

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* BAMBUÍ
LICENCIATURA EM FÍSICA

Alberto Monteiro Rezende

**A CONTRIBUIÇÃO DE PTOLOMEU, COPÉRNICO E BRAHE PARA O
DESENVOLVIMENTO DA ASTRONOMIA**

BambuÍ

2025

ALBERTO MONTEIRO REZENDE

**A CONTRIBUIÇÃO DE PTOLOMEU, COPÉRNICO E BRAHE PARA O
DESENVOLVIMENTO DA ASTRONOMIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Licenciatura em Física do Instituto
Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí
para obtenção do grau de licenciada em Física.
Orientador: Mayler Martins

Bambuí

2025

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - *Campus Bambuí*

R467c Rezende, Alberto Monteiro.

A contribuição de Ptolomeu, Copérnico, e Brahe para o desenvolvimento da Astronomia [manuscrito] / Alberto Monteiro Rezende. – 2025.

67 f. : il.

Orientador: Mayler Martins.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. *Campus Bambuí*, 2025.

1. Astronomia histórica. 2. Modelo de Cláudio Ptolomeu. 3. Modelo de Nicolau Copérnico. 4. Modelo de Tycho Brahe. I. Martins, Mayler. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus Bambuí*. III. Título.

CDD. 520.9

Catálogo: João Batista Rodrigues - CRB-6/2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Ensino
Departamento de Ciências e Linguagens
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

Alberto Monteiro Rezende

A CONTRIBUIÇÃO DE PTOLOMEU, COPÉRNICO E BRAHE PARA O DESENVOLVIMENTO DA ASTRONOMIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí para obtenção do grau de licenciado(a) em Física.

Aprovado em: 06/02/2025 pela banca examinadora:

Prof. Dr. Mayler Martins – IFMG - *Campus* Bambuí (Orientador)

Prof. Me. Juliano Aparecido de Pinho – IFMG - *Campus* Bambuí

Prof. Dr. Fabrício Vieira Andrade – IFMG - *Campus* Bambuí



Documento assinado eletronicamente por **Mayler Martins, Professor**, em 06/02/2025, às 18:47, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Vieira Andrade, Professor**, em 07/02/2025, às 10:27, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Juliano Aparecido de Pinho, Usuário Externo**, em 13/02/2025, às 11:31, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2191662** e o código CRC **3E3E59B5**.

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise histórica e comparativa dos modelos astronômicos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico, desenvolvidos, respectivamente, por Cláudio Ptolomeu, Nicolau Copérnico e Tycho Brahe. O objetivo principal é compreender as contribuições teóricas e empíricas desses modelos para a transição entre os paradigmas astronômicos, evidenciando como cada um respondeu aos desafios científicos de sua época e influenciou o avanço da Astronomia. Por meio de uma abordagem qualitativa e descritiva, baseada em pesquisa bibliográfica, foram analisadas as biografias, observações e obras desses astrônomos, bem como os contextos históricos e Culturais que moldaram suas teorias. O método incluiu uma análise de conteúdo das fontes consultadas e uma comparação entre os modelos, considerando aspectos como o centro do Universo, a forma das órbitas planetárias, o movimento retrógrado dos planetas e o impacto Cultural de cada teoria. Os resultados indicam que o modelo geocêntrico de Ptolomeu se consolidou por mais de mil anos devido à sua adequação às observações disponíveis e à visão filosófica dominante. O modelo heliocêntrico de Copérnico representou um marco ao propor uma explicação mais simples e precisa, desafiando a tradição estabelecida. Tycho Brahe, por sua vez, combinou observações rigorosas com um modelo conciliatório, fornecendo a base empírica para os avanços de Kepler e a posterior aceitação do heliocentrismo. Conclui-se que os modelos analisados não apenas influenciaram o desenvolvimento da Astronomia moderna, mas também demonstraram como o progresso científico é moldado pela interação entre observação, teoria e os contextos sociais e Culturais. Este estudo contribui para o entendimento da evolução da Astronomia e reforça a importância do questionamento crítico e da inovação no avanço do conhecimento.

Palavras-chave: Astronomia Histórica. Modelo de Cláudio Ptolomeu. Modelo de Nicolau Copérnico. Modelo de Tycho Brahe.

ABSTRACT

This study presents a historical and comparative analysis of the geocentric, heliocentric, and geo-heliocentric astronomical models developed, respectively, by Claudius Ptolemy, Nicolaus Copernicus, and Tycho Brahe. The main objective is to understand the theoretical and empirical contributions of these models to the transition between astronomical paradigms, highlighting how each responded to the scientific challenges of its time and influenced the advancement of Astronomy. Through a qualitative and descriptive approach based on bibliographic research, the biographies, observations, and works of these astronomers were analyzed, as well as the historical and Cultural contexts that shaped their theories. The method included content analysis of the consulted sources and a comparison of the models, considering aspects such as the center of the Universe, the shape of planetary orbits, the retrograde motion of planets, and the Cultural impact of each theory. The results indicate that Ptolemy's geocentric model remained dominant for over a thousand years due to its alignment with available observations and the prevailing philosophical worldview. Copernicus's heliocentric model marked a turning point by proposing a simpler and more accurate explanation, challenging established tradition. Tycho Brahe, in turn, combined rigorous observations with a conciliatory model, providing the empirical foundation for Kepler's advancements and the eventual acceptance of heliocentrism. The study concludes that the analyzed models not only influenced the development of modern Astronomy but also demonstrated how scientific progress is shaped by the interplay of observation, theory, and social and Cultural contexts. This research contributes to understanding the evolution of Astronomy and underscores the importance of critical questioning and innovation in advancing knowledge.

Keywords: Historical Astronomy, Ptolemy's Model, Copernicus's Model, Tycho Brahe's Model.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	08
1.1.	Objetivos.....	09
2.	METODOLOGIA.....	10
3.	UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTRONOMIA.....	13
4.	CLÁUDIO PTOLOMEU E O MODELO GEOCÊNTRICO.....	17
4.1.	Vida e Contexto Histórico de Cláudio Ptolomeu.....	18
4.2.	Observações de Ptolomeu.....	19
4.3.	Obras.....	20
4.4.	Modelo Geocêntrico de Ptolomeu.....	22
4.5.	O Impacto e a Influência do Modelo de Ptolomeu.....	25
5.	NICOLAU COPÉRNICO E A REVOLUÇÃO HELIOCÊNTRICA.....	27
5.1.	Vida e Contexto Histórico de Nicolau Copérnico.....	28
5.2.	Observações de Copérnico.....	29
5.3.	Obras.....	31
5.4.	Modelo Heliocêntrico de Copérnico.....	34
5.5.	O Impacto do Heliocentrismo.....	38
6.	TYCHO BRAHE E A ASTRONOMIA DE TRANSIÇÃO.....	40
6.1.	Vida e Contexto Histórico de Tycho Brahe.....	41
6.2.	Observações de Tycho Brahe.....	43
6.3.	Obras.....	44
6.4.	Modelo de Tycho Brahe.....	45
6.5.	O Impacto do Modelo de Brahe.....	49
7.	COMPARAÇÃO E ANÁLISE.....	51
7.1.	Reapresentação da vida e dos modelos.....	51
7.2.	Centro do Universo.....	53
7.3.	Forma das Órbitas.....	55
7.4.	Movimento Retrógrado nos Modelos.....	55
7.5.	Impacto Cultural e Aceitação Histórica dos Modelos.....	57
7.6.	Conexão entre os Modelos.....	59
7.7.	Conclusão.....	61
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62

