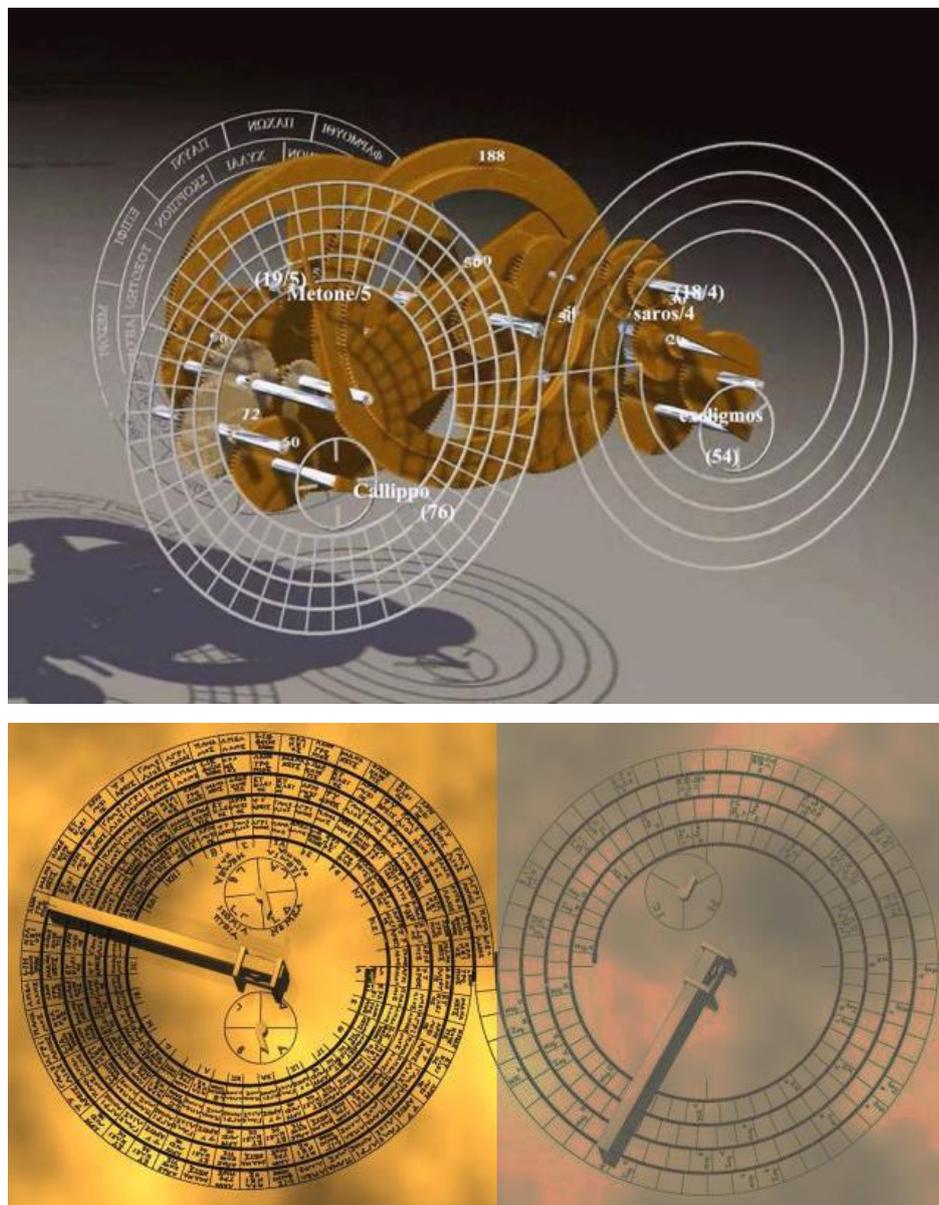


Figura 4.27 - Modelo exhibe o mostrador da esquerda da parte posterior do instrumento, formado por uma escala espiral de 5 voltas representando o ciclo metônico de 19 anos solares ou 235 meses lunares.



Figura 4.28 – Fragmento B do mecanismo formado pela escala espiral de 5 voltas representando o ciclo metônico (FREETH, 2006).

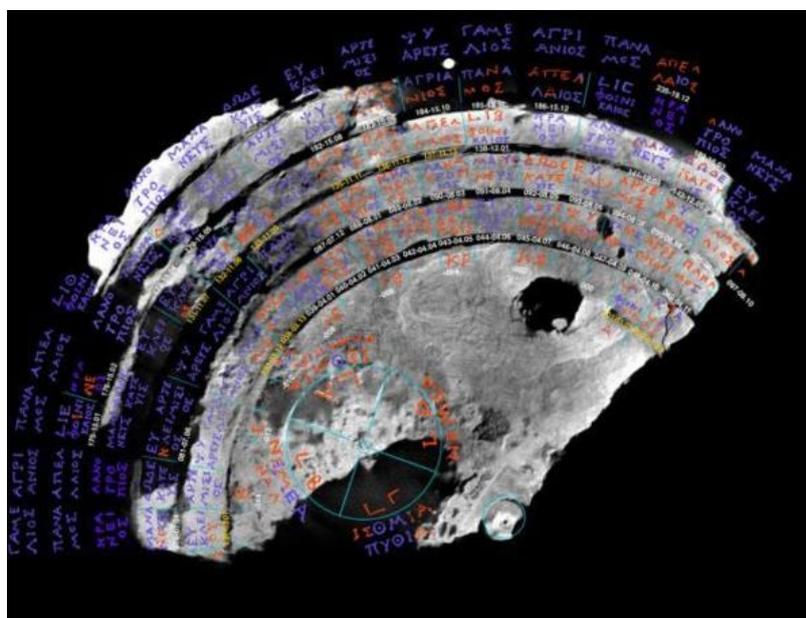


Figura 4.29 - Uma camada de tomografia computadorizada (CT) do fragmento B (FREETH, 2012). O texto em vermelho foi decifrado a partir de várias camadas e revelou todos os nomes no calendário metônico. O texto em azul foi reconstruído, com base na estrutura provável do calendário.

Os nomes dos meses inscritos no calendário metônico foram identificados como correspondentes ao calendário da cidade-estado de Corinto, na região do Peloponeso na Grécia antiga, os mesmos usados também na cidade de Siracusa, na Sicília (IVERSEN, 2017), mostrado a seguir.

1. ΦΟΙΝΙΚΑΙΟΣ (Phoinikaios)
2. ΚΡΑΝΕΙΟΣ (Kraneios)
3. ΛΑΝΟΤΡΟΠΙΟΣ (Lanotropios)
4. ΜΑΧΑΝΕΥΣ (Machaneus)
5. ΔΩΔΕΚΑΤΕΥΣ (Dodekateus)
6. ΕΥΚΛΕΙΟΣ (Eukleios)
7. ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΣ (Artemisios)
8. ΨΥΔΡΕΥΣ (Psydreus)
9. ΓΑΜΕΙΛΙΟΣ (Gameilios)
10. ΑΓΡΙΑΝΙΟΣ (Agrianos)
11. ΠΑΝΑΜΟΣ (Panamos)
12. ΑΠΕΛΛΑΙΟΣ (Apellaios)



Figura 4.30 - Detalhe de um modelo do mostrador do ciclo metônico, mostrando o calendário lunissolar; cada glifo indica o dia no ano solar e a fase da Lua. O pequeno mostrador indica os anos dos jogos pan-helênicos.

A equipe do Antikythera Mechanism Research Project (AMRP) detectou em julho de 2008, a palavra "Olympia" em um pequeno mostrador (fig. 4.30), bem como os nomes dos outros jogos na Grécia antiga e provavelmente eram usados para indicar as datas dos jogos pan-helênicos - jogos olímpicos) - (FREETH, 2008). Nos quatro setores desse dial estão inscritos um ano e os nomes das cidades em que os jogos ocorriam: Istmo, Olimpia, Nemeia e Delfos.

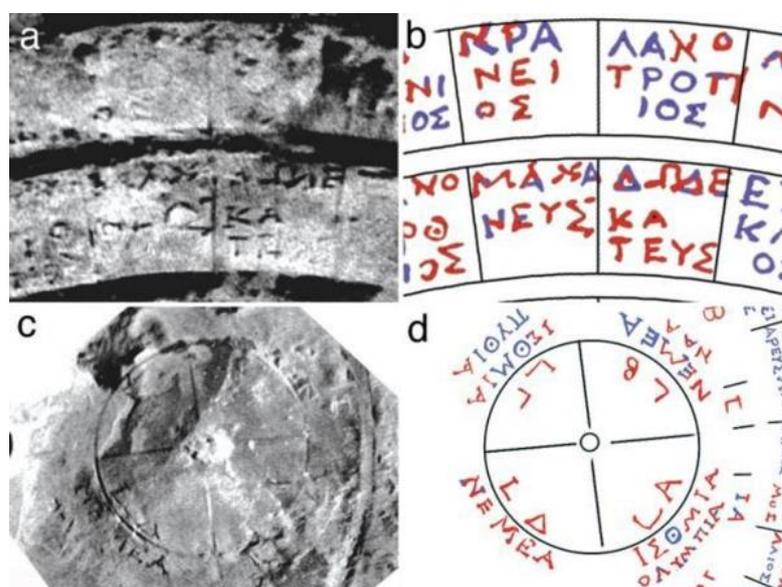


Figura 4.31 - Decodificação dos mostradores. (a) Camada de uma imagem tomográfica computadorizada (CT) gerada por raios-X mostra parte do mostrador com glifos do ciclo metônico. As letras têm 1,7 mm de altura. (b) O texto em vermelho foi traçado a partir do CT e revelou os nomes dos meses no dial pela primeira vez; o texto em azul já tinha sido decifrado visualmente. (c) e (d) Esta outra camada mostra o dial das Olimpíadas. Seus setores exibem o ciclo de quatro anos dos Jogos Pan-helênicos (ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT, 2005).

