

As investigações e os experimentos históricos que levaram à determinação da velocidade da luz: parte 1

Las investigaciones y experimentos históricos que llevaron a la determinación de la velocidad de la luz: parte 1

The historical investigations and experiments that led to the determination of the speed of light: part 1

DOI: 10.22481/rbba.v14i2.15117

Carlos Takiya

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2222-3198>

Id. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6591206454491954>

Endereço eletrônico: takiya@uesb.edu.br

Luan Santos Lemos

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, Brasil

Id. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9056768052086282>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2414-4191>

Endereço eletrônico: luan.santoslemos144@gmail.com

RESUMO

Neste artigo apresentamos um breve estudo histórico sobre o desenvolvimento do entendimento humano sobre a velocidade da luz. Esta é uma pesquisa bibliográfica direcionada a descrever eventos da história da ciência. Ao longo da história, o ser humano em diversas culturas, sempre se mostrou curioso sobre a luz e as suas propriedades, uma dessas é sua velocidade extremamente rápida, a luz se espalha em todas as direções simultaneamente, e muitos questionavam se a luz precisaria de tempo para preencher todos os pontos do espaço. Ao longo da história, muitos filósofos ficaram indecisos, afinal

Publicado sob a Licença Internacional – CC BY

ISSN 2316-1205	Vit. da Conquista, Bahia, Brasil / Santa Fe, Santa Fe, Argentina	Vol. 14	Num.2	Dez/2024	pps.278-303
----------------	--	---------	-------	----------	-------------

Submissão: 26/07/2024

Aprovação: 05/12/2024

Publicação: 12/12/2024

a luz possui uma velocidade finita ou é simultânea? A resposta definitiva a esse questionamento só viria no século XVII, com o trabalho astronômico de Olé Roemer, que estudando as imersões e emersões do primeiro satélite de Júpiter (Io), observou que, para explicar o atraso na órbita prevista de Io, era necessário admitir uma velocidade finita para a luz, Roemer tendo obtido uma estimativa para o tempo que a luz demora para percorrer a órbita Terra-Sol, com esses dados em mãos Huygens veio a calcular a velocidade da luz que foi de 210000 km/s.

Palavras chave: Velocidade da luz. Propagação da luz. Emersões e Imersões. Satélite Io. Efemérides

RESUMEN

En este artículo presentamos un breve estudio histórico del desarrollo de la comprensión humana de la velocidad de la luz. Se trata de una investigación bibliográfica orientada a describir acontecimientos de la historia de la ciencia. A lo largo de la historia, los seres humanos en diferentes culturas siempre han sentido curiosidad por la luz y sus propiedades, una de las cuales es su velocidad extremadamente rápida, la luz se propaga en todas direcciones simultáneamente y muchos se preguntaron si la luz necesitaría tiempo para llenar todos los puntos del espacio. A lo largo de la historia, muchos filósofos se han mantenido indecisos, al fin y al cabo, ¿la luz tiene una velocidad finita o es simultánea? La respuesta definitiva a esta pregunta no llegaría hasta el siglo XVII, con el trabajo astronómico de Olé Roemer, quien, estudiando las inmersiones y emergencias del primer satélite de Júpiter (Io), observó que, para explicar el retraso en la órbita prevista de Io, Era necesario admitir una velocidad finita para la luz, habiendo Roemer obtenido una estimación del tiempo que tarda la luz en recorrer la órbita Tierra-Sol, con estos datos en la mano Huygens llegó a calcular la velocidad de la luz, que era de 210.000 km/s.

Palabras clave: Velocidad de la luz. Propagación de la luz. Emergencias e Inmersiones. Satélite Io. Efemérides

ABSTRACT

In this article, we present a brief historical study on the development of human understanding of the speed of light. This is a bibliographic research aimed at describing events in the history of science. Throughout history, human beings in various cultures have always been curious about light and its properties. One of these is its extremely fast speed. Light spreads in all directions simultaneously, and many have

questioned whether light would need time to fill all points in space. Throughout history, many philosophers have been undecided. After all, does light have a finite speed or is it simultaneous? The definitive answer to this question would only come in the 17th century, with the astronomical work of Olé Roemer, who, studying the immersions and emergences of Jupiter's first satellite (Io), observed that, in order to explain the delay in Io's predicted orbit, it was necessary to assume a finite speed for light. Roemer obtained an estimate for the time it takes for light to travel the Earth-Sun orbit. With this data in hand, Huygens calculated the speed of light, which was 210,000 km/s.

Keywords: Speed of light. Propagation of light. Emersions and Immersions. Satellite Io. Ephemeris

INTRODUÇÃO

A história da determinação da velocidade da luz é muito longa, desde os tempos antigos os pensadores das mais diversas culturas se questionavam sobre o que é a luz e quão rápida ela pode ser, o estudo da óptica deu impulso a esses questionamentos, a óptica na antiguidade foi um campo que se desenvolveu ao longo de milênios, com contribuições de diversas civilizações espalhadas pelo mundo, e apesar da falta de instrumentos científicos avançados e da compreensão incompleta da natureza da luz, os estudiosos da época fizeram descobertas notáveis, o entendimento de que a luz viaja em linha reta não era consenso entre os pensadores, alguns filósofos da antiguidade acreditavam em tal premissa outros a desacreditavam, mas essa suposição foi um dos mais importantes conceitos da óptica antiga, foi com base na hipótese da propagação retilínea da luz que o matemático grego Euclides de Alexandria (III a. C.), deu início ao estudo científico da óptica, inaugurando aquela ciência que depois seria denominada óptica geométrica.

A óptica de Euclides, exposta em sua obra “Óptica” (*Ὀπτικά* em grego), se baseia principalmente na análise geométrica da visão, essa abordagem, embora limitada em termos da compreensão da física da luz e do olho, deu origem a ciência da óptica em seu aspecto mais quantitativo e menos especulativo, o uso da geometria para a análise dos fenômenos ópticos, como a reflexão e a refração impulsionou a investigação geométrica da luz, o que deu a óptica antiga um aspecto mais científico, mesmo que não deve ser ignorado a falta de instrumentos adequados a descrição precisa dos fenômenos referentes à luz. Euclides propôs que a luz se

propaga em linhas retas, o que explica por que vemos os objetos em suas posições reais, além disso, ele formulou o conceito de ângulos visuais, ou seja, o tamanho aparente dos objetos depende do ângulo visual que formam com o olho, além de ter formulado o conceito de “cone visual” um elemento preponderante em sua teoria da visão.

A análise geométrica que Euclides faz da visão funda-se na redução da visão a um modelo geométrico, no qual o campo visual é tomado como uma coleção, ou agregado, de “raios visuais” concebidos como linhas retas geométricas discretas e divergentes, as quais aparecem como o último termo da análise. Essa coleção de linhas retas “visuais” divergentes, em cuja origem encontra-se o olho, assume a forma estereométrica de um cone geométrico, conhecido na tradição como “cone visual”, em cuja base encontra-se a figura daquilo que é visto, isto é, a superfície interceptada pelo feixe divergente de linhas retas visuais - entidades estas que possuem uma natureza híbrida, geométrico-sensível. A suposição fundamental que permite geometrizar o olhar é, então, a de que a visão é definida por um “cone de raios visuais”, isto é, uma “figura geométrica” constituída por uma coleção de “linhas retas” divergentes, uma figura que tem como sua base aquilo que é visto e como seu vértice o olho, ou a origem da emissão ocular. Assim, o geômetra confere ao olhar a forma de um cone geométrico projetado a partir do olho e, olhando com sua ciência esse olhar, ele deduz, ou deriva, um conjunto de relações geométricas (angulares) entre o olho e aquilo que aparece (Neto, 2013, p. 881-882).

Seja na óptica geométrica ou nas especulações filosóficas sobre a natureza da luz, uma questão constante que sempre aparecia era sobre a velocidade da luz, ela é finita ou infinita? Por muito tempo esse foi um assunto de grande debate, entre os filósofos, alguns acreditavam que a velocidade da luz não ultrapassava um valor fixo, porém, essa sugestão não se sustentava devido a velocidade praticamente instantânea com que se observava a luz se propagar, assim, o argumento de a velocidade da luz ser infinita também seria reforçado, esse cenário de dúvida se perpetuou ao longo de todo o período antigo e medieval tendo um importante desenvolvimento também na era medieval, apenas no século XVII, aparecem investigações e novas abordagens para entender a situação com o uso de técnicas experimentais, o que abriu novos caminhos para decifrar a questão que por tanto tempo vinha intrigando os estudiosos.