1. INTRODUÇÃO

A Astronomia é uma das Ciências mais antigas, originada nas primeiras civilizações humanas. Desde tempos remotos, a observação dos céus foi empregada não apenas para satisfazer a curiosidade humana, mas também para atender a necessidades práticas, como a medição do tempo, a navegação e a agricultura. Com o passar dos séculos, diferentes modelos foram desenvolvidos para explicar o funcionamento do cosmos, refletindo o avanço do conhecimento científico e filosófico.

A evolução dos modelos astronômicos ao longo da história reflete a busca contínua da humanidade por compreender o Universo. Este trabalho examina as contribuições de três figuras centrais nessa trajetória: Cláudio Ptolomeu, Nicolau Copérnico e Tycho Brahe. Cada um desempenhou um papel fundamental no avanço do conhecimento astronômico, formulando teorias que representaram diferentes paradigmas na Astronomia e influenciaram significativamente o pensamento científico de suas respectivas épocas.

O modelo geocêntrico, consolidado por Ptolomeu no século II, posicionava a Terra como o centro fixo do Universo e permaneceu como a principal explicação cosmológica por mais de mil anos, sustentado pelo pensamento filosófico e científico da Antiguidade. No século XVI, Copérnico propôs o modelo heliocêntrico, deslocando o centro do Sistema Solar para o Sol e iniciando uma transformação paradigmática na Astronomia. Já no final do século XVI, Tycho Brahe desenvolveu o modelo geo-heliocêntrico, no qual os planetas orbitavam o Sol, mas este permanecia em órbita ao redor da Terra. Sua abordagem conciliatória e suas observações rigorosas forneceram a base empírica para a formulação das leis de Kepler, consolidando a transição para a Astronomia moderna.

Diante disso, este estudo tem como objetivo principal compreender as contribuições dos modelos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico para a evolução do pensamento astronômico, evidenciando como cada teoria respondeu às questões científicas de sua época. Além disso, busca-se analisar as influências filosóficas e Culturais que moldaram essas teorias e seu impacto no progresso da Astronomia.

A relevância deste trabalho está em contextualizar o progresso científico diante das resistências filosóficas, religiosas e Culturais. A análise crítica dos modelos de Ptolomeu,

Copérnico e Brahe permite compreender a evolução da Astronomia e reforça a importância da observação e do questionamento na construção do conhecimento.

Este trabalho destaca a conexão entre o passado e o presente da Astronomia, evidenciando como os modelos astronômicos moldaram tanto as concepções Culturais quanto científicas ao longo do tempo. Ao examinar os desafios enfrentados por Cláudio Ptolomeu, Nicolau Copérnico e Tycho Brahe, demonstra-se como a Ciência avança em meio a transformações e resistências, contribuindo significativamente para o desenvolvimento do pensamento científico moderno.

A escolha desses três astrônomos justifica-se pela relevância de suas contribuições individuais e pelo impacto coletivo na revolução científica. Cada um representou um momento crucial na transição entre concepções astronômicas, influenciando significativamente o pensamento científico e a visão humana sobre o Universo.

O problema central deste estudo é: como as contribuições teóricas e observacionais de Cláudio Ptolomeu, Nicolau Copérnico e Tycho Brahe influenciaram a transição do modelo geocêntrico para o modelo heliocêntrico, moldando a Astronomia moderna?

Assim, este estudo estabelece um panorama que evidencia a construção do conhecimento astronômico, destacando como as ideias de Ptolomeu, Copérnico e Brahe transformaram a compreensão humana sobre o Universo.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é compreender as contribuições teóricas e empíricas dos modelos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico para a transição entre os paradigmas astronômicos.

Como objetivos específicos, pode-se citar:

- Compreender as contribuições dos modelos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico para a evolução do pensamento astronômico.
- Evidenciar como cada modelo respondeu às questões científicas de sua época.
- Demonstrar a progressão científica dos modelos ao longo do tempo, culminando na transição para a Astronomia moderna.

2. METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza básica, com objetivos descritivos, abordagem qualitativa e procedimento bibliográfico.

A pesquisa possui natureza básica, pois busca ampliar o conhecimento teórico e histórico sobre os modelos astronômicos de Ptolomeu, Copérnico e Brahe. Diferentemente de pesquisas aplicadas, que têm foco em soluções práticas imediatas, este trabalho visa compreender a evolução do pensamento científico, analisando suas influências filosóficas e Culturais.

Os objetivos descritivos direcionam a pesquisa para a caracterização e correlação dos modelos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico, destacando suas contribuições, limitações e impacto no desenvolvimento da Astronomia. O estudo não manipula dados, mas apresenta uma análise detalhada dos modelos e de suas reformulações ao longo do tempo.

A abordagem qualitativa permite a investigação da evolução dos modelos astronômicos a partir de seus contextos históricos e filosóficos, sem recorrer a dados numéricos. O foco está na interpretação das teorias e na forma como foram influenciadas e reformuladas ao longo dos séculos.

A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica, utilizando livros, artigos acadêmicos e outras publicações acessadas em bibliotecas físicas e digitais, além de bases de dados acadêmicas como Google Acadêmico, Scielo, JSTOR e Google Scholar. Foram priorizadas fontes que:

- Abordam as biografias de Cláudio Ptolomeu, Nicolau Copérnico e Tycho Brahe;
- Discutem os modelos astronômicos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico;
- Contextualizam os fatores históricos, culturais e científicos que influenciaram a formulação dessas teorias.

Entre os materiais analisados, destacam-se:

Livros:

- *Os Fundadores da Astronomia Moderna*, de Joseph Bertrand (2008) – Oferece uma análise histórica das contribuições de Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileu, Newton;

- *Evolução das Idéias da Física*, de Antonio S. T. Pires (2008) – Contextualiza a evolução das teorias físicas e astronômicas ao longo do tempo.