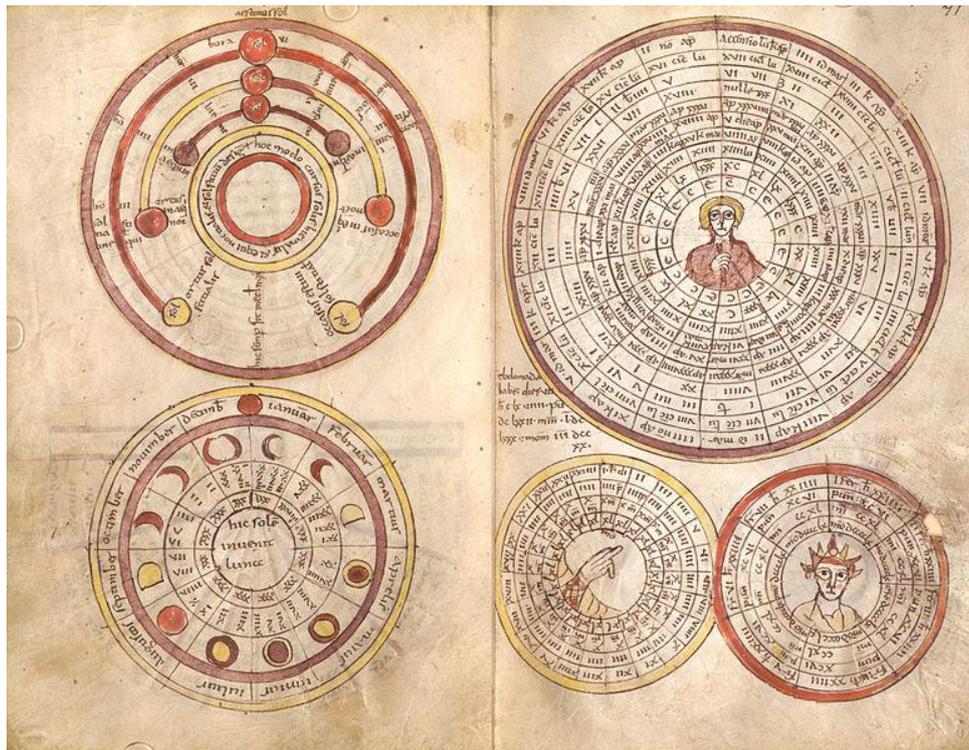


Figura 4.32 - Manuscrito do século IX ilustrando o ciclo metônico e a data da lua nova de Páscoa.

O calendário lunissolar é usado ainda hoje em várias culturas (hebreu, budista, hindu, chinês e coreano, entre outros).

4.9 Ciclo de Saros

O mostrador da direita (figura 4.34) forma uma espiral de 4 voltas e exhibe o **Ciclo de Saros**, um período usado para prever os eclipses do Sol e da Lua. Esse ciclo é formado por 223 lunações ou meses sinódicos (período entre 2 luas cheias) que corresponde a aproximadamente 18 anos e 11 dias e 8h ou $6.585 \frac{1}{3}$ dias (FREETH *et al.*, 2006).



Figura 4.33 – Fragmento C do sistema revelando parcialmente as escalas espirais representando o ciclo de Saros (FREETH, 2006).

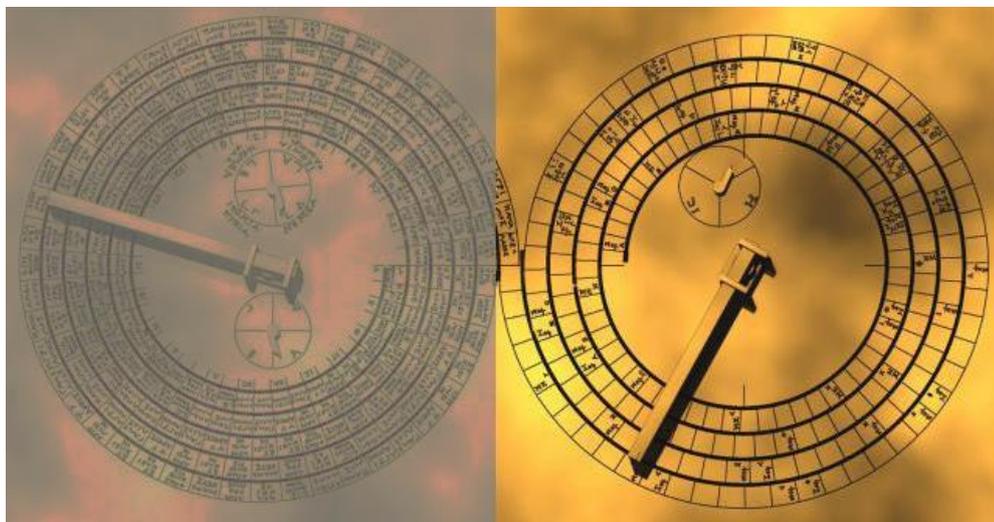


Figura 4.34 - Reconstrução exibe o mostrador da direita que representa um calendário de 18 anos, 11 dias e 8h, para prever eclipses solares e lunares (ciclo de Saros).

Quando da ocorrência de um eclipse, o Sol, Terra e Lua retornam aproximadamente à mesma geometria relativa entre eles após um período de Saros, e um eclipse quase idêntico ocorrerá. De novo, aqui comparece o **tema da comensurabilidade**, pois o mesmo tipo de eclipse implica não só a comensurabilidade entre um número de meses sinódicos e outro de meses draconíticos (condição para que se repita o eclipse), mas também com o número de meses anomalísticos, para que ele seja do mesmo tipo (total ou anular). Assim:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Saros} &= 223 \text{ meses sinódicos} = 239 \text{ meses anomalísticos} = 242 \text{ meses draconíticos} \\ &= 6585 \frac{1}{3} \text{ dias} \end{aligned}$$

O *ciclo de Saros* foi descoberto pelos caldeus nos últimos séculos AEC. Os astrônomos gregos Hiparco, Plínio e Ptolomeu o conheciam embora com outro nome. O nome *Saros*, do grego σάρως, foi dado ao ciclo dos eclipses por Edmond Halley em 1691.

No Mecanismo de Antikythera, os glifos (grupos de caracteres e símbolos) inscritos nas espirais indicam as datas previstas dos eclipses. Estas são algumas das abreviações dos glifos:

$$\Sigma = \Sigma\text{E}\Lambda\text{H}\text{N}\text{H} = \text{Selena (Lua)}$$

$$\text{H} = \text{H}\Lambda\text{I}\text{O}\Sigma = \text{Helios (Sol)}$$

$$\text{H}\backslash\text{M} = \text{H}\text{M}\text{E}\text{P}\Lambda\Sigma \text{ (do dia)}$$

$$\omega \backslash \rho = \omega\rho\alpha \text{ (hora)}$$

$$\text{N}\backslash\text{Y} = \text{N}\text{Y}\text{K}\text{T}\text{O}\Sigma \text{ (da noite)}$$

Os glifos mostram se o eclipse designado é solar ou lunar, e mostra o dia do mês e a hora.

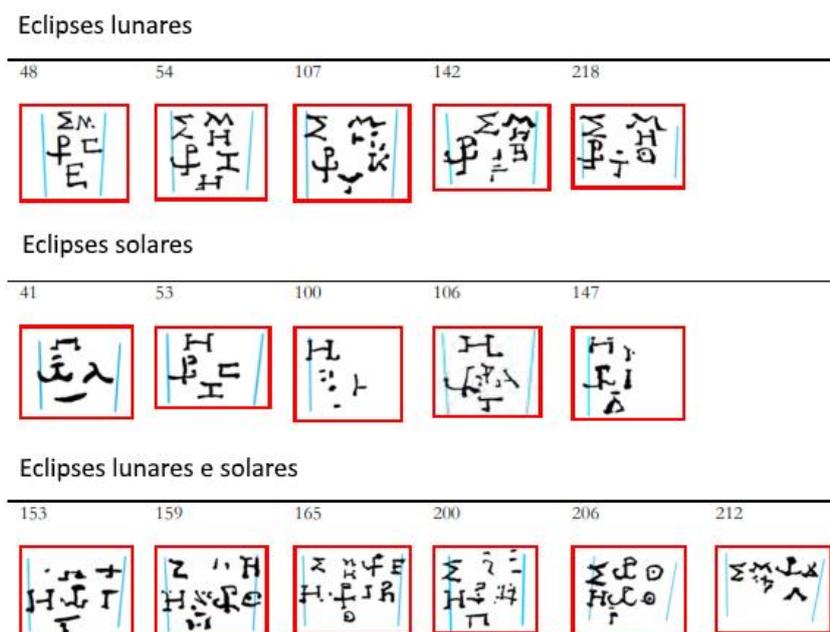


Figura 4.35 – Glifos referentes aos eclipses lunares e solares (FREETH, 2006).

Dois eclipses sucessivos separados por um ciclo Saros compartilham geometrias muito semelhantes. Eles ocorrem no mesmo nó com a Lua praticamente à mesma distância da Terra e na mesma época do ano. Devido ao fato do ciclo de Saros não ser igual a um número inteiro de dias, seu maior inconveniente é que os eclipses subsequentes são visíveis em diferentes partes do globo terrestre. O deslocamento extra de $1/3$ dia significa que a Terra deve rodar um adicional ~ 8 horas ou $\sim 120^\circ$ com cada ciclo. Assim, para que dois eclipses subsequentes sejam vistos na mesma região geográfica da Terra, são necessários 3 ciclos de Saros sucessivos, ou seja, 54 anos e 34 dias (ESPENAK, 2017). Esse período, denominado **Exeligmos**, já era do conhecimento dos gregos pois está representado no Mecanismo de Antikythera (fig. 4.37). Ele seria mais perfeito que o ciclo de Saros por gerar ainda mais uma comensurabilidade, a com um número inteiro de dias:

1 Exeligmos = 669 meses sinódicos = 717 meses anomalísticos = 726 meses draconíticos = 19756 dias

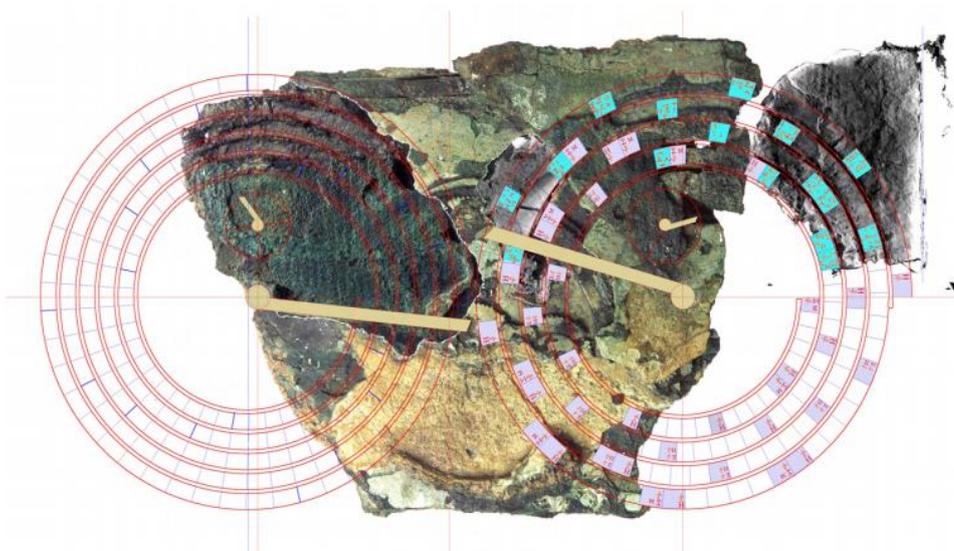


Figura 4.36 – Detalhe da reconstrução em processo do mostrador do ciclo de Saros, onde são mostrados 16 glifos de eclipse identificados (cor verde).