Para este estudo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, utilizando a revisão sistemática da literatura como método principal. O objetivo é identificar, analisar e sintetizar os principais estudos que investigam a questão da descoberta da velocidade da luz, foram procuradas tanto fontes primárias como secundária, livros, artigos que abordassem a questão em discussão no presente trabalho.

UMA BREVE DISCUSSÃO SOBRE A ÓPTICA ANTIGA ATÉ A MODERNIDADE

Existe uma relação muito próxima entre a ciência e a evolução econômica, social, técnica, religiosa, política do período histórico (Silva, 2013), ao qual, a ciência está sendo desenvolvida, cada período da história tem fatores que influenciam no progresso científico de uma dada sociedade. Dentre as sociedades do mundo antigo a que reuniu as melhores condições para o avanço do estudo científico foi aquela que floresceu na Grécia Antiga, foram os gregos os maiores pensadores do mundo antigo, eles fundaram muitos campos formais do conhecimento que temos hoje, a filosofia, surgiu e progrediu em solo grego, a física, a astronomia, a matemática, a medicina dentre tantos outros campos se desenvolveram de maneira nunca antes vista.

Aos gregos coube a glória de terem sido os primeiros a romper as algemas do conservadorismo e a libertar a Razão, capacitando-a a realizar sua obra. Ademais do brilhantismo nos diversos campos da Educação, das Artes, do Direito, da Política e da Filosofia, os gregos foram, assim, os criadores da Ciência e os iniciadores do espírito científico. Trata-se de uma obra que não pode ser atribuída a um indivíduo de gênio, ou mesmo a uma geração privilegiada, mas cujo desenvolvimento e aperfeiçoamento seriam frutos de longo e complexo processo, como atesta sua evolução desde seu começo (Rosa, 2012, p. 100).

Apesar de ciências como a física e a óptica já ter tido algum avanço em outras culturas menos avançadas do que a dos gregos, foram com esses últimos que a óptica iniciou o seu estudo teórico, de forma que conceitos com a reflexão, refração, propagação dos raios luminosos, a origem da visão, natureza da luz passaram a ser abordados. Foram os gregos que deram origem ao campo da óptica, como uma ciência teórica, e não presa somente ao domínio prático, antes dos gregos as culturas do oriente possuíam certos conhecimentos da óptica, conheciam alguns princípios da luz, porém, só tinham tais noções devido ao seu saber prático com espelhos e lentes. Portanto, apesar de outras culturas, como os chineses, indianos, mesopotâmios, etc., terem certos saberes sobre essa ciência, eles não formalizaram o seu saber como um campo científico, foram apenas os filósofos gregos no mundo antigo que tornaram a óptica um campo formal do conhecimento, logo o caso grego é o único que interessa aqui, porque é o que levou à um *corpus* de literatura especializada sobre a qual mais tarde a ciência europeia e mediterrânea dependia muito (Darigol, 2012).

De tal atitude mental e intelectual, decorreriam: 1) as várias correntes filosóficas (jônica, pitagórica, atomista, eleática, sofista, estoica, platônica, aristotélica, cética, epicurista), numa demonstração de grande capacidade especulativa, e 2) as diversas Ciências (Matemática, Astronomia, Mecânica, Óptica, História Natural, Medicina), fruto do pensamento científico, surgido da mentalidade inquisitiva e racional (Rosa, 2012, p. 108).

Na tradição grega surgiu duas vertentes explicativas para os fenômenos ópticos, que foram o atomismo e a doutrina mediunista (Darigol, 2012), foi na Grécia antiga onde a óptica teve o seu maior desenvolvimento na antiguidade, juntando os saberes práticos e teóricos e há certos registros de experimentos com espelhos, sendo o jogo com espelho atribuído por alguns a Arquimedes. Os filósofos naturais gregos, em geral, se interessavam bastante pelos fenômenos luminosos, e de suas meditações surgiram essas duas entre as mais importantes teorias desse campo na antiguidade. A primeira deu origem a concepção corpuscular da luz, o corpuscularismo da luz é uma teoria que propõe que a luz é composta por partículas diminutas, chamadas de corpúsculos, essa ideia tem a suas raízes na antiguidade entre os filósofos gregos, Empédocles (490-430 a. C) sendo ele um dos primeiros dentre os pensadores gregos que deram origem a ideia de que a luz é formada por pequenas partículas invisíveis a olho nu, e que se moviam com velocidades infinitas ou velocidade tão altas que superavam a percepção humana.

Muitos foram os filósofos que especularam sobre o caráter elementar da luz, a escola atomística de Leucipo e Demócrito especulava não apenas em relação a natureza da matéria, mas também levantaram hipóteses físicas para descrever a origem e a constituição da luz, Demócrito (460-370 a. C), declarou explicitamente a existência de átomos de luz que se moviam a altas velocidades, tal conceito rejeitado ou ignorado pela maioria dos seus contemporâneos, só seria novamente retomado pelo epicurista romano Lucrécio (94-50 a.C), que defendeu a sua tese corpuscular da luz na sua única obra conhecida, o poema “*De Rerum Natura*”, onde ele descreve que os corpúsculos de luz são como finas películas que emanam dos corpos, essas ideias foram sustentadas por outros atomistas antes dele, alguns desses filósofos atomistas afirmavam que saíam películas de átomos das superfícies dos corpos que chegavam até nós, transmitindo a sua forma e cor (Martins, 2015).

A segunda das vertentes surgidas em solo grego é a chamada a teoria mediunista (Darrigol, 2012), e ela teve como precursores Alcmeão (~510 a. C), Platão (428-347 a. C), Aristóteles (384-322 a. C), entre outros, tal teoria dizia respeito à como ocorre a visão, segundo os seus defensores a visão ocorre devido à certos raios que eram emitidos pelos olhos, ou seja,

os olhos emanam raios visuais em todas as direções, esses raios se combinam com as emanções dos objetos, e da combinação de ambos os raios visuais ocorre a formação da imagens na retina que são transmitidas ao cérebro. Aristóteles tomou o seu próprio caminho na construção de sua óptica (Neto, 2013), na verdade, sua teoria da visão apresenta elementos de ambas as doutrinas, a atomística e a mediunista, buscando uma síntese que atendesse às suas observações e explicações, a teoria da recepção, proposta por Aristóteles, sugeria que a luz não era emitida pelos olhos, mas sim um tipo de modificação do ar causada pelos objetos.

[Outra] alternativa para explicar a experiência visual é aquela elaborada por Aristóteles no segundo livro do *De anima*. Em consonância com sua física, a visão não é o resultado de algum tipo de emissão, quer seja a partir do órgão sensorial, que seja a partir das coisas visíveis. Com efeito, não existe qualquer tipo de emissão no mundo de Aristóteles, e também não há qualquer tipo de transporte ou troca material entre o órgão da visão e aquilo que se vê. O que há são somente atualizações de qualidades. Contudo, ainda que recuse qualquer tipo de emissão para explicar a visão, a doutrina de Aristóteles pode ser considerada como uma versão mais refinada de uma teoria visual intromissionista, uma vez que a sensação consiste, em geral, na “recepção de formas sensíveis sem a matéria” (Neto, 2013, p. 881-882).

Depois da queda da civilização grega, e o fim da sua tradição filosófica e científica, e com o declínio causado no ocidente no início da Idade Média, o mundo demorou alguns séculos até voltar novamente a cultivar a óptica, isso veio a ocorrer, notoriamente, no mundo islâmico, os filósofos árabes que tiveram contato com a filosofia natural grega, se interessaram pelo assunto e voltaram a debater as teorias gregas, os árabes não apenas reproduziram o pensamento grego, como também propiciou o seu avanço, eles realizaram descobertas inovadoras, dentre os maiores estudiosos da óptica islâmicos, temos os nomes de Abu Ali Haçane Alhaitame (965-1040) mais conhecido como Alhazém e Ibn Al-Haytham (965-1038).