Artigos Acadêmicos:

- *Força e Movimento: de Thales a Galileu*, de Luiz Peduzzi (1998) – Descreve a evolução histórica da compreensão dos conceitos de força e movimento, desde a antiga Grécia até Galileu, abordando figuras como Tales, Aristóteles, Copérnico e Kepler;

- *A Crônica da Gravitação. Parte I: das Primeiras Civilizações à Grécia Antiga e A Crônica da Gravitação. Parte II: da Grécia Antiga à Idade Média*, de José Maria Filardo Bassalo (1990) – mostrar como evoluíram as ideias sobre os diversos modelos planetários formulados no sentido de explicar o movimento dos astros em nosso Universo.

Essas fontes foram selecionadas pela relevância e contribuição para a compreensão dos modelos astronômicos de Ptolomeu, Copérnico e Brahe, assim como para a análise de seus contextos históricos e filosóficos. A diversidade de materiais permitiu uma abordagem fundamentada e abrangente, essencial para a análise comparativa dos modelos estudados.

O estudo empregou uma metodologia comparativa, adotada para identificar as semelhanças, diferenças e progressões entre os modelos, evidenciando a evolução do pensamento científico. Essa abordagem também possibilitou compreender como cada modelo respondeu aos desafios científicos de sua época e contribuiu para a consolidação da Astronomia moderna.

O estudo seguiu duas etapas principais: a análise individual de cada modelo, considerando a posição do centro do Universo, as explicações para o movimento retrógrado dos planetas, o impacto histórico de suas contribuições; e a comparação entre os modelos, destacando semelhanças, diferenças e inovações, além das transições entre os paradigmas astronômicos.

A análise comparativa foi orientada por critérios específicos, incluindo a identificação do centro do Universo em cada modelo, a forma das órbitas, a explicação para o movimento retrógrado e o impacto Cultural e científico:

- Centro do Universo: identificação do objeto central no cosmos segundo cada modelo, analisando se a Terra ou o Sol ocupam essa posição e as justificativas teóricas para essa escolha;

- Forma das Órbitas: comparação entre as órbitas circulares propostas e a combinação entre movimento orbital do Sol e dos planetas, nos modelos de Ptolomeu, Copérnico e Brahe;
- Movimento Retrógrado: estudo das explicações apresentadas por cada modelo para o movimento aparente de retrocesso dos planetas em relação às estrelas;
- Impacto Cultural e Científico: avaliação da influência de cada modelo no pensamento científico de sua época e em como contribuíram para a evolução das ideias astronômicas e sua consolidação na Ciência moderna.

Essa abordagem comparativa possibilitou identificar as inovações, limitações e conexões entre os modelos, evidenciando a progressão científica e a consolidação do conhecimento astronômico ao longo do tempo.

A organização do trabalho reflete a metodologia aplicada, sendo estruturada em:

- Resumo Histórico: apresenta um panorama sobre a evolução da Astronomia antes dos modelos de Ptolomeu, Copérnico e Brahe. São discutidas nesse tópico, as principais descobertas astronômicas da Antiguidade.
- Capítulos Individuais: analisam separadamente as contribuições de Ptolomeu, Copérnico e Brahe, abordando suas biografias, contextos históricos e obras principais.
- Capítulo Comparativo: realiza uma análise integrada dos três modelos, destacando as conexões e transições entre eles. São discutidas as semelhanças, diferenças, inovações e contribuições para a evolução do pensamento astronômico.

A abordagem adotada neste trabalho permitiu uma análise da evolução dos modelos astronômicos, considerando tanto seus aspectos científicos quanto seu impacto Cultural. A análise comparativa e a revisão bibliográfica foram fundamentais para identificar as contribuições de cada modelo e sua relevância no desenvolvimento da astronomia moderna.

3. UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

Nesta seção, será apresentado um breve panorama histórico, desde os primeiros registros de observação sistemática do céu até as teorias astronômicas que influenciaram o pensamento astronômico nas Antiguidades e Idade Média.

As primeiras evidências de atividades astronômicas datam de civilizações antigas, como os sumérios, babilônios, egípcios e chineses, entre 3500 a.C. e 500 a.C. Esses povos utilizavam a observação do céu tanto para fins religiosos quanto práticos, como a previsão de estações e a criação de calendários (SAGAN, 1980; SCHAPPO, 2022).

Na Mesopotâmia, os sumérios e babilônios desenvolveram um sistema astronômico avançado por volta de 3000 a.C., registrando o movimento dos planetas e criando os primeiros zodíacos. Para esses povos, os corpos celestes eram considerados divindades ou mensageiros dos deuses, e a astrologia estava ligada às suas práticas astronômicas (SAGAN, 1980; PIRES, 2008).

Eles utilizavam um calendário lunissolar, no qual o ano era composto de 12 meses de 29 ou 30 dias, com a adição periódica de um 13º mês para alinhar o ciclo lunar ao ano solar. O calendário babilônico começava no mês Nisannu, associado à primavera e às festividades religiosas (POZZER, 2013).

Os egípcios, entre 3000 a.C. e 500 a.C., usavam a Astronomia para fins religiosos e agrícolas. Criaram um calendário solar, com 12 meses de 30 dias, totalizando 360 dias, e adicionavam cinco dias extras ao final do ano. Esse sistema era essencial para prever as inundações do Nilo, mas apresentava um deslocamento gradual ao longo dos séculos (SAGAN, 1980; POZZER, 2013).

Na China, registros astronômicos detalhados existem desde cerca de 2000 a.C., incluindo observações de eclipses, cometas e supernovas. O calendário chinês era lunissolar, seguindo um ciclo de 60 anos que combinava troncos celestes e ramos terrestres. Para manter a sincronia com o ano solar, ocasionalmente era inserido um mês extra (BUENO, 2013).

No Mediterrâneo, a partir do século VI a.C., a Grécia Antiga passou a estudar a Astronomia de forma sistemática, adotando uma abordagem filosófica e matemática. Os babilônios não adotavam a semana de sete dias como conhecemos hoje. Inicialmente, dividiam o dia em quatro períodos de seis horas, depois passaram a subdividi-lo em 12 "horas duplas".

Seu sistema sexagesimal influenciou diretamente a divisão da hora em 60 minutos e do minuto em 60 segundos (POZZER, 2013).

Apesar das diferenças entre os calendários egípcio, mesopotâmico e chinês, todos estavam ligados às práticas religiosas e agrícolas. Festividades e rituais seguiam esses sistemas, garantindo que ocorressem nos momentos considerados propícios (POZZER, 2013).