Figura 4.37 - Detalhe do mostrador de previsão dos eclipses baseada nos 223 1/3 meses sinódicos do ciclo de Saros, incluindo o disco menor indicador do período exeligmo.

Inscrições em um painel de bronze na parte de trás do mecanismo sugerem instruções para operá-lo (WRIGHT, 2003). Girava-se uma manivela lateral, que rodava pelo menos 30 engrenagens dentro do sistema. Ponteiros variam cada um dos dois grandes

mostradores, deslocando-se em ranhuras em espiral, com um pino semelhante a uma agulha seguindo o sulco em um disco de vinil. Definindo qual tipo de calendário queria se usar, girava-se a manivela lateral para selecionar a data atual, e o mecanismo revelava as seguintes informações:

- se era um ano das Olimpíadas,
- quando seriam os próximos eclipses solares e lunares (por data e hora),
- onde se encontravam as doze constelações ao longo da eclíptica,
- a fase da lua,
- as posições dos cinco planetas conhecidos na época, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno.

O conhecimento de suas funções e as inscrições em seu exterior apesar das incertezas devido à perda de evidências do instrumento, tiveram progresso na leitura de uma passagem de uma inscrição que parece descrever a frente do mecanismo como uma representação de uma cosmologia geocêntrica grega, retratando, além do Sol e da Lua, as estrelas e todos os cinco planetas conhecidos na antiguidade (FREETH; JONES, 2012).

5. CONJECTURAS SOBRE O ACHADO

5.1 Reconstruções e modelos

Ao longo do período de mais de um século após a sua descoberta, tem havido um enorme esforço nos meios acadêmicos em reconstruir o Mecanismo de Antikythera, com modelos tanto físicos como virtuais.

O primeiro modelo foi construído na década de 1930 por Ioannis Theofanides (ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT, 2005), que se mostrou um tanto simplificado (fig. 5.1).



Figura 5.1 – Primeira tentativa de reconstrução do dispositivo em 1930. Fonte: Antikythera Mechanism Research Project (2005).

O primeiro a criar um modelo funcional foi o próprio de Price (1959). Seu modelo é considerado um clássico e tem servido como base para todos os modelos recentes do mecanismo, embora muitos dos detalhes já tenham sido rejeitados (fig. 5.2).

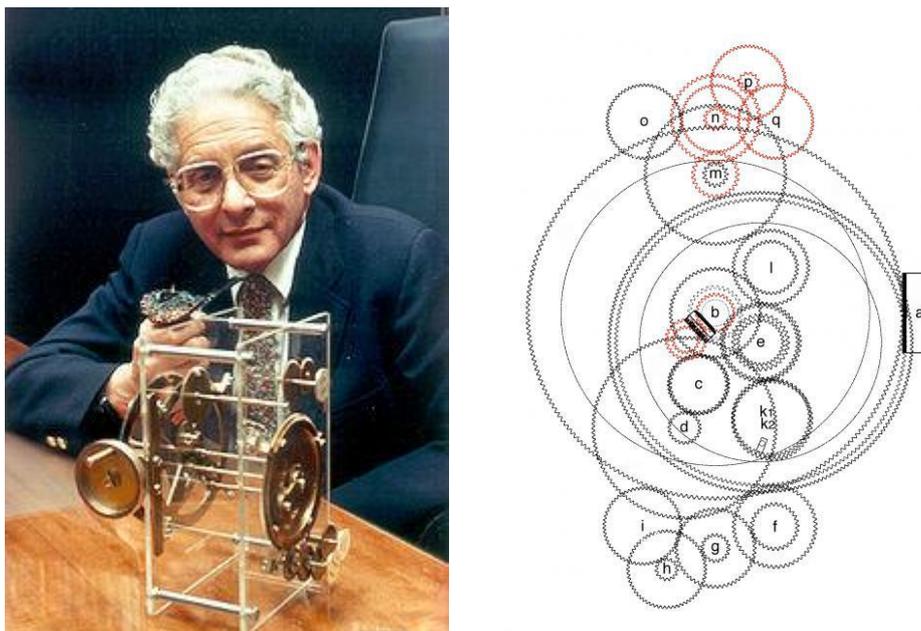


Figura 5.2 - Primeiro modelo funcional construído por Price. O diagrama mostra a complexidade do sistema. As rodas dentadas em preto são visíveis aos raios-X e as rodas em vermelho são presumidas a fim de completar o modelo.

Fonte: Price (1979).

A quantidade de modelos e reconstruções multiplicou-se rapidamente no final do século XX, pela extensa divulgação na mídia do admirável engenho da antiguidade grega. A evolução dos modelos do mecanismo tem seguido um longo histórico de esforços para conciliar as evidências, a partir de fragmentos, com um projeto coerente baseado em uma estrutura e função lógica. Entre essas réplicas, duas merecem destaque: as desenvolvidas por Wright e por Freeth.

Wright (2005), um curador de um museu britânico, reexaminou os fragmentos do mecanismo usando tomografia computadorizada. Baseado nas novas informações, introduziu um novo modelo, que incorporava algumas alterações no modelo de Price, incluindo os epiciclos do modelo de Hiparco simulando o movimento anomalístico lunar. Acrescentou também ponteiros adicionais no mostrador frontal que simulavam as posições dos cinco outros planetas conhecidos na época: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno (fig. 5.3). Embora altamente engenhosa, essa hipótese, com os seus

oito ponteiros coaxiais, há muito debate sobre a plausibilidade deste sistema e a ausência de provas a partir dos fragmentos, pode-se dizer que não há consenso.

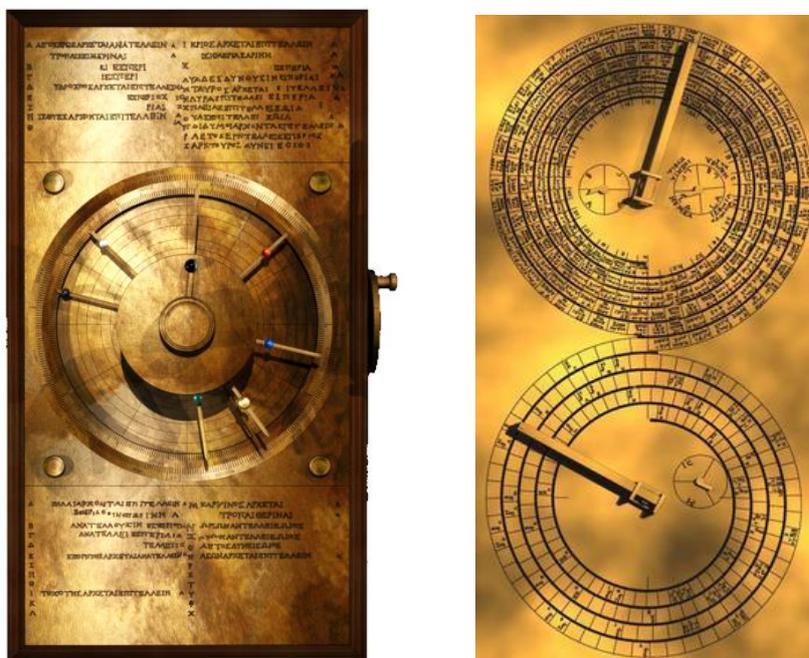


Figura 5.3 – Mostradores frontal e traseiros do modelo construído por Wright.

Fonte: Wright (2005).

Após reunir novos dados que elevaram consideravelmente o conhecimento das funções e das inscrições no exterior do dispositivo, Freeth e Jones (2012) propuseram uma reconstrução aprimorada da mecânica da engrenagem planetária do mecanismo, incorporando um desenho otimizado para reproduzir a anomalia lunar e outras evidências não resolvidas previamente (fig. 5.4 e 5.5).

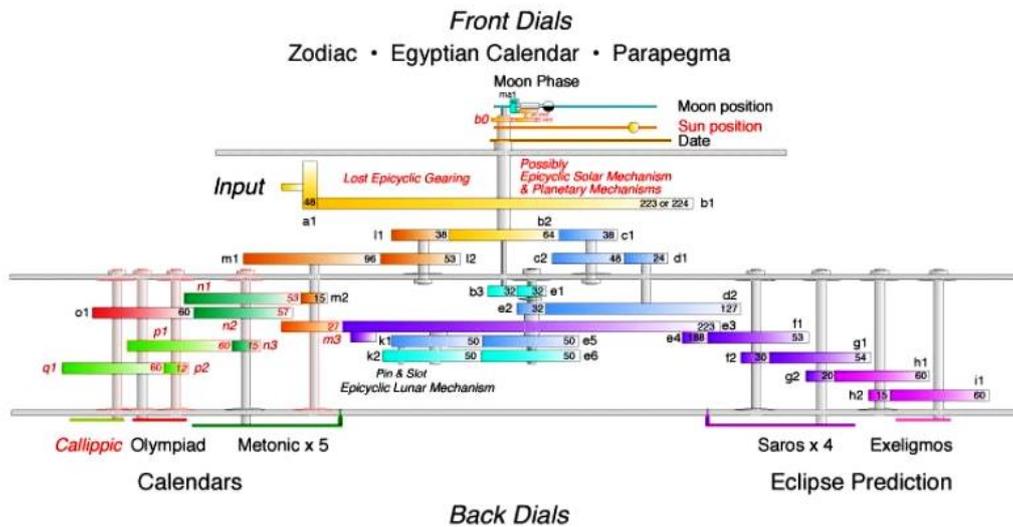


Figura 5.4 – Diagrama esquemático das engrenagens utilizadas no modelo de Freeth e Jones (FREETH et al., 2008).

As engrenagens em preto são aquelas para as quais há uma evidência nos fragmentos. As engrenagens em vermelho são conjecturas a fim fazer o modelo funcionar. A reconstrução dos mecanismos planetários está no espaço na frente de b1, rotulado “Lost Epicyclic Gearing”.