A teoria Mediunista foi debatida e questionada tanto por vias teóricas como também por experiências realizadas com espelhos. Foram os árabes que propuseram que a visão ocorre através da luz que vem dos objetos até os nossos olhos (Silva, 2013), eles também passaram a entender que o arco-íris era produzido por efeitos de refração e reflexão da luz nas gotas de água da chuva, foram ampliados os resultados da óptica geométrica euclidiana. Depois do fim do período de protagonismo do mundo mulçumano, a Europa ocidental iniciou um período de rápido desenvolvimento intelectual, a partir do renascimento, foi nessa época que o uso sistemático de lentes para vários fins foi posto em prática, a “câmara escura” foi aperfeiçoada

(Silva, 2013), a tecnologia ocular passou por grande avanço, o estudo da visão e da anatomia do olho também foi desenvolvido, e no fim do século XVI e início do XVII, todo esse saber prático levou a invenção das primeiras lunetas e depois com Galileu, vemos o surgimento dos primeiros telescópios.

Com tantas novidades propiciadas pelo alvorecer do conhecimento científico na Europa após o renascimento, o século XVII figura como um dos mais importantes períodos da história da óptica, viu-se nessa época os maiores avanços dessa ciência como nunca se havia visto antes, Kepler na sua obra apresenta um amplo estudo das lentes, das propriedades dos telescópios, cria novos conceitos ópticos, revela notável habilidade na construção de instrumentos ópticos, no tratamento da óptica geométrica; Descartes foi outro que esteve altamente envolvido no processo de modernização da óptica de sua época, ele recusou as teorias vigentes, como o atomismo, e passou ele mesmo a criar a sua óptica, fez uso dos princípios de sua física e de sua matemática e geometria, a lei de Snell foi independentemente descoberta experimentalmente por Willebrord Snell van Royen (1580-1626) em 1621, e por Descartes um pouco depois, Huygens outro cientista holandês que empreendeu experiências com lentes e também estudos teóricos sobre a óptica.

O período de ouro da óptica, na alvorada da ciência moderna, ocorreu com Isaac Newton (1642-1727), Newton em sua principal obra sobre o assunto *Opticks (A treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light)*, esse livro contém uma boa parte da extensão de pesquisas realizadas por Newton, por um longo período de sua vida. As descobertas de Newton estão entre as mais relevantes desse século e de toda a história da óptica, ele elabora a mais precisa teoria da luz de sua época, refuta e supera a óptica de Descartes em muitos aspectos, propõe que a luz é formada por todas as cores do espectro, apresenta o seu *experimentum crucis*, elabora uma detalhada explicação sobre a natureza corpuscular da luz, descobre os anéis de Newton, estuda a difração, a polarização, estuda as lentes, os espelhos, como resultado de seus estudos teóricos, apresenta um novo tipo de telescópio, o telescópio de reflexão que usava espelhos ao invés das lentes, estudou e resolveu o problema da aberração cromática presente nos telescópios de lentes, dentre muitos outros feitos, portanto, Newton pode ser considerado umas das figuras que mais contribuíram para o avanço da óptica.

O DESENVOLVIMENTO DAS CONCEPÇÕES SOBRE A VELOCIDADE DA LUZ

Uma pergunta que permaneceu viva e foi bastante recorrente durante todo esse período de desenvolvimento da óptica, foi sobre a velocidade da luz, qual a velocidade que a luz possui, independente de qual seja a sua natureza, os filósofos acreditavam que a luz era um fenômeno natural dinâmico, ou seja, a luz é o fenômeno resultante do movimento de “partículas” ou ondas luminosas, todavia, a luz se move com velocidade indefinida, então questionavam os filósofos, qual a sua velocidade, ela é finita ou é infinita?

Entre os filósofos gregos há discussão sobre qual poderia ser essa velocidade, de forma geral, não se pode dizer que havia um consenso, como tudo na filosofia natural dos gregos, a óptica esteve assentada sobre as teorias da visão. Dentre as principais teorias da visão surgidas na tradição grega, temos aquela devida a Euclides, na sua obra *Catoptrique*, ele além de estudar geometricamente a luz, estuda o tipo de propagação emitida pelos raios do sol, e conclui pela propagação retilínea, entretanto, na óptica euclidiana confunde-se o problema da visão com o problema da propagação da luz (Silva, 2013), Heron de Alexandria (10-80 d. C) também veio a corroborar com a proposta de Euclides, explicando que a propagação retilínea e o fenômeno da reflexão se devia ao fato de a luz percorrer o caminho mais curto entre dois pontos (Silva, 2013), Euclides na *Catoptrique*, expressa a sua convicção de que os raios visuais se moverem com '*velocitas infinita*' (Silva, 2013), ou seja, para Euclides a velocidade da luz seria uma grandeza infinita, a sua posição sobre a luz contrariava as ideias de Empédocles, que assumia que a luz possuía velocidade finita, apesar de ser extremamente alta. Algumas fontes históricas divergem sobre a posição de Euclides sobre a velocidade da luz (Laporte, 2017), admite que Euclides assumia que a luz viaja a uma velocidade finita, como nós diz no trecho a seguir,

Na antiguidade, grande parte dos pensadores aceitavam que a velocidade da luz era infinita. O pré-socrático Empédocles de Acragas (490-435 a. C) discordou dessa ideia. Em sua denominada 'teoria da emissão', ele argumentava que a existência de todas as coisas era constituída por quatro elementos: terra, água, fogo e ar. Sendo nossos olhos constituídos pela base elemental do fogo. No sentido proposto por Empédocles, eles seriam os responsáveis pela produção da luz, que tornaria a nossa visão possível. Assim, o fogo em nossos olhos emitia luz, que se movimentaria com velocidade finita até um determinado objeto, iluminando-o e o tornando visível. Filósofos como Platão (427-347 a. C) e Euclides (320-270 a. C) admitiam a explicação de Empédocles (Laporte, 2017, p. 55).

De acordo com (Silva, 2013) a maioria dos estudiosos antigos tinham a ideia de que a luz se manifesta de forma instantânea, essa percepção vinha de diversas constatações cotidianas, como a rapidez com que a luz do sol ilumina ambientes escuros quando é aberto algum orifício, a rapidez com que sinais luminosos emitidos por espelhos podem ser percebidos a longas distâncias por algum observador, a incidência simultânea da luz em objetos que se encontram a distâncias diferente da fonte, essas e muitas outras constatações levaram a muitas pessoas leigas ou até mesmo estudiosos respeitados do mundo antigo e medieval a postularem a infinitude da velocidade da luz.

Platão especulava em sua teoria que havia uma junção de um fogo visual com a iluminação a partir de um corpo externo, resultando um fluxo de substâncias materiais, luz e fogo (Silva, 2013), de acordo com essa teoria de Platão, dava para se deduzir que a opinião de Platão era a de que a luz tinha uma velocidade finita, Aristóteles segue a ideia da propagação instantânea da luz, e para sustentar essa sua visão ele compara a propagação da luz com o congelamento da água, que quando ocorre, se espalha por todo o corpo no mesmo instante (Silva, 2013), no pensamento de Aristóteles, nem seria tão apropriado comparar a luz como um tipo de movimento, pois ao contrário dos corpos materiais que se movem através de trajetórias bem definidas, a luz difunde-se e espalha-se instantaneamente por todas as direções e preenchendo todo o espaço. A óptica, como já vimos, ainda seria objeto de especulação para Heron de Alexandria que estudou os fundamentos da óptica e além de ter sido o primeiro a propor o princípio de que a luz sempre segue o trajeto ou o caminho mais curtoⁱ (Tossato, 2007), ele segue em muitos aspectos os pressupostos de Euclides e aponta para a infinitude da velocidade da luz.

Cláudio Ptolomeu (90-168 d. C) o famoso astrônomo grego, também foi outro que estudou os princípios da óptica, baseando os seus escritos na óptica de Euclides, Ptolomeu em seu livro sobre o assunto estudou a reflexão, e tentou estabelecer em bases firmes a lei da refração, algo que era pouco conhecido na época e que ele não teve sucesso, assim como o seu antecessor ele construiu a sua óptica com bases geométricas, e tendo seguido a tradição de Euclides é provável que tenha assumido a mesma conclusão de Euclides sobre a velocidade dos raios visuais (Tossato, 2007).

Na antiguidade tardia St. Agostinho (354-430 d. C) também discutiu sobre a questão, e ele acreditava que os raios visuais eram instantâneos, onde ele divide a sua explicação entre o ponto de vista temporal e espacial; do ponto de vista temporal a luz propaga-se

simultaneamente, enquanto que do ponto de vista espacial a luz se propaga percorrendo sucessivas porções do espaço, uma imediatamente após a outra (Silva, 2013). Os dois pontos de vista estão relacionados entre si, Agostinho complementa a sua argumentação dizendo que toda e qualquer tentativa de medida da mesma é impossível, pois se trata de uma grandeza com dimensão tão grande que foge ao escopo de qualquer medida.