Por volta de 600 a.C., filósofos como Tales de Mileto e Anaximandro buscaram compreender o cosmos com base em explicações naturais, descartando a intervenção divina. Anaximandro, por exemplo, apresentou a ideia de que a Terra permanece suspensa no espaço, equilibrada por uma simetria universal (PIRES, 2008).

No mesmo período, Pitágoras sugeriu que os astros se movimentavam em trajetórias perfeitamente regulares e defendeu que o Universo seguia uma ordem harmônica, chamada de "harmonia das esferas". Ele foi pioneiro ao conceber a Terra como uma esfera e ao utilizar o termo "Cosmos" para descrever um Universo organizado (PIRES, 2008).

Durante o século IV a.C., Eudoxo introduziu um modelo geométrico que colocava os astros em esferas concêntricas orbitando a Terra. Esse modelo visava interpretar fenômenos como o movimento retrógrado dos planetas, marcando uma tentativa inicial de representação Matemática do movimento celeste (BASSALO, 1990).

Ainda no século IV a.C., Aristóteles elaborou uma visão geocêntrica do Universo. Ele descreveu a Terra como imóvel no centro, com os corpos celestes girando em esferas perfeitas ao seu redor. Aristóteles também distinguiu o mundo sublunar, sujeito a imperfeições e mudanças, do mundo celestial, considerado eterno e perfeito (PIRES, 2008).

No século III a.C., Aristarco propôs que a Terra girava em torno do Sol, posicionando-o como o centro do Universo conhecido. No entanto, essa teoria não foi amplamente aceita por seus contemporâneos (PIRES, 2008).

Por volta do século II a.C., Hiparco de Nicéia consolidou-se como um dos maiores astrônomos da antiguidade. Ele catalogou estrelas, desenvolveu a trigonometria esférica e foi o primeiro a identificar a precessão dos equinócios, contribuindo de forma significativa para a Astronomia observacional (PIRES, 2008).

No século II d.C., Cláudio Ptolomeu consolidou o modelo geocêntrico em sua obra *Almagesto*, referência astronômica por mais de mil anos. Utilizou epiciclos e equantes para explicar o movimento retrógrado dos planetas, tornando o sistema complexo, mas eficiente. Sua

abordagem matemática influenciou a Astronomia islâmica e europeia durante a Idade Média (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014; KUHN, 2006).

Os astrônomos islâmicos foram fundamentais para a preservação e o avanço do conhecimento astronômico. Entre os séculos VIII e XIV, desenvolveram tabelas astronômicas, corrigiram falhas nos modelos ptolomaicos e aperfeiçoaram catálogos estelares. Centros como o Observatório de Maragha, no Irã, lideraram essas pesquisas. A partir do século XII, a tradução de seus trabalhos para o latim influenciou o Renascimento e a Revolução Científica (SAGAN, 1980; PIRES, 2008; BASSALO, 1990).

No início do século XVII, Galileo Galilei (1564-1642) realizou observações que forneceram evidências diretas em favor do modelo heliocêntrico. Utilizando um telescópio aprimorado, ele observou as fases de Vênus, demonstrando que o planeta orbitava o Sol e não a Terra. Além disso, descobriu os quatro maiores satélites de Júpiter — Io, Europa, Ganimedes e Calisto —, provando que nem todos os corpos celestes giravam ao redor da Terra, como afirmava o modelo geocêntrico. Suas observações da superfície lunar revelaram montanhas e crateras, refutando a ideia aristotélica de que os astros eram esferas perfeitas (PEDUZZI, 2015).

Paralelamente, Johannes Kepler (1571-1630) formulou três leis do movimento planetário, baseadas nos dados observacionais de Tycho Brahe. Em *Astronomia Nova* (1609), propôs sua primeira lei, que estabelece que os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol, contrariando a crença em órbitas circulares perfeitas. Posteriormente, em *Harmonice Mundi* (1618), enunciou a segunda e a terceira leis, que descrevem a variação da velocidade orbital dos planetas e a relação matemática entre o período orbital e a distância ao Sol (PEDUZZI, 2015).

A Revolução Científica, que ocorreu entre os séculos XVI e XVII, marcou uma transformação na maneira como o conhecimento sobre a natureza era adquirido e validado. Antes desse período, a ciência estava fortemente ligada a princípios filosóficos e religiosos, e as explicações sobre o Universo seguiam principalmente as ideias de Aristóteles e Ptolomeu. No entanto, com o avanço da observação astronômica, o desenvolvimento de novos instrumentos, como o telescópio, e o aprimoramento dos métodos matemáticos, surgiram questionamentos que levaram a mudanças profundas.

O conceito de mudança de paradigma, descrito por Thomas Kuhn (2006), ajuda a entender essa transição. Para Kuhn, a ciência não evolui de forma contínua, mas sim por meio de períodos de estabilidade (quando um modelo é amplamente aceito) e momentos de crise

(quando observações ou experimentos entram em conflito com o modelo vigente). Quando essas inconsistências se acumulam e não podem mais ser explicadas, ocorre uma revolução científica, onde um novo paradigma substitui o antigo.

A chamada Revolução Copernicana exemplifica esse processo. Durante séculos, o modelo geocêntrico de Ptolomeu foi aceito sem grandes questionamentos. No entanto, com o surgimento de novas observações, como as fases de Vênus e os satélites de Júpiter observados por Galileu, o modelo começou a entrar em crise. O sistema heliocêntrico de Copérnico, mesmo enfrentando resistência inicial, foi gradualmente aceito porque explicava melhor os fenômenos observados. Essa mudança de paradigma não ocorreu de forma imediata, mas foi impulsionada pelo trabalho de astrônomos como Kepler e Newton, que forneceram as bases matemáticas e físicas para o heliocentrismo.

Assim, a Revolução Científica não se limitou à mudança do modelo astronômico, mas representou uma transformação mais ampla na forma de se fazer ciência. O método experimental de Galileu, as leis matemáticas de Kepler e a teoria da gravitação de Newton consolidaram uma nova abordagem baseada na observação, na experimentação e na formulação de leis universais, características fundamentais da ciência moderna.

Ainda segundo Kuhn (2006), um paradigma é um conjunto de crenças, teorias e práticas aceitas por uma comunidade científica em determinado período. Esse paradigma não apenas define quais perguntas podem ser feitas, mas também quais métodos são válidos para respondê-las. A mudança de paradigma ocorre quando anomalias acumuladas tornam o modelo vigente insustentável, levando a uma revolução científica. O heliocentrismo de Copérnico ilustra essa transição, pois substituiu o paradigma geocêntrico depois que evidências e observações acumuladas tornaram o modelo ptolomaico indefensável.