Figura 5.5 - Reconstrução mais recente por Freeth e Jones (2012).

Entre os modelos virtuais o mais notável se deve ao engenheiro do Planetário de Milão, Massimo Vicentini, que desenvolveu uma primeira versão (VICENTINI, 2012) baseada em um modelo anterior de Allan Bromley (1988) e, posteriormente, incorporou melhorias com a colaboração de Wright (2013), ilustrados respectivamente nas figuras 5.7 e 5.8.

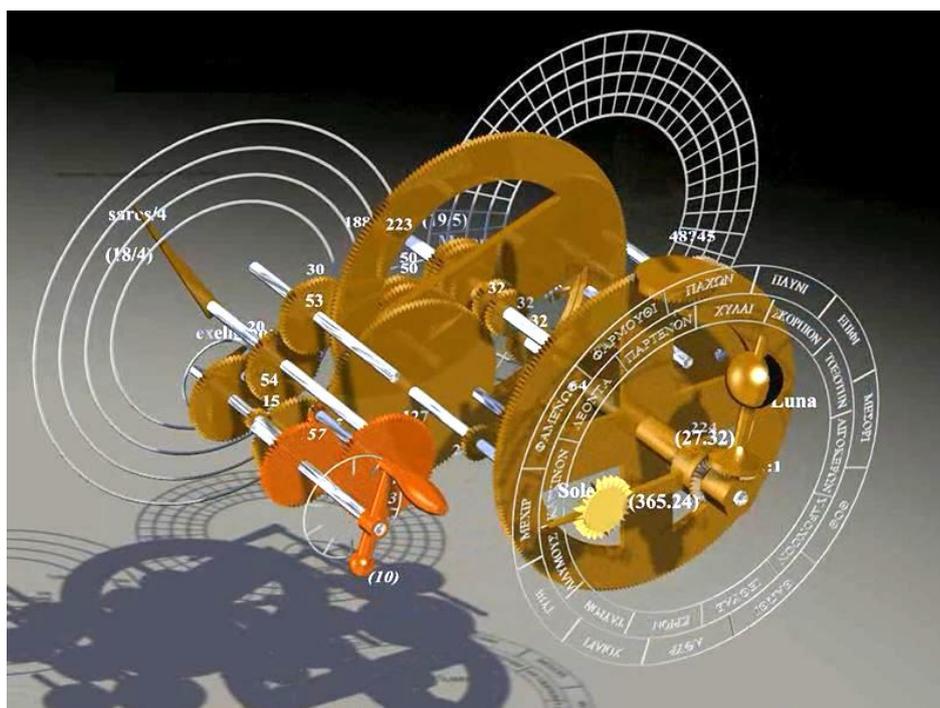


Figura 5.6 - Admirável modelo virtual construído por Vicentini (2007).

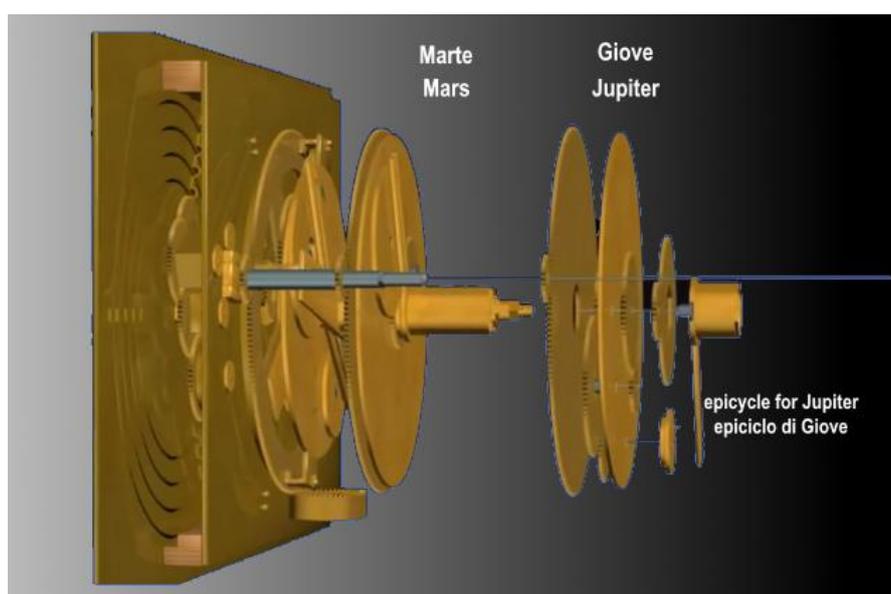


Figura 5.7 - Abrangente modelo virtual realizado por Vicentini e Wright (2013).

Andrew Carol (2010), um engenheiro de software na Apple montou uma réplica feito inteiramente de peças do brinquedo de construção Lego (fig. 5.8).

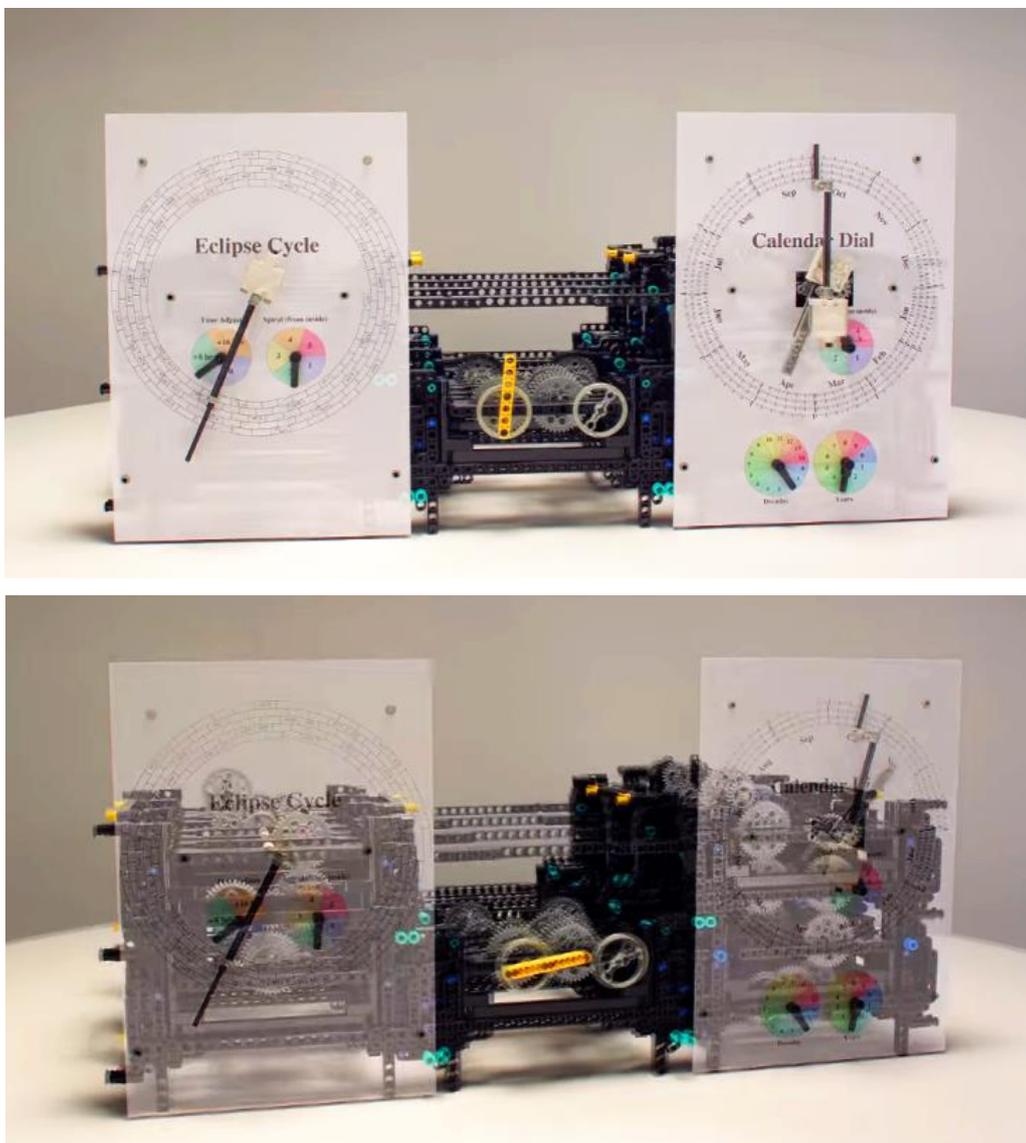


Figura 5.8 – Modelo desenvolvido em Lego. Fonte: Carol (2010).

O engenheiro Mathias Buttet (2013) desenvolveu para a fabricante suíça de relógios de luxo Hublot 2 modelos para se usar no pulso que integra funções do Mecanismo de Antikythera mas produziu cerca de 20 unidades apenas (fig. 5.9).



Figura 5.9 – Modelos miniatura de pulso Hublot. Fonte: Buttet (2013).

5.2 Especulações sobre a origem do Artefato

Ainda não há uma conclusão sobre quem o construiu, mas existem alguns bons candidatos.

5.2.1 Arquimedes de Siracusa

Descobertas recentes baseadas nas inscrições e nos cálculos astronômicos sugerem que o mecanismo se originou nas colônias de Corinto, a cidade-estado situada no istmo que liga o Peloponeso à Grécia continental. Siracusa localizada no sudeste da ilha da Sicília, cidade notável por sua rica história na Magna Grécia e pela cultura, anfiteatros e arquitetura, era uma colônia de Corinto e a cidade natal do proeminente matemático, físico, engenheiro, inventor e astrônomo, Arquimedes (287 AEC – 212 AEC), considerado como um dos mais importantes cientistas na antiguidade clássica. Arquimedes, que morreu várias décadas antes que o dispositivo fosse construído, deixou uma tradição de cientistas que continuaram seu trabalho e construíram conhecimento a partir de suas invenções. O dispositivo poderia ter vindo dessa escola.