No período medieval, em meio a fragilidade intelectual europeia, foram os pensadores árabes que tomaram a dianteira no estudo científico e filosófico, um dos principais pesquisadores árabes do campo da óptica foi Ibn Al-Haytham (965-1040) ou conhecido por seu nome latino Alhazen, ele promove uma revisão dos conceitos da óptica, apontando que a luz pode ser emitida por corpos luminosos, que é a denominada luz substancial e o outro tipo de luz possível é a luz emitida por corpos iluminados, que produz a chamada luz acidental, além disso, Alhazen estudou os mecanismos de formação de imagens por reflexão, estudou câmaras escuras, explicou o funcionamento de um corpo-ecrã, com isso, ele separou as condições da propagação da luz das da visão (Silva, 2013), com os seus estudos com o corpo-ecrã e a câmara escura Alhazen conclui que a luz se propaga de uma abertura ou orifício até o ecrã, num certo intervalo de tempo – apesar de ser muito rápido –, logo a concepção desse filósofo se enquadra no ideal da finitude da velocidade da luz. É também devido a esse filósofo árabe que encontramos pela primeira vez a associação do fenômeno da refração com a mudança da velocidade da luz ao mudar de meio, encontramos essa inovação no seu principal tratado de óptica o *Discurso da Luz*, Alhazen também aperfeiçoou a lei da reflexão (Silva, 2013).

Ainda nesse período, a velocidade da luz ainda foi discutida na obra de filósofos latinos do final na Baixa Idade Média, influenciados, principalmente, pelas obras de autores mulçumanos que começaram a entrar na Europa e a influenciar os estudiosos latinos. De acordo com (Silva, 2013), na Idade Média quando os autores investigavam a velocidade da luz, só podiam escolher entre duas alternativas: 1) infinita ou finita ou 2) em termos do tempo, ou seja, instantânea ou no tempo. Os filósofos entraram em contato não apenas com a óptica dos árabes, também traduziram do árabe ou até mesmo do próprio grego, obras de óptica dos antigos gregos, foi a partir daí que tiveram maior contato com as doutrinas de Platão e Aristóteles sobre a luz, as concepções de Euclides já haviam sido divulgadas pelos mulçumanos.

A teoria de Platão foi a dominante antes do influxo de traduções, porém, a teoria do fogo visual passou a encontrar rivais, cada vez em maior número, principalmente a partir do século XIII. Dentre os mais conhecidos estudiosos da óptica da Europa Latina, encontramos o nome

de Roger Bacon (1214-1294) esse estudioso inglês assume uma postura independente, reavalia a teoria de Aristóteles, de Platão, de Alhazen, e propõe que a luz é um tipo de 'criação' que se propaga pelo espaço, ele admite contrariamente a Aristóteles que a luz, de fato, é um fenômeno dinâmico, ou seja, a luz é um movimento, mas ficava a questão, é o movimento de que?

Para Bacon, a luz não poderia ser avaliada como um corpo (Silva, 2013), Bacon entendia que a luz era uma propriedade imaterial que se propaga com velocidade finita (Laporte, 2017), também usa uma analogia mecânica para explicar a reflexão, mas apesar dessas analogias, Bacon não admitia que os fenômenos ópticos pudessem ser efetivamente explicados por um modelo mecânico (Laporte, 2017), pois, para ele, os fenômenos ópticos e mecânicos eram de naturezas físicas distintas.

John Pecham (1230-1292) filósofo inglês contemporâneo de Roger Bacon, tomou posições mais ortodoxas, seguiu as ideias de Aristóteles e de St. Agostinho, aderindo, em especial à ideia da propagação instantânea da luz. O trabalho de Tomás de Aquino (1225-1274) sobre óptica não é tão extenso quanto aquele de Bacon, sendo ambos os grandes nomes do século XIII, mas ele também não toma uma posição que possa ser considerada muito heterodoxa ou disruptiva sobre o tema, ele reafirma a visão aristotélica sobre os fenômenos ópticos, onde segue que a luz não demanda de tempo para a sua propagação, sendo ela instantânea. Outros nomes reconhecidos no campo da filosofia natural da Idade Média como Blasius de Parma (1350-1616) um filósofo italiano, ele defende como igualmente justificáveis (Laporte, 2017) as duas possibilidades para a velocidade da luz, ela pode ser instantânea e não necessitar de tempo para ocupar todos os pontos do espaço, mas também argumenta a favor da propagação temporal da luz, e tal indecisão de posição deixa transparecer a sua completa hesitação sobre o tema.

Jean Buridan (1301-1358) segue em alguns pontos as ideias de Blasius de Parma, conforme nos diz o trecho a seguir,

No final da Idade Média, Buridan e Blasius de Parma distinguem os dois modos de propagação da luz referindo que a progressiva iluminação de um meio resulta da apresentação de um corpo luminoso ao meio e que a propagação da luz deve ocorrer instantaneamente se o objeto luminoso for apresentado ao meio (Laporte, 2017, p. 15).

Fazendo um retrospectivo geral sobre todo esse longo período antigo e medieval sobre a questão da velocidade da luz, o que podemos concluir é que houveram diversas propostas levantadas por estudiosos em culturas variadas e eles, em especial, o período grego, lançaram as bases fundamentais da discussão, mas não houve consenso nem entre os gregos e nem entre

os filósofos medievais; um ponto importante foi a admissão pela maioria dos pensadores de que a luz se trata de um tipo de movimento, se fosse a luz constituída de átomos ou corpúsculos, o éter como diziam alguns, então a luz seria o movimento dessas minúsculas partículas, mas permaneceu vivo o problema da velocidade.

A VELOCIDADE DA LUZ NA ERA MODERNA A PARTIR DO RENASCIMENTO EUROPEU

Com o fim da Idade Média na Europa, o renascimento deu novo fôlego para o espírito inventivo, intelectual, social, cultural e trouxe consigo novas perspectivas que foram sendo abertas. Campos do conhecimento que avançaram a passos muito lentos desde o fim da era de ouro da antiguidade clássica na Grécia – a óptica que era um desses campos –, começaram a rapidamente a avançar com novas descobertas, auxiliados com os novos métodos de pesquisa científica que os cientistas começaram a formular nesse período,

A disputa pelo domínio dos mares era grande entre as potências marítimas europeias dos séculos XVI e XVII, algo que se tornou ainda mais relevante após as descobertas de 'novos mundos', tudo isso envolvia os mais altos interesses estratégicos dos países. Um problema que há muito vinha dificultando as navegações era a qualidade dos mapas, era imprescindível melhorar os mapas disponíveis da época, pois muitos já se mostravam inadequados, desatualizados e errôneos.

A melhoria dos mapas estava condicionada ao cálculo da longitude terrestre, pois para a latitude já existia métodos com alguma precisão (Silva, 2013), a determinação de um mapa de longitudes exigia de um conjunto de dados, e possivelmente, isso deveria ser feito pelos navegadores em alto mar, todavia, na imensidão dos mares os únicos pontos de referência para os marinheiros são os astros, o problema que se apresentou foi como encontrar um sistema de coordenadas espaciais (esféricas) do globo terrestre (Silva, 2013). Um dos motivos desse problema técnico ainda não ter sido resolvido antes do século XVII se devia a dificuldade em se medir o tempo com precisão e a falta de instrumentos astronômicos precisos (o telescópio deu novo ímpeto para a busca em resolver esses e outros desafios), tudo isso, atrasou em muito o avanço na confecção de mapas precisos.

Com a descoberta dos satélites de Júpiter no início do século XVII por Galileu, se percebeu que se poderia superar o problema da medição do tempo em alto mar, com o uso do cálculo das efemérides dos satélites de Júpiter (Silva, 2013), ou seja, a solução era baseada na

observação dos eclipses dos satélites de Júpiter observados; anteriormente eram usados os eclipses lunares, mas devidos a baixa frequência desses últimos acabava não sendo eles muito úteis para esses fins. O método estabelecido, consistia basicamente em escolher um local de referência na Terra e a partir do horário registrado nele determina-se a diferença de tempo para o eclipse observado em outro ponto da Terra,

O problema se encontrava teoricamente resolvido, sendo necessária apenas a construção de tabelas de efemérides das luas de Júpiter e a presença de um relógio a bordo ajustado no horário local pela passagem meridiana do Sol. Galileu já havia sugerido que os eclipses desses satélites poderiam servir para a determinação de longitudes, porém, não chegou a aplicar efetivamente sua ideia por não ter obtido medidas precisas (Laporte, 2017, p. 110).