Este resumo ilustra a trajetória histórica da Astronomia, desde as primeiras observações, e reflete a contínua busca humana por compreender o cosmos. Esse progresso constante, atravessando gerações e Culturas, é a base para os avanços que definem a Ciência moderna.

Esse contexto histórico permite entender as contribuições de figuras-chave como Cláudio Ptolomeu (~90 –165 d.C.), Nicolau Copérnico (1473–1543) e Tycho Brahe (1546–1601), cujas descobertas e modelos foram fundamentais para o surgimento da Astronomia moderna. Suas obras, além de refletirem os progressos técnicos e matemáticos de suas épocas, tiveram um impacto duradouro no pensamento científico subsequente.

4. CLÁUDIO PTOLOMEU E O MODELO GEOCÊNTRICO

Esta seção explora as contribuições de Cláudio Ptolomeu, um dos maiores astrônomos da Antiguidade, cujo modelo geocêntrico influenciou profundamente o pensamento fundamentais da Astronomia por séculos. Por meio de sua obra mais famosa, o *Almagesto*, Ptolomeu consolidou as bases da Astronomia clássica, estabelecendo um sistema que colocava a Terra no centro do Universo. Esse modelo tornou-se a visão dominante no Ocidente por mais de mil anos. Aqui, será examinada a vida e a obra de Ptolomeu, os princípios fundamentais de seu modelo geocêntrico e o impacto desse sistema no desenvolvimento da Astronomia. A Figura 1 exibe um desenho de Cláudio Ptolomeu.

Figura 1 - Cláudio Ptolomeu



Fonte: Itens diversos em alta demanda, PPOC, Biblioteca do Congresso, Public domain, via Wikimedia Commons - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Claudius_Ptolemy_half-length_portrait_facing_right_LCCN93515230.jpg

4.1 Vida e Contexto Histórico de Cláudio Ptolomeu

Esta seção apresenta a vida e o contexto histórico de Cláudio Ptolomeu, um dos principais nomes da Astronomia na Antiguidade. Ele atuou em Alexandria entre os séculos I e II d.C., onde reuniu e sistematizou o conhecimento científico da época, influenciando a Ciência por mais de mil anos. Sua obra foi escrita em um período em que a Cultura grega ainda exercia grande influência no Império Romano. Apesar do nome, Ptolomeu não tinha relação com a dinastia ptolomaica. Há poucas informações sobre sua vida pessoal, mas suas contribuições para a Astronomia, Geografia e Óptica foram significativas (PIRES, 2008).

Ptolomeu viveu sob o domínio do Império Romano, na província do Egito. Nesse período, a Ciência e a Filosofia gregas eram amplamente difundidas, combinando influências helenísticas e romanas.

Alexandria, onde Ptolomeu trabalhou, foi fundada por Alexandre, o Grande, no século IV a.C. e tornou-se um dos principais centros de pesquisa da Antiguidade. A cidade reunia tradições gregas, romanas e egípcias e abrigava instituições como a Biblioteca de Alexandria, que reunia textos de toda a antiguidade, e o Museu de Alexandria, que incentivavam a pesquisa científica e acadêmica, formando um centro de estudos que atraía os maiores intelectuais da época. Esse ambiente proporcionou a Ptolomeu acesso a uma ampla variedade de conhecimentos acumulados ao longo de séculos (PIRES, 2008).

Os estudos de Ptolomeu foram fortemente influenciados por seus predecessores, especialmente Hiparco de Nicéia (190 a.C.–120 a.C.), conhecido por catalogar estrelas e identificar a precessão dos equinócios. Ptolomeu expandiu essas ideias e desenvolveu o modelo geocêntrico que prevaleceria por séculos na Astronomia ocidental. A precisão dos cálculos de Hiparco teve um impacto significativo na formulação do modelo ptolomaico (PIRES, 2008).

Na época de Ptolomeu, o modelo geocêntrico de Aristóteles (384 a.C.–322 a.C.) ainda era amplamente aceito, postulando que a Terra era o centro fixo do Universo. Essa concepção estava enraizada na Filosofia natural e serviu de base para o modelo cosmológico de Ptolomeu, que incorporava cálculos matemáticos mais detalhados. Como Aristóteles, Ptolomeu não identificou evidências observacionais de um movimento terrestre, como a paralaxe estelar, que só seria detectada séculos depois. Assim, assumiu que a Terra permanecia estacionária no centro do Universo.

Ptolomeu desenvolveu sua teoria geocêntrica a partir da análise de registros antigos, incluindo os dados de Hiparco e de astrônomos babilônios, além de suas próprias observações. Essas ideias foram consolidadas no *Almagesto*, sua principal obra, na qual apresentou um modelo matemático detalhado do sistema geocêntrico. Embora pouco se saiba sobre sua vida pessoal, suas contribuições científicas, especialmente na Astronomia, garantiram-lhe um papel central no desenvolvimento da Ciência na Antiguidade e na Idade Média.

4.2 Observações de Ptolomeu

Esta seção examina as observações de Ptolomeu, que, ao combinar os dados de seus predecessores com suas próprias medições, aprimorou a precisão do modelo geocêntrico e contribuiu para o avanço da Astronomia na época.

As observações astronômicas de Ptolomeu incluíam registros de seus predecessores, como Hiparco de Nicéia e astrônomos babilônios, além de medições realizadas por ele próprio. Esses registros, que abrangiam fenômenos como eclipses e o movimento retrógrado dos planetas, foram utilizados para o refinamento do modelo geocêntrico. Além de recorrer a esses dados, Ptolomeu realizou observações regulares do céu para verificar e corrigir registros anteriores. Ele analisou os movimentos do Sol, da Lua e dos planetas, incluindo o fenômeno do movimento retrógrado, no qual os planetas aparentam inverter temporariamente sua trajetória no céu (PIRES, 2008).

Sem acesso a telescópios, que só foram inventados no século XVII, as observações eram feitas a olho nu, com o auxílio de instrumentos como o quadrante e o astrolábio para medir ângulos e posições celestes com precisão. Entre os instrumentos utilizados, destacam-se além do astrolábio, empregado para determinar a posição dos astros, a dioptra, que permitia medir ângulos com exatidão. Ptolomeu também utilizou esferas armilares para representar as órbitas planetárias conforme o modelo geocêntrico (PEREZ, 2007).