Em sua obra "De Re Publica" Cícero (54 AEC, 1.xiv §2) menciona Arquimedes em um diálogo fictício ocorrido no ano 129 AEC, entre o matemático Caio Sulpício Galo e o cônsul Lúcio Fúrio Filo. Nesse diálogo, é revelado que o general Marcos Cláudio Marcelo afirmou ter levado de volta à Roma, após a captura de Siracusa em 212 AEC, dois mecanismos usados como auxiliares na astronomia, que mostravam os movimentos do Sol, da Lua e de cinco planetas. Cícero menciona mecanismos similares projetados por Tales de Mileto e Eudoxo de Cnido. O diálogo diz que Marcelo manteve um dos dispositivos como seu único saque pessoal de Siracusa, e doou o outro para o Templo da Virtude em Roma. Caio teria descrito assim o mecanismo de Marcelo:

Hanc sphaeram Gallus cum moveret, fiebat ut soli luna totidem conversionibus in aere illo quot diebus in ipso caelo succederet, ex quo et in caelo sphaera solis fieret eadem illa defectio, et

incideret luna tum in eam metam quae esset umbra terrae, cum sol e regione. –

Quando Gallus moveu o globo, aconteceu que a Lua seguiu o Sol por tantas voltas, naquele artefato de bronze, como no próprio céu, e também no céu, o globo do Sol sofreu o mesmo eclipse, e a Lua passou então àquela posição que era sua sombra na Terra, quando o Sol estava em linha.

Essa citação é apontada como uma forte evidência da autoria do Mecanismo de Antikythera, ou de um semelhante, por Arquimedes.

5.2.2 Posidônio de Rodes

Por outro lado, Cícero também reporta em sua obra *De Natura Deorum* (Sobre a Natureza dos Deuses), Livro II Capítulo XXXIV, 45 AEC, o seguinte

“Quod si in Scythiam aut in Brittanniam sphaeram aliquis tulerit hanc, quam nuper familiaris noster effecit Posidonius, cuius singulae conuersiones idem efficiunt in sole et in luna et in quinque stellis errantibus, quod efficitur in caelo singulis diebus et noctibus, quis in illa barbaria dubitet, quin ea sphaera sit perfecta rarione?”

"Caso se levasse à Cita ou à Grã-Bretanha aquela esfera que nosso amigo Posidônio construiu e que, em revoluções sucessivas, mostra o movimento do Sol, da Lua e das cinco estrelas errantes, como esses astros estão girando no céu dia após dia, noite após noite, quem, entre os habitantes desses países bárbaros, iria hesitar em considerar essa esfera como um exemplo perfeito do que pode ser o um trabalho de inteligência?"

Posidônio (c. 135 AEC – c. 51 AEC), foi um grego estoico filósofo, político, astrônomo, geógrafo, historiador e professor nativo de Apamea, na atual Síria. A sua vasta obra, hoje existe apenas em fragmentos. Autores como Estrabão e Plínio forneceram a maior parte das informações, da história, sobre a sua vida. No ano 95 AEC estabeleceu-se na cidade de Rodes onde tomou parte ativa na vida política tendo mesmo chegado a governar a cidade e, posteriormente, se tornou embaixador em Roma (87 – 86 AEC).

Posidônio escreveu sobre física (incluindo a meteorologia e geografia física), a astronomia, a astrologia, a sismologia, a geologia e a mineralogia, a hidrologia, a botânica, a ética, a lógica, a matemática, a história, a história natural, a antropologia e táticas. Foi aclamado como o maior sábio de seu tempo. Seus extensos escritos e palestras deu-lhe autoridade como um estudioso e se tornou famoso em todo o mundo greco-romano, e uma escola cresceu em torno dele em Rodes. Seu neto Jason, seguiu seus passos e deu continuidade à sua escola. Embora pouco se sabe sobre a organização de sua escola, é claro que Posidônio tinha um fluxo constante de alunos gregos e romanos.

Após a morte de Alexandre o Grande aos 32 anos em 323 AEC, a cidade de Rodes, situada no leste da Grécia, ao sul do Mar Egeu, desenvolveu-se em um centro marítimo, comercial e cultural muito importante; suas moedas circulavam quase em toda parte no Mediterrâneo. Suas famosas escolas de filosofia, ciência, literatura e retórica compartilhava mestres com Alexandria, governada pelos Ptolomeus. O 'colosso de Rodes', considerado uma das 7 maravilhas do mundo antigo, foi uma estátua erigida em homenagem ao seu deus Helios, o Sol (fig. 5.6). Em 164 AEC Rodes assinou um tratado com Roma e se tornou o centro educacional para famílias nobres romanas.

O mecanismo pode ter sido construído por Possidônio, como referido por Cícero, e saqueado, juntamente com outros tesouros, da cidade de Rodes em rota para Roma.



Figura 5.6 – O Colosso de Rodes, uma das 7 maravilhas do mundo antigo,

Fonte: de Vos (1614).

5.2.3 Hiparco de Nicea

Hiparco de Nicea (190 AEC - 120 AEC) considerado o mais importante astrônomo da antiguidade, viveu e desenvolveu seu trabalho em Rodes. A maior parte dos estudos sobre Hiparco foi perdida e é conhecida por citações de outros autores, entre eles Geminus de Rodes astrônomo e matemático século I AEC (EVANS, 1998). Geminus publicou *'Introdução aos Fenômenos'* baseado nos trabalhos de Hiparco e destinado a ensinar astronomia a estudantes iniciantes onde descreve o zodíaco e o movimento do Sol, as constelações, a esfera celeste, o dia e a noite, os períodos lunissolar e sua aplicação aos calendários, os eclipses e também algumas curiosidades típicas de almanaque, como a previsão meteorológica pelas estrelas.

Usou extensivamente e aprimorou o modelo de epiciclos embora hoje seja conhecido como de Ptolomeu, que o descreveu no seu famoso tratado o Almagesto 3 séculos depois. Hiparco foi o primeiro a determinar as proporções e as dimensões dos raios das órbitas do epiciclo e do deferente da Lua. Desenvolveu um método geométrico para determinar esses parâmetros a partir de 3 posições da Lua em fases específicas da sua anomalia. Os valores foram inferidos a partir de observações de eclipses lunares em Alexandria nas datas de 22 de setembro de 201 AEC, 19 de março de 200 AEC e 11 de setembro de 200 AEC (TOOMER, 1980). A razão entre os raios do deferente e do epiciclo por ele encontrada foi de 3122 : 247

Hiparco foi o primeiro a formular modelos quantitativos e precisos para o movimento do Sol e da Lua, tendo estimado o ano solar com um erro de 6 minutos de arco. Para isso certamente fez uso de observações e talvez as técnicas matemáticas acumuladas ao longo de séculos pelos babilônios e outros povos da Mesopotâmia. Com essas teorias e a trigonometria por ele desenvolvida, pode ter sido o primeiro a elaborar um método confiável para prever os eclipses solares. Suas outras realizações reputadas incluem a descoberta e a medição da precessão dos equinócios.

Segundo Freeth (2006), o Mecanismo de Antikythera é uma realização mecânica da teoria dos movimentos da Lua de Hiparco e deve ter incluído técnicas similares para modelar a trajetória do Sol e provavelmente dos outros planetas também.

O navio que transportava o dispositivo também continha vasos no estilo criado na cidade grega de Rodes (fig. 6.8). Uma hipótese é que o dispositivo foi construído em uma academia fundada pelo filósofo Posidônio dessa ilha, na época conhecido como um centro de astronomia e mecânica; além disso, esta hipótese sugere que o mecanismo pode ter sido concebido pelo astrônomo Hiparco, uma vez que contém um mecanismo lunar que usa sua teoria para o movimento da Lua. Sabe-se que Hiparco trabalhou entre 140 AEC e 120 AEC em Rodes, que foi um importante porto comercial na época.

Outra teoria afirma que moedas encontradas por Jacques Cousteau, na década de 1970, no local do acidente e datado da época da construção do dispositivo, sugerem que sua

origem pode ter sido a partir da antiga cidade grega de Pérgamo (fig. 5.7). Esta cidade foi também conhecida pela qualidade de sua biblioteca que abrigava muitos pergaminhos da arte e da ciência, somente superada em importância pela biblioteca de Alexandria durante o período helenístico.



Figura 5.7 - Altar de Pérgamo, construção monumental erigida na acrópole da cidade de mesmo nome (atual Turquia), no século II AEC (SPEKKING, 2004).

5.3 Questões suscitadas pelo dispositivo

Um dos mistérios remanescentes é que a tecnologia inventada para o dispositivo parece ter desaparecido. Nenhuma outra civilização acredita-se ter criado algo tão complexo nos 1.000 anos seguintes. Uma explicação poderia ser que o bronze era frequentemente reciclado na época e, portanto, muitos artefatos daquele período teriam sido fundidos e apagados do registro arqueológico. O fatal naufrágio do navio que carregava o Mecanismo de Antikythera foi providencial para preservá-lo.

A complexidade do Mecanismo de Antikythera é indicativa que não deva ter sido uma peça única, mas o resultado de um desenvolvimento ao longo de décadas, quiçá séculos, e provavelmente tenha havido diversas gerações do instrumento.

Embora a construção do Mecanismo de Antikythera seja estimada entre 150 e 100 AEC, o grau de sofisticação da sua mecânica e seu nível de miniaturização é comparável à de um relógio suíço do século XIX. Artefatos tecnológicos de semelhante complexidade e habilidade de mão de obra não reapareceram até o século XIV, quando os primeiros relógios mecânicos astronômicos foram construídos na Europa (FREETH, 2009).

A placa de bronze conhecida como a “tampa frontal” do Mecanismo de Antikythera tinha inscrições na sua parte externa. Os textos contêm dados sobre os ciclos sinódicos para os cinco planetas conhecidos na época e sustentam enfaticamente a ideia de que os movimentos planetários eram exibidos na face frontal do mecanismo usando modelos com epiciclos simples (FREETH; JONES, 2012).

Os remanescentes do artefato encontram-se em exposição permanente no Museu Nacional de Arqueologia de Atenas (NATIONAL ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF ATHENS, 2008).

O mecanismo de Antikythera é uma ferramenta incrivelmente engenhosa e educacional que inova a forma com que o público em geral concebe a ciência e tem estimulado a aproximação de profissionais de áreas distintas como astronomia, matemática, física, tecnologia e filosofia.

6. TRANSVERSALIDADES

6.1 Tópicos de História e Geografia

Alguns conteúdos são praticamente imprescindíveis de serem tratados, como um breve resumo da Magna Grécia e a civilização helenística dos dois últimos séculos anteriores à Era Comum. Diversas figuras proeminentes da história e das ciências desse período também deverão ser lembradas, como Arquimedes de Siracusa, Hiparco de Rodas, Marco Túlio Cícero, Posidônio de Rodas.