Após o início do renascimento, novas demandas tecnológicas, técnicas e científicas impulsionaram a articulação entre as ciências práticas e as teóricas, muitos instrumentos científicos surgiram desse novo intercâmbio, inclusive, instrumentos ópticos, a ciência da óptica entra em uma nova era de expansão, as mudanças introduzidas pela nova postura dos homens da ciência nos séculos XV e XVI deram os seus frutos no século XVII, e é basicamente aqui que encontramos os personagens principais responsáveis por derrubar todos os alicerces da ciência antiga e medieval, e inventar novos métodos mais assertivos para desvendar os segredos do mundo natural. No campo da óptica nomes como Johannes Kepler (1571-1630) e Galilei Galileu (1564-1642) realizam esforços notáveis para entender os grandes segredos escondidos por trás da luz e das suas propriedades.

Kepler também despertou grande fascínio pela ciência da óptica, talvez pelas aplicações dessa ciência na astronomia, apesar de ser conhecido mais como um astrônomo, sendo famoso pela descoberta das três leis do movimento planetário, e dos seus interesses astronômicos que, diga-se de passagem, tomaram bastante tempo de sua vida, Kepler ainda arrumou tempo para a pesquisa no campo da óptica, e nessa ciência assim como na astronomia, o cientista alemão foi bem sucedido em estabelecer novas concepções que fugiam das visões tradicionais de sua época, e os novos métodos propostos por ele, tirou de vez a óptica do campo das especulações, criando uma ciência moderna, assim como vinha ocorrendo com outros campos da física, é com Kepler que a confusão milenar entre os fenômenos ópticos e visuais tem o seu fim, pois Kepler entende que a visão depende da luz exterior, e a luz deve ser entendida como um fenômeno independente da visão.

Ele rejeita algumas teses das antigas doutrinas dos filósofos da antiguidade, como Platão

e Aristóteles, e ele soube retirar aquilo que lhe interessava na óptica medieval, como alguns conceitos de Alhazen, Roger Bacon, mas também rejeita a fisiologia galênica, que estava impregnada nas teorias de Alhazen, Bacon e Vitélio, pois o uso desses conceitos fisiológicos impedia a geometrização “adequada” da óptica, e passa então a usar as concepções de Felix Plater (1536-1614). Portanto, a geometrização da óptica, em sua maior plenitude, foi uma das maiores contribuições de Kepler para a óptica moderna (Tossato, 2007). Kepler defendia a ideia da propagação retilínea e instantânea da luz (Silva, 2013), essa ideia constitui um dos fundamentos de sua teoria, as principais ideias e conceitos sobre óptica são expressos no livro *Paraliponema*, publicado no ano de 1604, uma das abordagens inovadoras de Kepler (na verdade, isso já vinha sendo cultivado desde a obra de Alhazen) foi a associação entre o olho com a câmera escura.

Nesse mesmo livro, Kepler explica a natureza da luz de acordo com o seu pensamento, para ele, a luz não é uma entidade material, pois não possui nem peso e nem densidade, o que, por sua vez, a leva a não oferecer qualquer tipo de resistência, por não possuir nem peso, nem densidade e nem resistência, o movimento da luz só pode ser instantâneo. Apesar da separação feita por Kepler entre a luz e a visão, ele, ainda assim, entendia que a compreensão da visão era essencial para se entender qualquer fenômeno óptico (Silva, 2013). Todavia, a óptica de Kepler esteve mais concentrada nos aspectos físicos do que fisiológicos que poderiam estar associados à óptica (Tossato, 2007), assim, ele estuda os princípios gerais da câmera escura, a utilização de lentes e a formação de imagens num espelho, dá demonstrações geométricas modernas para as leis da reflexão e refração, introduz o conceito de foco no estudo dos espelhos, propõe que a luz se propaga esfericamente, ou seja, se espalha por todas as direções do espaço ao mesmo tempo (Silva, 2013).

Um ponto importante da teoria de Kepler é como ela exprime a natureza da luz, para ele a luz é uma manifestação imaterial, que segundo (Silva, 2013), emana a partir de uma fonte sob a forma de um fluxo e que se comunica com os corpos materiais do universo por “conjugação” de dimensões, o físico alemão ainda induz uma lei matemática para a intensidade da luz, isto é, “[a luz], se propaga instantaneamente variando de intensidade em proporção inversa ao quadrado da distância” essa lei do inverso do quadrado da distância, como sabemos, possui, por si só, uma história interessante, e o fato de Kepler associa-la à intensidade luminosa a torna ainda mais curiosa. A descrição da luz por Kepler pode ser considerada a mais sofisticada do primeiro quarto do século XVII, talvez parte do elevado interesse de Kepler no estudo da óptica

esteja relacionada também a explicar o funcionamento dos telescópios, Galileu foi a primeira pessoa a apontar a sua luneta para o céu, ele aperfeiçoou o equipamento inicial devido ao holandês Hans Lippershey (1570-1619), e além disso, se tornou um exímio construtor de telescópios, porém, não foi Galileu o responsável por explicar o funcionamento físico do aparelho, Kepler, por volta de 1610, entusiasmado com a invenção do italiano, botou o seu conhecimento óptico em funcionamento para explicar o dispositivo, dentro de poucos anos já estava de posse de uma explicação apropriada, claro que o entendimento das leis de propagação da luz sobre as lentes objetiva e ocular foi primordial.

Por tantos feitos no campo da óptica, Kepler é tido como o físico que mais contribuiu com a óptica em seu tempo, a despeito do fato de que a sua teoria era um compilado de ideias de outros pensadores, misturada à própria criatividade do cientista alemão, isso em nada diminui a importância de sua contribuição.

Outro nome de relevo e que foi contemporâneo de Kepler foi Galileu Galileu (1564-1642), talvez, possa não ter realizado um trabalho tão amplo no campo da óptica quanto o seu admirado colega alemão, mas o cientista, no que diz respeito ao nosso tema em discussão, o trabalho de Galileu tem muito mais a nos dizer, o estudioso não apenas quis especular sobre a questão da velocidade da luz, ele sabia que desde a antiguidade os filósofos naturais de diferentes culturas só especulavam sobre a natureza da luz e sobre a sua velocidade, existia basicamente duas posições da qual a maioria sustentava, ou a luz era instantânea (infinita) ou de velocidade finita, Galileu não achava por bem colocar-se do lado de qualquer um dos grupos de opositores, ele achava que poderia pôr a questão em pratos limpos, por meio do recurso ao experimento, como era uma prática comum do seu trabalho.

Foi Galileu o primeiro a buscar métodos efetivos para calcular a velocidade da luz (Silva, 2013), a intenção de Galileu de calcular a velocidade da luz aparece em seu livro *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze* (Diálogos sobre duas novas ciências), publicado em 1638, em alguns trechos dessa obra encontramos uma discussão entre os três personagens criados por Galileu (Sagredo, Salviati e Simplicio) sobre qual poderia ser a velocidade da luz, e devido a indecisão expressa por Galileu, através do diálogo entre os seus personagens, ele vem a propor um experimento simples para se medir a velocidade da luz,

Simplicio: Todos os dias a experiência mostra que a propagação da luz é instantânea; como quando nós vemos um projétil de artilharia disparado, a

uma grande distância, a luz atinge nossos olhos sem lapso de tempo, porém, o som atinge o ouvido após um notável intervalo (Galileu, 1914, p. 311).

Nesse trecho, Galilei expressa a sua convicção de que a velocidade da luz é muito maior do que a velocidade do som, devido ao atraso subsequente do som em chegar aos ouvidos dos observadores quando um projétil de artilharia é lançado a uma longa distância, Galileu coloca na boca dos personagens do seu diálogo, as suas dúvidas e questionamentos sobre a velocidade da luz, e então, apresenta um método, o qual ele busca pela primeira vez determinar o valor dessa grandeza, o que aparenta desse diálogo de Galileu, é que ele está mais inclinado a posição de considerar a velocidade com finita,

Sagredo: Mas de que tipo e de que grandeza será o valor da velocidade da luz? É instantânea, ou como qualquer outro movimento, requer tempo? Podemos resolver isso através de uma experiência?