O astrolábio era utilizado para medir a altura angular de um objeto celeste acima do horizonte, auxiliando na determinação das posições dos planetas e estrelas. A dioptra consistia em uma régua fixa com um visor que permitia alinhar a visão de um observador a um objeto celeste, sendo empregada para medir ângulos e a elevação dos corpos celestes (PEREZ, 2007). Embora não fossem instrumentos de observação direta, as esferas armilares serviam como modelos para representar as órbitas dos planetas em torno da Terra no modelo geocêntrico.

Outro instrumento utilizado era o gnômon (relógio de sol), empregado para medir a altura do Sol, calcular o tempo e determinar as posições dos astros ao longo do dia (PEREZ, 2007).

Utilizando essas ferramentas, Ptolomeu descreveu o movimento retrógrado dos planetas, explicando-o em seu modelo geocêntrico por meio do conceito de epiciclos, que será detalhado posteriormente. Além disso, Ptolomeu realizou observações detalhadas de eclipses solares e lunares, fenômenos previsíveis que ele utilizou para validar sua teoria de que a Terra ocupava o centro do Universo, com a Lua girando ao seu redor (VELÁSQUEZ, 2020).

O modelo geocêntrico de Ptolomeu era capaz de prever com razoável precisão as posições dos planetas, eclipses e outros eventos celestes, apesar da complexidade Matemática envolvida nos ajustes das observações. Com a aplicação dos epiciclos e deferentes, ele conseguiu formular previsões sobre o movimento dos planetas observáveis na época (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014; VELÁSQUEZ, 2020).

Ptolomeu também abordou a questão das distâncias dos corpos celestes de maneira sistemática. Ele indicou que determinar as distâncias dos cinco planetas era mais difícil do que calcular as do Sol e da Lua, pois estas podiam ser estimadas com base em eclipses, enquanto os planetas não apresentavam fenômenos que permitissem determinar suas paralaxes com precisão. No *Almagesto*, Ptolomeu estimou que a distância máxima da Lua era de 64,1 raios terrestres e a mínima, de 33,33 raios. Para o Sol, ele calculou uma distância média de 1210 raios terrestres (BARROS-PEREIRA, 2011).

4.3 Obras

Esta seção analisa as principais obras de Ptolomeu, destacando suas contribuições fundamentais para o desenvolvimento da Astronomia. Entre as contribuições mais importantes de Ptolomeu está o *Almagesto*, sua obra-prima que sintetiza os conhecimentos dos fundamentos da Astronomia da Antiguidade. Originalmente chamada de *Mathematike Syntaxis* (Compilação Matemática), a obra foi traduzida para o árabe sob o título *Almagesto*, pelo qual se tornou amplamente conhecida no Ocidente (BASSALO,1990; VELÁSQUEZ-TORIBIO, 2020).

Composto por 13 livros, o *Almagesto* aborda temas variados, desde os princípios matemáticos da Astronomia até os movimentos dos planetas e estrelas. Cada seção reflete o esforço de Ptolomeu em construir um sistema que fosse consistente com as observações disponíveis na época (BASSALO,1990). A obra é fruto da combinação entre os registros de

astrônomos anteriores, como Hiparco de Nicéia, e as próprias observações de Ptolomeu. Ele organizou esse conhecimento em um sistema matemático detalhado, que explicava os movimentos celestes com precisão admirável para sua época. Nele apresenta o modelo geocêntrico com a Terra no centro do Universo.

O *Almagesto* inclui um catálogo com mais de 1.000 estrelas, detalhando suas posições precisas no céu. Ptolomeu também descreveu constelações, muitas das quais permanecem reconhecidas atualmente. Além disso, ele tratou extensivamente dos eclipses solares e lunares, desenvolvendo fórmulas Matemáticas para prever esses fenômenos com uma precisão notável para a época, oferecendo grande utilidade aos astrônomos (BASSALO, 1990).

O *Almagesto* tornou-se a principal referência de Astronomia no mundo ocidental e islâmico por mais de mil anos. Foi a base do ensino astronômico durante a Idade Média e o Renascimento, amplamente estudado por astrônomos árabes e europeus. Traduzido para o árabe no século IX e, posteriormente, do árabe para o latim no século XII, essas traduções preservaram o conhecimento astronômico da antiguidade e o transmitiram ao mundo islâmico e à Europa medieval (BASSALO, 1990).

Além do *Almagesto*, Ptolomeu escreveu o *Tetrabiblos*, uma obra dedicada à astrologia. Nela, ele procurou sistematizar as relações entre os corpos celestes e os eventos terrestres, integrando sua visão astronômica às práticas astrológicas da época. O termo *Tetrabiblos* significa "livro quadruplo" em grego, traduzido para o latim como *Quadripartitum*. Enquanto o *Almagesto* se concentra no rigor científico e matemático, o *Tetrabiblos* busca unir os fundamentos astronômicos à interpretação astrológica (MACHADO, 2021; MARTINS, 1995).

Dividido em quatro livros, o *Tetrabiblos* aborda a astrologia de forma abrangente, explorando desde previsões globais até a interpretação de horóscopos e a influência dos corpos celestes sobre a personalidade e a saúde humana. Apesar de seu foco astrológico, a obra se baseia em fundamentos astronômicos, refletindo o esforço de Ptolomeu em combinar Ciência e tradição. Ele argumentava que, assim como o Sol e a Lua exercem impactos diretos sobre a Terra, como nas estações e marés, outros planetas e estrelas também poderiam influenciar os eventos terrestres (MACHADO, 2021; MARTINS, 1995).