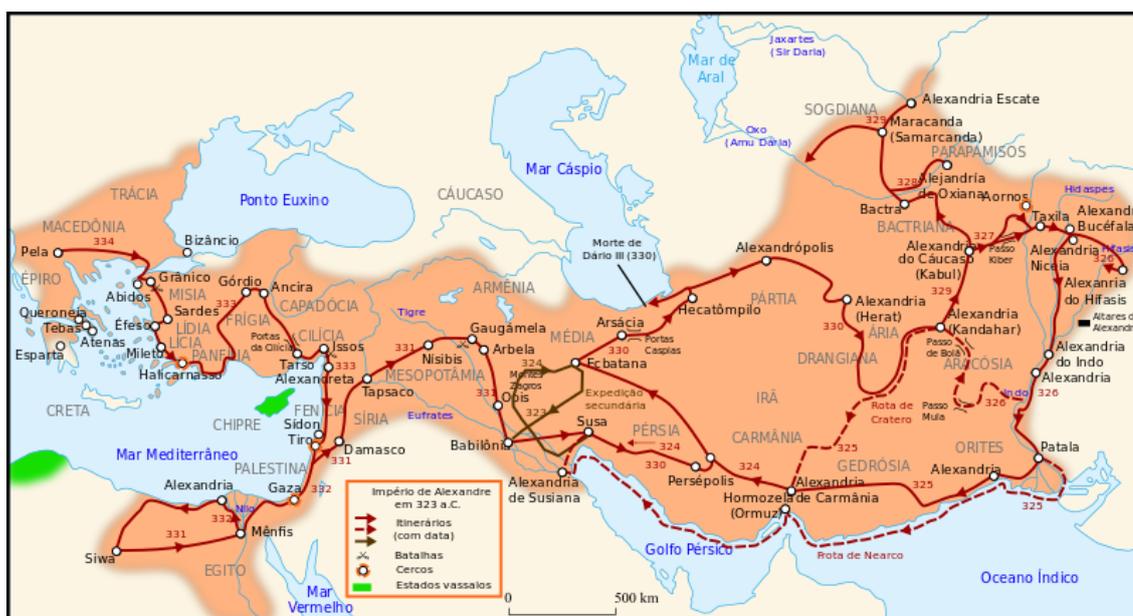


Figura 6.1 - O Império de Alexandre, o Grande, na época de sua expansão máxima (334 – 323 AEC)

Período helenístico

O Período Helenístico (Ἑλληνιστής) refere-se à fase da propagação da cultura grega (Helênica), compreendido entre o ano de 323 AEC, com o fim das conquistas territoriais pela morte de Alexandre, o Grande, até a anexação da Grécia pela Império Romano em 30 AEC, marcada pela morte de Cleópatra VII (fig. 6.2).



Figura 6.2 - Áreas de língua grega durante o período helenístico (323 a 31 AEC.). Em azul escuro estão as áreas nas quais os habitantes que falavam grego eram maioria e em azul claro estão as áreas helenizadas. Fonte: Wikipedia (2017).

Nesse período, a influência cultural grega estava em seu auge na Europa, na África e na Ásia, vivenciando a prosperidade e o progresso nas artes, literatura, teatro, arquitetura, música, matemática, filosofia e ciência, caracterizando a fase de ouro da dinastia Ptolomaica no Egito.

Grego Koiné ou Helenístico foi o idioma comum de grego falado e escrito durante o período helenístico e romano (tab. 6.1). Ele evoluiu da propagação do grego após as conquistas de Alexandre, o Grande, no século IV AEC, e serviu como a língua franca de grande parte da região do Mediterrâneo e do Oriente Médio durante os séculos seguintes.

Greek alphabet			
Αα	Alpha	Νν	Nu
Ββ	Beta	Ξξ	Xi
Γγ	Gamma	Οο	Omicron
Δδ	Delta	Ππ	Pi
Εε	Epsilon	Ρρ	Rho
Ζζ	Zeta	Σσς	Sigma
Ηη	Eta	Ττ	Tau
Θθ	Theta	Υυ	Upsilon
Ιι	Iota	Φφ	Phi
Κκ	Kappa	Χχ	Chi
Λλ	Lambda	Ψψ	Psi
Μμ	Mu	Ωω	Omega

Tabela 6.1 – Alfabeto grego

A soberania romana não rompeu a continuidade da sociedade e da cultura helenística, que permaneceu essencialmente imutável até o advento do cristianismo. Assim, um personagem particularmente importante do final do Período Helenístico, foi Marco Túlio Cícero (106 AEC - 43 AEC), o grande estadista Romano, advogado, estudioso, e escritor que em vão tentou defender os princípios republicanos nas guerras civis que finalmente destruíram a República Romana. Seus escritos incluem livros de retórica, orações, tratados filosóficos e políticos, e cartas. Ele é lembrado nos tempos modernos como o maior orador romano e criador do que ficou conhecido como retórica ciceroniana (HOUAISS, 1993).



Figura 6.3 – Marco Túlio Cícero (106 AEC - 43 AEC)

Como mencionado anteriormente, em sua obra "De Re Publica" Cícero (54 AEC, 1.xiv §2), reproduz um diálogo que teria ocorrido em 129 AEC, entre o matemático Caio Sulpício Galo e o cônsul Lúcio Fúrio Filo. Nessa conversa, é revelado que o general Marcos Cláudio Marcelo afirmou ter levado de volta à Roma, após a captura de Siracusa em 212 AEC, dois mecanismos usados como auxiliares na astronomia, que mostravam os movimentos do Sol, da Lua e de cinco planetas, atribuídos a Arquimedes. Marcelo mantivera um dos dispositivos como seu único saque pessoal de Siracusa, e doara o outro para o Templo da Virtude em Roma.

6.2 Tópicos de História da Arte

Uma vasta coleção de objetos de arte foi recuperada do naufrágio do navio, juntamente com o Mecanismo de Antikythera, incluindo estátuas de bronze, 36 estátuas de mármore representando Zeus (fig. 6.5), Hércules, Ulisses, Diomedes, Hermes e Apollo, três estátuas de mármore de cavalos, uma lira de bronze, várias peças de cerâmica, joias de ouro e uma grande quantidade de moedas. Todo esse tesouro histórico encontra-se em exposição permanente no Museu Nacional de Arqueologia de Atenas - (NATIONAL ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF ATHENS, 2008).

Nessa coleção destaca-se o *Efebo de Antikythera* (fig. 6.4), que foi a primeira de uma série de esculturas gregas de bronze recuperadas no século XX, no Mar Egeu e no Mar Mediterrâneo, que ajudaram a mudar substancialmente a visão moderna das esculturas da Grécia antiga, com datação estimada em 340 AEC (MYERS, 1999). A estátua, que mede 1,94 metros, um pouco maior que o tamanho natural, foi recuperada em numerosos fragmentos e restaurada em 1950, e é considerada um dos produtos mais brilhantes em esculturas de bronze do Peloponeso. Especula-se que represente Paris, Apolo, Heracles ou Perseus (DAFAS, 2015).



Figura 6.4 - Estátua de bronze do Efebo de Antikythera. Fonte: Myers (1999).

O "filósofo de Antikythera", dos quais apenas algumas peças foram recuperadas, é a estátua de um homem de meia-idade com barba e cabelos despenteados. Data de cerca de 240 AEC. Não se sabe ao certo quem ele é; seu olhar intenso é exagerado devido à íris embutida contrastando acentuadamente com a cor escura de sua face de bronze corroído (fig. 6.5).

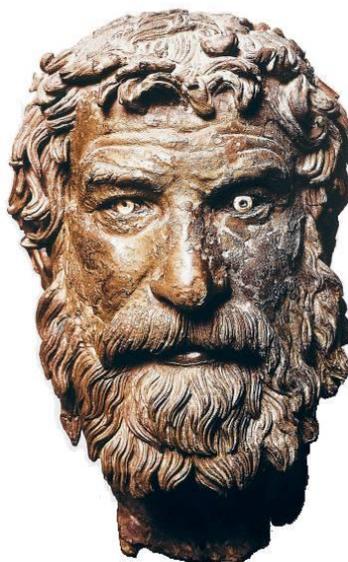


Figura 6.5 – Parte de uma estátua de bronze chamada de “filósofo de Antikythera”, (circa 240 AEC).

Todas as estátuas de mármore são obras do período helenístico, datando de pouco antes do naufrágio. A maioria delas são cópias ou inspiradas por obras gregas anteriores, clássicas ou helenísticas. Há também alguns trabalhos artísticos originais, tais como aqueles que descrevem heróis de Homero. Aquelas que estavam cobertas por sedimentos retêm sua beleza original, enquanto aquelas que ficaram expostas foram muito danificadas por organismos marinhos e se assemelham a rochas sem forma. Algumas estavam parcialmente enterradas e têm uma aparência impressionante (fig. 6.6). Três cavalos, e um quarto que não foi recuperado, provavelmente pertenciam a uma carruagem desaparecida.



Figura 6.6 – Estátuas em mármore fortemente danificadas. A da esquerda representa Zeus e a da direita, um menino, com datações estimadas no início do século I AEC.

Foram encontradas 36 moedas de prata e 40 de bronze. Há moedas da Sicília, datadas entre 187 e 170 AEC e da Ásia Menor, emitidas entre 250 e 210 (fig. 6.7). As cidades de Catania, Panormos, Cnido, Éfeso e Pérgamo figuram entre as que emitiram essas moedas. A presença de moedas no naufrágio de tão diversas regiões mediterrâneas demonstra a grande amplitude do roteiro do navio (KALTSAS; VLACHOGIANNI; BOUYIA, 2012).



Figura 6.7 – Moedas de prata e brincos de ouro, pérolas, esmeralda e granada, com uma figura pendente de Eros (KALTSAS; VLACHOGIANNI; BOUYIA, 2012).

Não há dúvida de que os vasos de vidro excepcionalmente raros e belos do naufrágio de Antikythera não faziam parte do equipamento do navio, mas da sua carga; eles eram mercadorias de luxo que, como as outras obras de arte que o navio estava transportando, provavelmente eram destinados para os mercados de Roma. As mais impressionantes técnicas de vidraria conhecidas do período helenístico estão representadas entre os achados do naufrágio (fig. 6.8).



Figura 6.8 – Peças de vidro e cerâmica encontrada no naufrágio.

Cabe mencionar uma obra de arte que ilustra a relação entre a arte e a ciência durante o Período Helenístico. Trata-se do *Atlas de Farnese* (fig. 6.9), uma cópia romana do século II EC, em mármore, de uma escultura helenística de Atlas, o titã da mitologia grega, ajoelhado, condenado a sustentar o céu em seus ombros por toda a eternidade. É a mais antiga estátua ainda existente de Atlas e, mais importante, a mais antiga representação da *esfera celeste*, a abóboda imaginária acima de nós que contém as estrelas que vemos.