Sagredo: Então, Simplicio, a única coisa que eu posso inferir dessa experiência familiar é que o som, ao atingir os nossos ouvidos, viaja mais lentamente do que a luz; não me informa se a propagação da luz é instantânea ou então extremamente rápida, requerendo tempo, ...

Salviati: A pequena conclusão desta e de outras observações similares me levaram a um método decisivo no qual se poderia verificar precisamente se a iluminação, isto é, se a propagação da luz é realmente instantânea. O fato é que a velocidade do som é tão alta quanto nos é assegurado que o movimento da luz não pode deixar de ser extraordinariamente veloz (Galileu, 1914, p. 312).

Desses comentários aferidos por Salviati, Sagredo e Simplicio, podemos concluir claramente que Galileu considerava a luz um movimento, entretanto, Galilei desvia da difícil questão da composição da luz, de toda forma, ele prossegue o seu diálogo e apresenta o seu método, vejamos o fragmento a seguir,

O experimento que idealizei é como se segue: Deixe que cada uma das duas pessoas fique com uma luz contida em uma lanterna, ou outro receptáculo, de maneira que pela interposição da mão, um seja capaz de desligar a luz ou permitir que a luz para a visão do outro. Depois permita que eles fiquem em oposição ao outro a uma distância de alguns cúbitos, e praticar até eles adquirirem tal habilidade em revelar e ocultar suas luzes que no instante em que um vê a luz de seu companheiro ele irá ocultar a sua própria (Galileu, 1914, p. 341).

Em termos mais claros, esse experimento de Galileu nos diz que dois observadores ficariam em oposição, cada um em duas colinas, separados por uma distância conhecida, de um cúbito, conforme ele diz, a fonte de luz das lanternas nas mãos dos dois observadores deveria

ser contínua e não ter interrupções para evitar falhas, porém, os dois devem dispor de algum mecanismo para ocultar a luz de suas lanternas em momentos apropriados,

Após alguns ensaios de resposta eles estarão prontos para que se um erro sensível a ocultação de uma luz será seguida imediatamente pela revelação da outra, de modo que assim que um expor sua luz ele irá instantaneamente ver a luz do outro [...], tomem posições separadas por uma distância de duas a três milhas e deixe que repitam o mesmo experimento a noite, notando cuidadosamente se as exposições e ocultações ocorrem da mesma maneira como em pequenas distâncias; se o fizerem, nós poderemos seguramente concluir que a propagação da luz é instantânea, mas se é requerido tempo a uma distância de três milhas, na qual, considerando a ida de uma luz e a vinda de outra, resultem em seis, então o atraso deve ser facilmente observado (Galileu, 1914, p. 320).

Ou seja, inicialmente um dos observadores emitia a luz e quando o outro observador visse a luz que o primeiro emitia, esse observador liberava a luz a sua disposição, o tempo que o experimento demora para ser concluído, é o tempo que a luz demora para percorrer a ida e a volta da distância mencionada, e logo conhecendo a distância e o tempo do percurso, é possível determinar a velocidade da luz. Galileu confessa que realizou o experimento, 'de fato, eu tentei realizar a experiência usando uma pequena distância, menor do que uma milha, a partir da qual eu não fiquei habilitado para assegurar com certeza se a aparição da luz oposta é instantânea ou não; se não é instantânea é extremamente rápida, eu vou chamar isso de instantânea' (Galileu, 1914), de forma que o experimento de Galileu não é conclusivo para pequenas distâncias, de certa forma, Galileu sabia que não havia resolvido o problema, mas ele acreditava que com distâncias maiores do que aquelas que ele havia testado, seria possível determinar a questão.

Sendo Galileu membro da *Accademia del Cimento*, e tendo os membros dessa instituição uma relação próxima com o filósofo, eles também ficaram curiosos com a questão e resolveram verificar o experimento por ele proposto.

Galileu no primeiro diálogo de seu tratado *Diálogo de Duas Novas Ciências* sugere uma maneira fácil de descobrir, se a luz se move no tempo ou com uma velocidade instantânea: tentativa consiste no trabalho conjunto de dois homens em expor luzes para a visão do outro. Então com a revelação de um, o outro pode responder imediatamente a isso: que quando um revela sua luz e a expõe, eles podem ao mesmo tempo perceber a luz de seus companheiros. Sendo praticado frequentemente a pequenas distâncias Galileu desejou ter o mesmo testado pelos observadores a uma distância maior; para ver se a correspondência mútua da exposição e revelação de suas luzes, mantém a mesma medida de quando próximas; isto é, sem nenhum atraso observável. Nós tentamos isso a milhas de distância, que considerando a ida e a volta da luz deve ser considerada o dobro e não pudemos observar nenhum efeito. Se

em maiores distâncias é possível observar qualquer atraso sensível, nós ainda não tivemos a oportunidade de testar (Waller, 1964, p. 86).

A obra de outro importante filósofo natural do século XVII que realizou relevantes esforços para ampliar o conhecimento sobre a óptica foi René Descartes (1596-1650) físico, filósofo e matemático francês, Descartes teve um importante papel desempenhado na pesquisa da óptica teórica de sua época, de fato, Descartes não esteve tão empenhado nas questões práticas da óptica, como Kepler, todavia, foi ele um dos principais filósofos naturais que deu novo impulso a ótica após a morte de Kepler. Descartes retomou a discussão sobre a velocidade da luz presente na obra de Galileu – a teoria dada por Descartes para explicar a luz e suas propriedades apresentou muitas incoerências e erros que seriam apontados por outros. Para o filósofo francês, a luz deve se propagar instantaneamente, mas ao mesmo tempo, ele propõe que na passagem de um meio transparente para outro mais denso, a velocidade aumenta (Silva, 2013). O interessante é que Descartes aprendeu com Galileu que poderia colocar a questão sob a ótica da experimentação, e assim, propôs um experimento inovador, segundo ele, superior ao de ao antecessor italiano.

O experimento cartesiano para a determinar a duração de propagação da luz consistia em considerar o fenômeno astronômico do eclipse da Lua, e com base em sua explicação, se fosse assumido que a luz tem velocidade finita, e que, por conseguinte, a luz demora certo tempo para chegar da Lua à Terra, digamos uma hora, e de acordo com (Silva, 2013), durante um eclipse da Lua, o observador na Terra não deve constatar um alinhamento Sol-Terra-Lua e só observa o eclipse passado uma hora.

Então, seguindo essa linha, e sabendo que a revolução sinódica da Lua durante o eclipse é muito rápida, ele conclui que o ângulo Sol-Terra-Lua deve ser diferente de 180° , se isso se mostrasse como verdadeiro a luz teria uma duração de propagação, entretanto, os astrônomos como experientes observadores dos eclipses negam categoricamente a previsão teórica de Descartes, mostrando que a Lua eclipsada aparece sempre num ponto oposto da eclíptica, que é oposto ao sol, o que deixa inconclusivo o experimento, ainda há uma esperança de concluir algo sobre a questão se talvez fosse possível usar instrumentos de medida do tempo melhores ou usar distâncias astronômicas superiores a da Terra-Lua, nesse ponto, Descartes estava mais perto da verdade do que Galileu, pois Descartes foi seguramente o primeiro a pensar no uso das medidas astronômicas para algum tipo de verificação da velocidade da luz ou, pelo menos, para desmistificar a questão da finitude ou infinitude dessa grandeza.

De fato, o filósofo francês apontou diretamente o erro de Galileu, expressando que a experiência do físico italiano era inútil (Silva, 2013), se a velocidade da luz não for infinita, pelo menos é de bom senso supor que ela seja uma quantidade imensuravelmente alta, logo o uso de distâncias pequenas, consideradas na Terra, é inviável para tirar qualquer conclusão concreta. Apesar de suas críticas ao seu contemporâneo, Descartes também não foi bem sucedido em sua abordagem, ele, por fim, tendo visto ser negada a sua previsão acaba por concluir que a velocidade da luz era infinita, em uma carta a um de seus amigos ele afirma “a luz move-se num instante ..., e isto é para mim tão certo, que se provar-se falso, eu estarei pronto a confessar que eu não sei absolutamente nada de filosofia” (Laporte, 2017), se ele estivesse vivo poucos anos depois, ele realizaria esforços para tentar ocultar essa sua ponderação dramática.