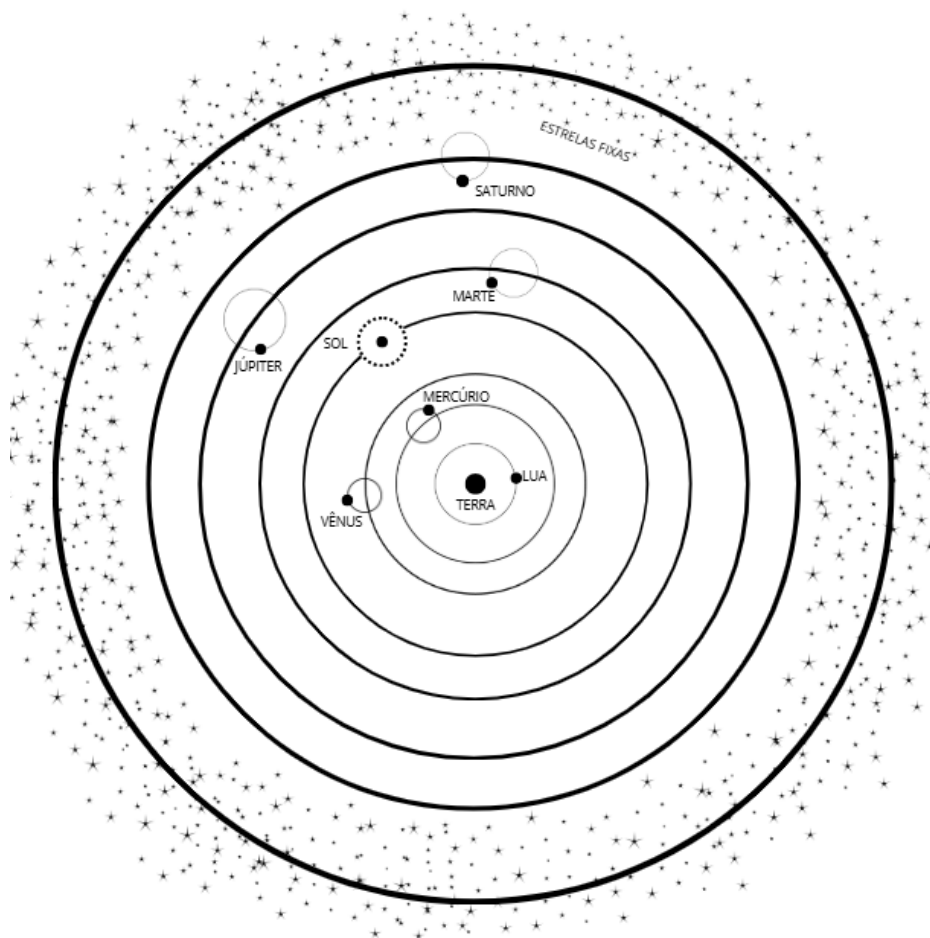
Embora o *Tetrabiblos* não tenha alcançado o mesmo impacto científico do *Almagesto*, sua influência na astrologia foi duradoura. A obra permaneceu como referência tanto no mundo islâmico quanto na Europa medieval e renascentista, sendo amplamente

traduzida e estudada. Dessa forma, Ptolomeu consolidou-se não apenas como uma figura central na Astronomia, mas também como um importante nome na história da astrologia.

4.4 Modelo Geocêntrico de Ptolomeu

Esta seção analisa o modelo geocêntrico apresentado por Ptolomeu em sua obra, que estabeleceu as bases para a compreensão do Universo e permaneceu dominante por mais de mil anos. O modelo geocêntrico de Ptolomeu foi construído a partir de contribuições de astrônomos predecessores, como Apolônio de Perga, que explorou os movimentos circulares, e Hiparco de Nicéia, responsável por avanços significativos na catalogação estelar e na precisão dos cálculos (PEDUZZI, 2015; VELÁSQUEZ, 2020). Como mostrado na Figura 2, essa imagem apresenta uma representação do modelo de Cláudio Ptolomeu, sem considerar a escala.

Figura 2 - Modelo de Ptolomeu – não em escala



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Além disso, ele incorporou os princípios de Aristóteles e as observações de astrônomos babilônios. Com essas referências, Ptolomeu aprimorou o modelo geocêntrico, que estabelece a Terra como centro imóvel do Universo, em torno do qual todos os corpos celestes giram. Buscando maior precisão, Ptolomeu elaborou um sistema matemático detalhado que descrevia os movimentos aparentes dos astros de forma coerente com as observações de sua época. Esse modelo permitiu prever a posição dos corpos celestes com notável exatidão (VELÁSQUEZ, 2020).

O modelo ptolomaico consistia em uma série de esferas concêntricas, com a Terra imóvel no centro. A esfera mais externa, que abrigava as estrelas fixas, era responsável pelo movimento diário observado no céu, enquanto as esferas internas representavam os movimentos dos planetas, da Lua e do Sol.

Esta esfera gira uma vez por dia em torno da Terra. Cada planeta, incluindo o Sol e a Lua, é representado por uma esfera transparente e cristalina. Essas esferas são impulsionadas por forças celestes, e o movimento dos planetas é explicado por uma combinação de movimentos circulares (SOUZA, 2022).

Um dos principais desafios enfrentados pelos antigos modelos era explicar o movimento retrógrado dos planetas, uma inversão aparente em suas trajetórias no céu. Ptolomeu solucionou esse problema introduzindo os conceitos de epiciclos e deferentes (SOUZA, 2022; VELÁSQUEZ, 2020).

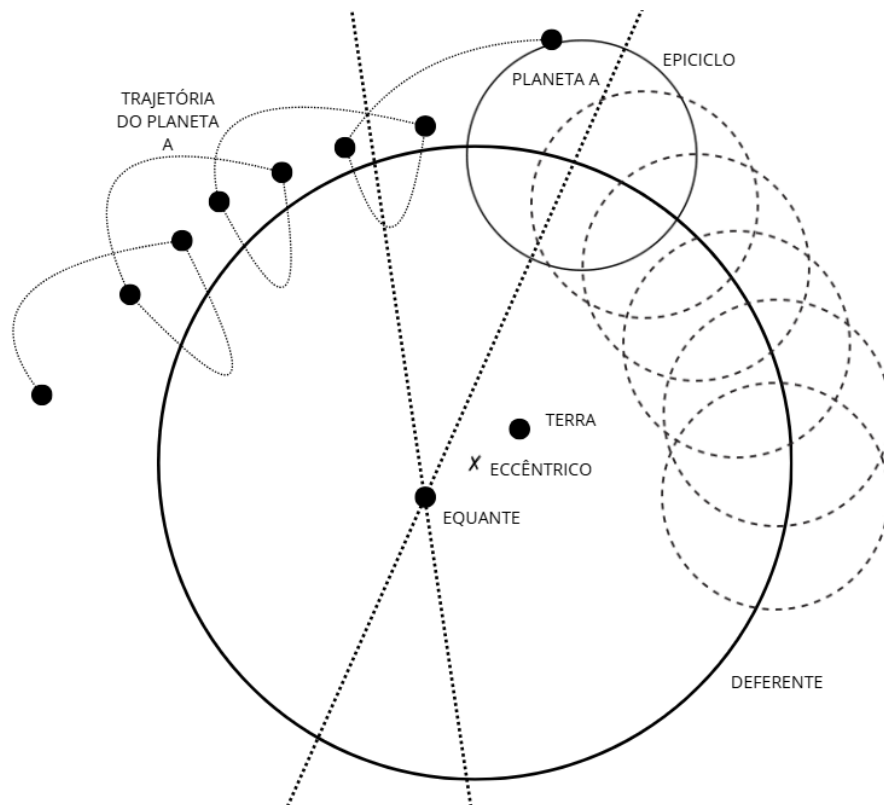
Deferente é um grande círculo em torno da Terra, no qual o centro do epiciclo se desloca. Esse movimento explicava parte das variações na posição dos planetas ao longo do tempo. A ideia é que, enquanto o planeta se move ao redor do epiciclo, o próprio epiciclo está em movimento em torno de um ponto central, chamado deferente.