Figura 6.9 – Atlas de Farnese, em exibição no *Museo Archeologico Nazionale di Napoli*.

Apesar do Atlas de Farnese não estar diretamente relacionado com o Mecanismo de Antikythera é oportuno abordá-lo pela sua relação com Hiparco. Uma análise detalhada das coordenadas das constelações da esfera levou Schaefer (2005) a concluir que a estátua original datava de 125 ± 55 AEC e foi baseada no catálogo de estrelas original de Hiparco, atualmente perdido, mas descrito por Ptolomeu em sua obra *Almagesto*. Contudo, como o globo não contém estrelas com posições bem definidas mas sim desenhos de constelações, que embora sejam aproximações razoáveis à distribuição real das estrelas no céu, não fornecem marcadores com precisão suficiente para datar o momento em que o mapa celeste foi elaborado (DUKE, 2006).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A história e a filosofia das ciências englobam o interesse na descoberta e no papel do conhecimento astronômico em culturas antigas. Evidências de transmissão de matemática, calendários e astronomia são indicadores úteis da complexidade da cultura, do contato, da difusão e das relações das civilizações antigas. Toda cultura tem uma cosmovisão — entendimentos e interpretações do universo natural — e as práticas de astronomia refletem o quadro de conhecimento de uma cultura. Muito antes dos primeiros registros escritos, os eclipses desempenharam um papel importante para a compreensão do conhecimento da cosmologia da Terra em diversas culturas.

A astronomia continua aparecendo, ainda que timidamente, não apenas em alguns currículos formais do ensino regular em universidades e escolas, mas também de modo não formal e informal, em meios de divulgação, como jornais, artigos de revistas, programas televisivos, museus de ciências e instituições como planetários e observatórios, além do trabalho, na comunidade, de astrônomos amadores colaboradores (PASACHOFF; PERCY, 1990).

Considerando o ritmo e a dinâmica atual dos processos sociais, bem como a pluralidade de formas de aprender, a formação científica dos indivíduos ultrapassa os limites dos espaços formais de ensino. As mídias sociais propriamente ditas, constituem um vasto campo em que o aprendizado da astronomia permeia. O número de websites e grupos de divulgação e discussão sobre o tema, especialmente no Facebook, chega a atingir centenas. Além da atualização diária com a publicação de conteúdo, notícias e informações internacionais sobre a conquista espacial, as videoconferências, “webconferências”, “hangouts” da Google, transmissões via Skype e outros aplicativos, se multiplicam em ritmo vertiginoso. A disponibilização da presente proposta nesses meios pode ser de utilidade para uso nas redes sociais.

Qual a razão então, nesse momento de ampliação exponencial das fronteiras da ciência, em especial da astronomia, de olharmos para um dispositivo com mais de 2000 anos de idade? Poderíamos dizer que a mencionada expansão das fronteiras do conhecimento

inclui também um olhar mais aprofundado em direção ao passado, que resulta em descobertas jamais imaginadas. Isso é válido tanto para astronomia e cosmologia, que dirigem o seu olhar para o Universo jovem, para a biologia evolutiva e paleontologia, que expandiram seus horizontes de achados fósseis a uma escala de quase quatro bilhões de anos, como para a arqueologia e história, que têm reconstituído as maneiras de pensar e atuar de nossos ancestrais com achados surpreendentes, que impactam no modo como somos hoje.

Foi exatamente o que ocorreu com o processo de decodificação do Mecanismo de Antikythera, que revelou habilidades extraordinárias na construção de artefatos e na compreensão da natureza durante o Período Helenístico. De um modo natural, os achados relacionados ao Mecanismo de Antikythera exibem as relações entre conhecimentos astronômicos e matemáticos, a capacidade de cálculo e de construção de modelos cosmogônicos, a capacidade de construir instrumentos sofisticados, e as diversas funcionalidades associadas, como a navegação, agricultura e organização do tempo nas celebrações religiosas e nas instituições políticas. Os estudos desse dispositivo suscitam considerações tanto de ordem das ciências naturais e da matemática como das humanidades, e mostram como esses campos do saber estão imbricados intimamente, e como desenvolvimentos em uma área do conhecimento induzem transformações em outra área, principalmente em contextos de grande interconexão, algo que é válido não só no mundo atual, mas também no mundo helenístico.

A sucessão de conhecimentos sintetizados no Mecanismo de Antikythera, que remonta aos tempos dos babilônios e caldeus, e têm sido aprimorados ao longo dos séculos, é bem expressa pela clássica metáfora “*Se enxergamos mais longe, é por estarmos sobre os ombros de gigantes*”. Essa frase (do latim “*nanos gigantum humeris incidentes*”), atribuída ao filósofo platônico francês do século XII, Bernard de Chartres (JEAUNEAU, 1968), atesta como descobertas pioneiras mudaram a forma como vemos o mundo.

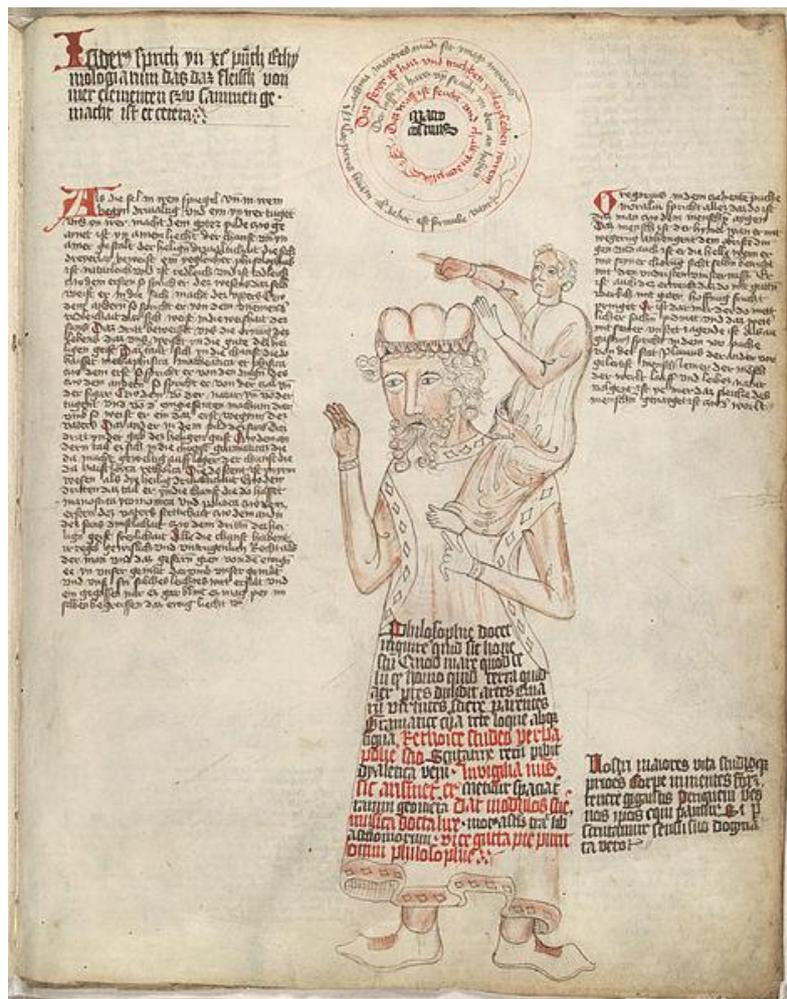


Figura 7.1 - Imagem com origem na mitologia grega: o gigante cego Orion carrega seu servo, Cedalion, nos ombros, para servir como os olhos do gigante. (Figura em domínio público). Fonte: Rosenwald (2006).

Esperamos ter contribuído, não com um curso ou um roteiro de aulas de astronomia, como citado anteriormente, mas com um material contextualizado que poderá constituir-se em um apoio ao educador, tanto em suas atividades na educação formal como na não formal, informal e na divulgação científica de temas relacionados à astronomia, em língua portuguesa.

REFERÊNCIAS

ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJECT (AMRP) Athens, Greece. Disponível em: < <http://www.antikythera-mechanism.gr/>>. Acesso em: 17 jul. 2017. 2005.

BOHR, N. Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics 1949, in: "Atomic Physics and Human Knowledge" Science Edition INC. NY, 1961.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Parte III Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Ministério da Educação, 2000.

BROMLEY, A. Article. The University of Sydney News. p. 39. 29 March 1988.

BUTTET, M. Antikythera SunMoon. 2013. Disponível em: <<http://www.hublot.com/antikythera/>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

CAROL, A. Building Complex Machines Using LEGO. 2010. Disponível em: <http://acarol.woz.org/antikythera_mechanism.html>. Acesso em: 16 ago. 2017.

CICERO, M. T. De Re Publica 1.xiv §2, 54 AEC. Disponível em: <<http://www.ebooksbrasil.org/eLibris/darepublica.html>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

CICERO, M. T. De Natura Deorum (Sobre a Natureza dos Deuses), Livro II Capítulo XXXIV, 45 AEC. Disponível em: <http://agoraclass.fltr.ucl.ac.be/concordances/cicero_dndII/lecture/4.htm>. Acesso em: 16 jul. 2017.

COELHO, N. N. Literatura Infantil: Teoria, análise, didática. São Paulo: Ática, 2000.

DAFAS, K. A The Casting Technique of the Bronze Antikythera Ephebe, em Z. Theodoropoulou-Polychroniadis e D. Evely (eds). *Aegis: Essays in Mediterranean Archaeology presented to Matti Egon by the scholars of the Greek Archaeological Committee* (Oxford), 137-146, 2015.

DE JONG, T.; VAN SOLDT, W. H. The earliest known solar eclipse record redated. *Nature*. 338(6212): 238–240, 1989.

DE VOS, M. O colosso Rhodes. 1614. Disponível em:
<<http://drumsmen.livejournal.com/6537792.html>>. Acesso em: 16 jul. 2017.

DELPORTE, E. *Délimitation scientifique des constellations*. Cambridge University Press, 1930.

DIAS, J. M. et al. As Tecnologias dos Sujeitos da Aprendizagem, Professor e Aluno, como Fator de Distanciamento no Processo de Aquisição de Conhecimento. XVI ENDIPE - Encontro Nacional de Didática e Práticas de Ensino - UNICAMP - Campinas – 2012.

DUKE, D. Analysis of the Farnese Globe. *Journal for the History of Astronomy*, v. 37, n. 126, p. 87 - 100, 2006.