A DESCOBERTA DA FINITUDE DA VELOCIDADE DA LUZ

A França passou a ser um dos principais centros para a pesquisa astronômica Europeia no século XVII, com a fundação do *Observatório de Paris*, que foi fundado dois anos depois do *Observatório real de Greenwich* fundado em 1665, o avanço francês no campo da astronomia foi mais rápido, pois o mesmo era financiado pelo estado com maior disposição de recursos, do que, o que foi no seu equivalente inglês. De início o observatório de Paris surgiu como uma instituição associada à *Académie des Sciences de Paris*, e a própria Académie surgiu tendo como um dos seus primeiros projetos a confecção de mapas e tabelas de longitudes com base nos eclipses dos satélites de Júpiter (Laporte, 2017), e Paris foi escolhida como a referência para o cálculo das efemérides.

Já nos seus primeiros dias o Observatório de Paris já contava com grandes astrônomos a seu serviço, um desses foi o primeiro diretor do observatório, o astrônomo italiano Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) que após ter adquirido fama com a confecção de tábuas para os eclipses de Júpiter, principalmente durante a década de 1660, chamou a atenção dos membros da *Académie*, e Colbert, o ministro de Luís XIV, o convidou para se juntar a recém fundada *Académie des Sciences*, logo Jean Picard (1620-1682) também se juntou a Cassini como o seu assistente e juntos eles fizeram grandes avanços nas pesquisas com os satélites de Júpiter. Foram Cassini, Picard, juntamente com outros assistentes do observatório que fizeram a importante descoberta da distância precisa da Terra ao Sol, por meio do método da paralaxe.

Em 1671, Picard foi incumbido da missão de encontrar o observatório de Tycho Brahe

(1546-1601) que se encontrava em ruínas após a sua morte, essa busca, na verdade, não ocorreu sem motivo, Picard tinha como objetivo encontrar a posição do observatório, pois os dados astronômicos de Brahe haviam sido determinados tendo como referência esse local, e os dados de Tycho Brahe ainda nessa época, eram considerados precisos e úteis em muitas observações astronômicas. No caminho para a ilha de Hven, Picard encontra-se com Erasmus Bartholin (1625-1698), que tinha como aprendiz o jovem Olé (Olaf) Roemer (1644-1710) e tendo o experiente astrônomo francês visto as qualidades do jovem astrônomo dinamarquês ao ter trabalhado junto a ele (Cohen, 1944), o convidou para ir para Paris, ao concluir os seus objetivos na Dinamarca, Picard retornou a Paris tendo o jovem Roemer como o seu preceptor.

Olé Rømer, nasceu na cidade de Århus na Dinamarca em 25 de setembro de 1644, seu pai era o comerciante dinamarquês Christen Pedersen e sua mãe Anna Storm eram pertencentes a classe média local, Christen passou a usar o sobrenome Rømer (Roemer), para indicar que ele havia nascido na ilha de Rømø, iniciou os seus estudos na escola local e após finaliza-los em 1662, ele inicia estudos em ciências na Universidade de Copenhage, pouco se sabe, em detalhes, sobre a vida de Roemer antes de sua ida para Paris, logo após a conclusão dos seus estudos na universidade, por volta de 1667, ele se torna assistente de Erasmus Bartholin, um matemático e astrônomo dinamarquês (Cohen, 1944).

No tempo que Roemer era assistente de Bartholin, ele esteve empenhado na tarefa catalogar os dados e as observações de Tycho Brahe, foi com esse trabalho que ele passou a ter grande gosto pela astronomia, além disso, Bartholin confiou a Roemer o trabalho de concluir a edição dos manuscritos não publicados de Brahe (Laporte, 2017; Tossato, 2007; Silva, 2013). Nesse intento, o jovem astrônomo também se interessou pela hipótese de Copérnico sobre as estrelas fixas, ou seja, a ausência de paralaxe anual das estrelas fixas, Copérnico justificou que a grande distância entre a Terra e as estrelas fixas fazia com que a paralaxe não fosse uma quantidade apreciável.

Roemer com a disposição de instrumentos melhores tentou medir essa paralaxe. Ainda na Dinamarca, Roemer ajudou Picard a determinar a diferença de longitude entre o observatório de Tycho e o de Paris (Silva, 2013), foi com a observação do talento de jovem dinamarquês para a astronomia que Picard ofereceu-lhe o convite para ele seguir para Paris juntamente com ele. Roemer chega a Paris em 1672, e pouco se sabe em detalhes sobre os trabalhos que ele veio a fazer em Paris, exceto que ele foi recebido pelo Rei Louis XIV, o qual o indicou para ser tutor do seu filho (Laporte, 2017).

No observatório de Paris, ele atuou como associado de Picard e Cassini (Cohen, 1944), e devido ao trabalho de ambos com os eclipses de Júpiter, Roemer ficou encarregado de realizar muitas observações de Júpiter e dos seus satélites. Com o tempo ele ganha alguma liberdade para fazer alguns estudos e observações independentes, com a disposição de certas observações em suas pesquisas independentes, Roemer anunciou que o eclipse de um dos satélites de Júpiter (o primeiro deles) ocorreria com um atraso de 10 minutos em relação aos calendários (tábuas) de Cassini (Cohen, 1944). O eclipse estava previsto para ocorrer em 09 de novembro de 1676, de início alguns colegas da Academia de Paris se mostraram reticentes, porém, o próprio Cassini, não expressou opinião sobre as previsões do seu assistente.

Quando chegou a data prevista, Picard no observatório de Paris confirma a previsão do jovem astrônomo, claramente que a teoria de Cassini estava sendo refutada pelas observações, por outro lado, Roemer desde a sua descoberta esteve trabalhando numa teoria que a pudesse explicar o fenômeno. Em 21 de novembro de 1676, pouco tempo após a ocorrência do eclipse, Roemer divulgou a sua teoria para explicar o motivo do atraso na observação do eclipse (Silva, 2013), ele justificou o fenômeno com base na velocidade da luz, para ele, o atraso era devido ao fato de a luz ter uma velocidade finita, e não infinita, sendo que a finitude da velocidade da luz implica na existência de um certo intervalo de tempo para luz percorrer a distância entre Júpiter e a Terra, o que decorre no atraso na observação de um observador na Terra.

Com base nos dados disponíveis em suas mãos Roemer estimou que a velocidade da luz teria um intervalo de 22 minutos, aproximadamente, para percorrer todo o diâmetro da órbita da Terra em torno do Sol, ou dito de outra forma, a luz necessitaria de aproximadamente 11 minutos para atravessar o raio da órbita anual terrestre conforme diz (Laporte, 2017). Em 28 de novembro daquele mesmo ano (1676), Roemer apresentou formalmente em uma reunião da *Académie des Sciences* a sua teoria, e apresentou os seus argumentos, baseados em observações, dados empíricos e em seus cálculos, o que efetivamente ele estava fazendo era negar a teoria de Cassini e propor uma nova para explicar as imersões e emersões do primeiro satélite de Júpiter.

Cassini que estava presente na reunião, atacou com grande firmeza as ideias de Roemer, alegando que a hipótese da finitude da velocidade da luz não seria o único mecanismo para explicar o atraso, e que a sua teoria explicava muito bem os eclipses dos outros satélites. Em 07 de dezembro, Roemer publicou o seu primeiro artigo sobre a sua descoberta no *Jornal des Sçavans*, a publicação oficial da Academia de Paris, o artigo intitulado *Démonstration touchant*

lê movement de la lumière (Demonstração sobre o movimento da luz), apresenta a sua teoria. Na página de abertura desse artigo é dito,

Durante muito tempo, os filósofos foram incapazes de decidir, através de qualquer experiência, se a ação da luz ocorre num instante, a qualquer distância, ou se requer tempo. O Sr. Roemer, da Academia Real de Ciências, tomou conhecimento de um meio extraído das observações do primeiro satélite de Júpiter, pelo qual ele demonstra que para uma distância de aproximadamente 3000 léguas, que é aproximadamente o tamanho do diâmetro da Terra, a luz não precisa de nenhum segundo de tempo (Roemer, 1676, p. 1).

Nesse mesmo artigo encontramos o argumento de Roemer baseado em um esquema (fig. 1), tendo como base essa figura, onde A é o Sol, B Júpiter, C e D são os pontos de início e fim dos eclipses do primeiro satélite (Io) de Júpiter, a segunda curva abaixo da primeira contém os pontos E, F, G, H, K, L, e esses pontos representam as posições da Terra em várias distâncias distintas ao longo da órbita relativa entre os dois planetas, e também em relação ao Sol.

É feita a consideração de que Júpiter é um ponto fixo em relação a Terra, ou seja, B é um ponto fixo, em relação à Terra. Supondo que a Terra esteja em uma posição arbitrária, por exemplo, em L, uma emergência em D, ocorre quando o satélite completa uma revolução e, assim, a Terra passa da posição que estava em L para K, e isso corresponde ao período de uma revolução de Io que é de 42 horas e meia.

Nos diz Roemer que se a luz requer tempo para cruzar o intervalo LK, então o satélite será visto mais tarde, ao retornar a D, do que teria sido se a Terra tivesse permanecido em K, tal atraso mencionado, corresponderia ao tempo para a luz percorrer a distância LK, e se for analisada a outra emergência entre os pontos FG, as revoluções das imersões parecerão tão encurtadas quanto as das emergências pareceram alongadas, está antecipação é devido ao tempo necessário para a luz percorrer a distância FG.

Ele argumenta ainda que se para o valor de cada diâmetro da Terra, o seu percurso demorasse um segundo de tempo, então a luz teria que percorrer as distâncias LK e GF em 3 minutos, isso causaria uma diferença expressiva de quase meio quarto de hora entre duas revoluções do primeiro satélite, sendo que uma delas seria observada na revolução FG e a outra em LK, mas o que se observa, em verdade, é que não há qualquer diferença de tempo significativa. Essa explicação de Roemer, segundo o que ele diz em suas discussões, foi baseada em observações que foram feitas na *Real Académie* e no observatório durante um período de 8

anos. Apesar de ser uma afirmação baseada em fatos, as ideias de Roemer não foram imediatamente aceitas nos círculos acadêmicos europeus, de acordo com (Laporte, 2017), por outro lado, as ideias de Descartes eram influentes e fortemente aceitas nessa época, além disso, um dos principais astrônomos desse período Giovanni Cassini, não apoiou o seu antigo assistente, na verdade, ele se sentiu afrontado pelo jovem pretensioso que estava desafiando as suas próprias ideias e teorias.

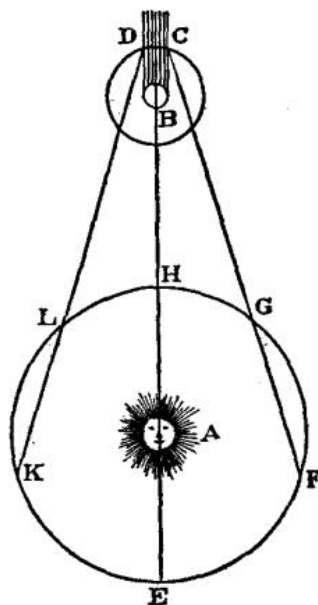


Figura 1. Ilustração utilizada por Olé Roemer em seu artigo de 1676, *Démonstration touchant le mouvement de la lumière*, na figura, encontramos a Terra, o Sol e Júpiter.

A IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO

Vimos nessa discussão histórica até aqui, que o fator fundamental que permitiu a resolução do problema científico, ou seja, a luz é um fenômeno dinâmico? Se sim, a sua velocidade é finita ou infinita? Vimos que desde a antiguidade os filósofos naturais vinham debatendo essa questão, todavia, nunca houve qualquer posição definitiva sobre a questão. Do ponto de vista histórico foi no século XVII que a experimentação moderna surgiu em sua expressão máxima na obra dos grandes cientistas, como Galileu, também os filósofos como Francis Bacon (1561-1626) lançou as bases teórico/metodológicas da experimentação e discutiu a sua relevância para a nova ciência, como nos diz (Steinle, 2002) Francis Bacon, frequentemente citado como o campeão do experimento moderno, apontou uma variedade de

funções epistêmicas do experimento, incluindo atividades tão diferentes como a produção de novos fenômenos, a classificação desses fenômenos e a decisão entre teorias e hipóteses concorrentes por meio da apresentação de experimentos “cruciais”. Nesse contexto histórico, no qual, a experimentação estava ganhando cada vez mais importância na produção do conhecimento científico, vemos que as figuras de Galileu e Descartes visualizaram a potencialidade do experimento como ferramenta para determinação das grandezas fundamentais da natureza, como a velocidade da luz, a velocidade do som (cujas primeiras medições também foram realizadas nesse mesmo período).

Existe, na história da ciência, o conceito de experimento exploratório, esse conceito pode muito bem ser adequado para explicar o que Galileu e Descartes tentaram fazer, eles não sabiam se a luz se movia finita ou infinitamente, então eles buscaram formular métodos experimentais para produzir dados que permitissem a eles, mensurar se a luz se movia no tempo ou era de fato instantânea, como diz (Steinle, 2002) “longe de ser uma brincadeira sem sentido com um aparato, a experimentação exploratória pode muito bem ser caracterizada por diretrizes definidas e objetivos epistêmicos. [...] O primeiro objetivo aqui é descobrir quais dos vários parâmetros afetam o efeito em questão e quais deles são essenciais”.

No caso que estamos estudando os dois parâmetros fundamentais que poderiam afetar a velocidade são o tempo e a distância percorrida pela luz, Galileu tentou isolar a distância e descobrir o tempo, mas não foi bem-sucedido, Descartes tentando isolar o tempo também não tirou quaisquer conclusões. Foi Roemer que conseguiu com base nos dados astronômicos por um método um pouco mais sofisticado determinar o tempo e a distância percorridos pela luz, baseado no cálculo das efemérides (dados empíricos), a própria observação astronômica pode ser enquadrada em algum grau, como uma forma de experimentação, de fato, todas essas formas estão ligadas ao que chamamos de empirismo.

REFERÊNCIAS

- COHEN, I. B. **Roemer and first determination of the velocity of light**. New York: The Burndy Library, 1944.
- DARRIGOL, Oliveier. **A History of Optics: From Greek Antiquity to the Nineteenth Century**. Oxford: Oxford University Press, 2012.
- GALILEI, G. **Dialogues concerning Two New Sciences**. New York: The Micmillian Company, 1914.

KRISTERSEN, L. K.; Perderson, K. M. **Roemer, Jupiter's satellites and the velocity of light**. Centaurus, v. 54, n. 1, p. 4-38, 2012.

LAPORTE, Rafael S. **Ole Roemer e a velocidade da luz: explorando aspectos da natureza da ciência em uma proposta de ensino**. Dissertação (mestrado em física) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, p. 115, 2017.

MARTINS, Roberto M; Silva. C. C. **As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4202, 2015.

NETO, Guilherme Rodrigues. Euclides e a geometria do raio visual. scientiæ zudia, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 873-92, 2013.

OEUVRES DE FERMAT. Correspondence, p.279. Cartas de Fermat a De La Chambre, 1648, 1657, 1662. Paris, Gauthier-Villars et Fils. Imprimeurs – libraires, 1891.

PRESTON, T., **Theory of Light**. Macmillan And CO., Limited St. Martins Street, London, 1928.

ROEMER, O. **Demonstration concerning to the motion of light**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, v. 12, p. 893-894, 1677.

ROEMER, O. **Démonstration touchant le mouvement de la lumière**. Journal des Sçavans, 1676.

ROSA, C. A. P. **História da ciência**. 2ª ed. Vol. 3. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2012.

SILVA, R. M. **Experiências históricas para a determinação da velocidade da luz**. Dissertação (mestrado em física) – Faculdade de ciências, Universidade do Porto. Cidade do Porto, p. 158, 2013.

STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. Perspectives on Science, vol. 10, no. 4, 2002.

TOSSATO, Claudemir R. **Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler**. scientiæ zudia, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 471-99, 2007.

WALLER, R. **Essays of Natural Experiments made in the Academie del Cimento**. New York: Johnson Reprint Corporation, 1964.

NOTAS

ⁱ Esse princípio de Heron é uma forma primitiva daquele atribuído à Fermat, o qual pode ser enunciado: “A trajetória percorrida pela luz ao se propagar de um ponto a outro é tal que o tempo gasto em a percorrer é um mínimo” [1].