EARL, G. et al. Archaeological applications of polynomial texture mapping: analysis, conservation and representation. *Journal of Archaeological Science*. Elsevier. 37: 1–11, 2010.

EDMUNDS, M. Project Overview. The Antikythera Mechanism Research Project. School of Physics and Astronomy, Cardiff University, 1 Jan. 2007. Web. 26 Jan. 2010.

ESHET, Y. Digital literacy: a conceptual framework for survival skills in the digital era. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*. v.13, n.1, p. 93-106, 2004. Disponível em: < <http://www.editlib.org/p/4793>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

ESPENAK, F. Eclipses and the Saros. 2017. Disponível em:

<<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEsaros/SEsaros.html>>. Acesso em: 23 jul. 2017.

ESPERNAK, F. Mr. Eclipse. 2009. Disponível em:

<<http://www.mreclipse.com/MrEclipse.html>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

EVANS, J., *The History and Practice of Ancient Astronomy*, page 91. Oxford University Press, 1998.

FASSBIND, R. Orbit of the Moon. Wikipedia, 2015. Disponível em:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Orbit_of_the_Moon>. Acesso em: 25 jul. 2017.

FREETH, T. The Antikythera Mechanism 2. Is it Posidonius' Orrery? *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 2, No 2, pp. 45-58, 2002.

FREETH, T. et al. Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism, *Nature* 444, 587-591, 2006.

FREETH, T; JONES A., STEELE, J. M.; BITSAKIS, Y. Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism, *Nature* 454, 614–7, 2008.

FREETH, T. Decoding an Ancient Computer. *Scientific American*. 1, Volume 301, Number 6: 70-83, 2009.

FREETH, T.; JONES, A. The Cosmos in the Antikythera Mechanism, *Institute for the Study of the Ancient World, Papers* 4, February, 2012. Disponível em: <<http://greciantiga.org/arquivo.asp?num=0831>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 36a ed. São Paulo: Paz e Terra, 2007.

GARCIA, P. S.; BIZZO, N. M. V. As motivações de professores de Ciências para formação contínua de professores à distância. In: VIII ENPEC / I CIEC, 2011, Campinas. Atas do VIII ENPEC / I CIEC, 2011.

GRONWALL, C. Motions of the Earth. Astro 10. Penn State's Department of Astronomy & Astrophysics. 2010. Disponível em: http://www2.astro.psu.edu/users/caryl/a10/lec2_2d.html. Acesso em: 15 jul. 2017.

HOUAISS, A. Enciclopédia Mirador Internacional, 1. São Paulo: Encyclopaedia Britannica do Brasil Publicações Ltda., 1993.

HOUAISS, A. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Editora Objetiva, 2009.

IVERSEN, P. The Calendar on the Antikythera Mechanism and the Corinthian Family of Calendars, *Hesperia* 86: 148-164, 2017.

JAMES, Ed. W. Philosophy of science and the occult. Patrick Grim, Ed., Albany: State University of New York Press, 1982.

JEAUNEAU, E. História Breve da Filosofia Medieval: Lisboa: Editorial Verbo, 1968.

KALTSAS, N.; VLACHOGIANNI, E.; BOUYIA, P. The Antikythera Shipwreck: The ship, the treasures, the mechanism. Hellenic Ministry of Culture and Tourism - National Archaeological Museum Ed., 2012.

LANG, K. Astrophysical Data: Planets and Stars. Nova York: Springer-Verlag, 2012.

LANGHI, R.; NARDI, R. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, 4402, 2009.

LAS CUMBRES OBSERVATORY. Space Book. 2010. Disponível em: <https://lco.global/spacebook/earths-moon/>. Acesso em: 25 jul. 2017.

LEFRANÇOIS, G. R. Teorias da Aprendizagem. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

LIMA, T. Psicodrama em sala de aula. São Paulo: Editora Vetor, 1998.

MALZBENDER, T.; GELB, D.; WOLTERS H.; ZUCKERMAN, B., Enhancement of Shape Perception by Surface Reflectance Transformation, Hewlett-Packard Technical Report HPL-2000-38, March 2000.

MARANDINO, M.; SILVEIRA, R. V. M.; CHELINI, M. J.; FERNANDES, A. B.; RACHID, V.; MARTINS, L. C.; LOURENÇO, M. F.; FERNANDES, J. A.; FLORENTINO, H. A, in: Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Bauru: ENPEC, 2004.

MARANGON, C.; LIMA, E. Os novos pensadores da educação. Revista Nova Escola, São Paulo: Abril, agosto, n. 154, p.19-25, 2002.

MARCHANT, J. In search of lost time. Nature. 444 (7119): 534-538, 2006.

MARCHANT, J. Decoding the Heavens: Solving the Mystery of the World's First Computer. William Heinemann Ltd. ISBN 043401835X, 2008.

MARCHANT, J. Decoding the Heavens: A 2,000-Year-Old Computer – And the Century-Long Search to Discover Its Secrets. Da Capo Press. ISBN: 978-0-306-81742-7, 2009.

MARCHANT, J. Ancient astronomy: Mechanical inspiration. Nature 468, 496-498, 2010.

MARTINS, R.A. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. Pp. xxi-xxxiv, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MIR 27 Astronomy Picture of the Day. 1999. Disponível em: <<https://apod.nasa.gov/apod/ap990830.html>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

MOUSSAS, X. et al. The gears of the Antikythera Mechanism: an educational pathfinder to the solar system. *The Role of Astronomy in Society and Culture*, E1, 1 of 4, Proceedings IAU Symposium, D. Valls-Gabaud & A. Boksenberg, Eds., No. 260, 2009.

MYERS, E. S. *The Antikythera Youth in its context*. Tese de mestrado, Louisiana State University, U.S.A., 1999.

NASA Technology Through Time Issue #32: Ancient Babylon. 2006. Disponível em: <https://sunearthday.nasa.gov/2006/locations/babylon.php>. Acesso em: 25 jul. 2017.

NATIONAL ARCHAEOLOGICAL MUSEUM OF ATHENS (2008). Disponível em: <<http://www.namuseum.gr>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

OLIVEIRA FILHO, K.; SARAIVA, M. F. *Astronomia e Astrofísica*, Ed. Livraria da Física, 2004.

ORION 8 – Moon Phases. 2010. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11219265>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

PASACHOFF, J.; PERCY, J. *The Teaching of Astronomy*, Cambridge, U. Press, 1990.

PIAGET, J. L'Épistémologie des Relations Interdisciplinaires. In: *L'interdisciplinarité: problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités*, ed. Apostel, L., Berger, G., Briggs, A. & Guy Michaud, G., p. 154–171. Organisation de Coopération et de Développement Économique, Paris, 1972.

PIETROCOLA, M, et al. *Física - Conceitos e Contextos: Pessoal, Social e Histórico*

Editora FTD, 2013.

PRICE, D. S. J. An Ancient Greek Computer, *Scientific American*, Volume 200, p.66, 1959.

PRICE, D. S. Gears from the Greeks. The Antikythera Mechanism: A Calendar Computer from ca. 80 B. C. *Transactions of the American Philosophical Society, New Series*. Vol. 64, No. 7, 1–70. 1974.

PRICE, D. S. Gears from the greeks, the antikythera mechanism. New York : Science History, 1975.

PRICE, D. An Ancient Greek Computer. *Scientific American*. 1, Volume 200, Number 6: 60-67, Jun. 1979.

PIAGET, J. Problemas gerais da investigação interdisciplinar e mecanismos comuns. Tradução Maria Barros. Paris: Bertrand, 1970.

ROGERS, J. H. Origins of the ancient constellations: I. The Mesopotamian traditions. *Journal of the British Astronomical Association*, vol.108, no.1, pp. 9-28, 1998.

ROSENWALD, L. J. Encyclopedic manuscript containing allegorical and medical drawings, Library of Congress, 4, Bl. 5r, 2006.

SAGREDO, C. Solar Eclipse. 2008. Disponível em:

<<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3653837>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

SANTOS, C. M. D.; ALABI, L. P.; FRIAÇA, A. C. S.; GALANTE, D. On the parallels between cosmology and astrobiology: a transdisciplinary approach to the search for extraterrestrial life. *International Journal of Astrobiology*, vol. 15, n. 4, p. 251-260. 2016.

SCHAEFER, B. E. The epoch of the constellations on the Farnese Atlas and their origin in Hipparchus's lost catalogue. *Journal for the History of Astronomy*, Vol. 36, Part 2, No. 123, p. 167 - 196, 2005.

SOGUMO, F. Eclipse Solar. 2007. Disponível em:
<<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3293834>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

SPEKKING, R. Pergamon Altar CC BY-SA 4.0 (via Wikimedia Commons), Pergamon Museum in Berlin, 2004.

TOOMER, G. J. Hipparchus' Empirical Basis for His Lunar Mean Motions. *Centaurus*, 24: 97–109, 1980.

VICENTINI, M. M. La Macchina Celeste di Antikythera: frammenti di genio di una scienza leggendaria. 2007. Disponível em:
<<http://www.mogi-vice.com/Antikythera/Antikythera-it.html>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

VINCENTINI, M. M. The Antikythera Mechanism 3D. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=6nNkxmq0U8I&t=20s>>. Acesso em: 31 jul. 2017

WIKIPEDIA Koine Greek. 2017. Disponível em:
https://en.wikipedia.org/wiki/Koine_Greek. Acesso em: 25 jul 2017.

WIKIPEDIA Solstício. 2006. Disponível em:
<<https://pt.wikipedia.org/wiki/Solst%C3%ADcio>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

WILFORD, J. Discovering How Greeks Computed in 100 B.C. *The New York Times*. 2008. Disponível em:

<www.nytimes.com/2008/07/31/science/31computer.html?mcubz=1>. Acesso em: 23 jul. 2017.

WITTE, S. Lunar Eclipse Diagram. Smithsonian National Air and Space Museum. 2010. Disponível em: <<https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/web11718-2010640jpg>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

WRIGHT, M.T., BROMLEY, A. G.; MAGKOU, E. Simple X-Ray Tomography and the Antikythera Mechanism, PACT 45, Proceedings of the conference Archaeometry in South-Eastern Europe, pp. 531-543, 1995.

WRIGHT, M. T. In the Steps of the Master Mechanic, Proc. Conf. Ancient Greece and the Modern World, University of Patras, pp. 86 – 97, 2003.

WRIGHT, M; VINCENTINI, M. M. Virtual Model of the Antikythera Mechanism by Michael Wright and Mogi Vicentini. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=bAqqA3fMwI8>>. Acesso em: 31 jul. 2017.