Epiciclo é um pequeno círculo cuja trajetória se dá ao longo do deferente. Nele, o planeta realiza movimentos adicionais, permitindo explicar o fenômeno do movimento retrógrado. Os epiciclos auxiliam na compreensão do movimento aparente de ida e volta (retrógrado) dos planetas em relação ao fundo de estrelas fixas.

A combinação desses movimentos permitiu que o modelo de Ptolomeu reproduzisse com precisão as posições observadas dos planetas no céu, apesar de acrescentar uma complexidade considerável ao sistema. Com o tempo, foi necessário adicionar mais epiciclos para aumentar a precisão das previsões (BASSALO, 1990; VELÁSQUEZ, 2020).

Além dos epiciclos e deferentes, Ptolomeu incorporou os conceitos de eccêntrico e equante para refinar seu modelo. O eccêntrico deslocava o centro do deferente ligeiramente em relação à Terra, permitindo explicar a variação na velocidade aparente dos planetas ao longo de suas órbitas. Já o equante era um ponto imaginário que tornava o movimento do epiciclo aparentemente uniforme quando observado a partir dele. Essas inovações permitiram a Ptolomeu ajustar as irregularidades observadas nos movimentos dos planetas, tornando seu modelo mais coerente com as evidências disponíveis (BASSALO, 1990; SOUZA, 2022; VELÁSQUEZ, 2020). Na Figura 3, é apresentado um diagrama do sistema de epiciclos de Ptolomeu.

Figura 3 - Sistema de Epiciclos de Ptolomeu – Representação Esquemática.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Resumidamente, de acordo com a teoria ptolomaica, o movimento dos corpos celestes era explicado pela combinação de dois tipos de movimento circular. A órbita principal do planeta ao redor da Terra foi chamada de deferente, enquanto o planeta, ao longo dessa órbita, também descrevia pequenos círculos chamados epiciclos. Embora Ptolomeu tenha

aprimorado o conceito de epiciclos em seu modelo, a ideia original remonta a Apolônio de Perga, que introduziu esse mecanismo para explicar os movimentos planetários (BARROS-PEREIRA, 2011).

O movimento dos planetas nesses epiciclos, ao longo do grande círculo deferente, deveria assegurar a uniformidade e perfeição do sistema cosmológico. No entanto, surgiam discrepâncias entre o modelo e as observações reais. Para compensar essas diferenças, Ptolomeu deslocou a Terra ligeiramente do centro do deferente e introduziu um ponto adicional, o equante. Considerando o equante como referência, o movimento dos planetas parecia mais uniforme, e os cálculos ptolomaicos se aproximavam melhor das observações astronômicas. Apesar de sua complexidade, o modelo ptolomaico demonstrou-se eficaz para prever fenômenos como a posição dos planetas, eclipses e fases da Lua, satisfazendo as necessidades da Astronomia observacional da época.

4.5 O Impacto e a Influência do Modelo de Ptolomeu

Esta seção examina o impacto do modelo geocêntrico de Ptolomeu, que influenciou não apenas a Astronomia, mas também o pensamento filosófico e religioso, permanecendo dominante por mais de mil anos. O modelo geocêntrico de Ptolomeu exerceu enorme influência desde a Antiguidade Tardia até a Idade Média, sendo amplamente aceito tanto no mundo islâmico quanto na Europa cristã. Sua abordagem Matemática e astronômica tornou-se referência para estudiosos ao longo de mais de mil anos. A sua obra foi preservada e estudada pelos astrônomos árabes e, posteriormente, reintroduzida na Europa durante o Renascimento (BASSALO,1990; SOUZA, 2022).

Durante mais de um milênio, o modelo ptolomaico serviu como base para o ensino da Astronomia em escolas e universidades, moldando a visão do cosmos em consonância com as crenças filosóficas e teológicas da época (BASSALO,1990). Suas previsões bastante precisas e a sua concordância com a visão filosófica e teológica da época garantiram a sua longevidade. O sistema de Ptolomeu foi considerado um exemplo de como a razão e a observação podem ser usadas para compreender o cosmos.

Apesar de sua ampla aceitação, o modelo ptolomaico enfrentava críticas, principalmente devido à crescente complexidade introduzida para explicar novos dados e ao uso do equante (VELÁSQUEZ, 2020). O acúmulo de epiciclos e ajustes matemáticos no

modelo ptolomaico acabou levantando dúvidas sobre sua eficiência e simplicidade. Muitos começaram a questionar se a complexidade crescente não indicava a necessidade de uma revisão mais fundamental na compreensão do cosmos. Além disso, as observações mais aprofundadas realizadas por astrônomos como Nicolau Copérnico e Tycho Brahe começaram a revelar diferenças que o modelo de Ptolomeu não conseguia explicar adequadamente.

No século XVI, o modelo geocêntrico do *Almagesto* foi desafiado pela Revolução Copernicana, que propôs o heliocentrismo como uma alternativa mais simples e precisa para explicar os movimentos celestes. Nicolau Copérnico propôs o modelo heliocêntrico (com o Sol no centro do Universo), que foi uma crítica direta ao sistema ptolomaico. Apesar das críticas e do surgimento de novos modelos, o *Almagesto* permaneceu como uma referência importante por séculos, especialmente devido à precisão de suas tabelas astronômicas e às técnicas Matemáticas desenvolvidas por Ptolomeu.

Embora o sistema de Ptolomeu tenha sido fundamental para a Astronomia por séculos, ele apresentava limitações que seriam desafiadas no Renascimento, conforme discutiremos na próxima seção sobre Nicolau Copérnico.

5. NICOLAU COPÉRNICO E A REVOLUÇÃO HELIOCÊNTRICA

Nicolau Copérnico é uma das figuras mais emblemáticas da história da Astronomia, conhecido por ter iniciado a revolução heliocêntrica — uma transformação profunda na forma como o Universo era compreendido. Nascido em 1473, na Polônia, Copérnico dedicou sua vida ao estudo da Matemática, Astronomia, Medicina e Direito, consolidando um conhecimento multidisciplinar que seria crucial para suas descobertas. O seu modelo, que colocava o Sol no centro do cosmos, desafiou o sistema geocêntrico estabelecido por Ptolomeu, vigente há mais de mil anos, e abriu caminho para uma nova compreensão do Universo. Apesar de inicialmente enfrentarem resistência da Igreja e da comunidade científica, suas ideias revolucionaram a Ciência, marcando o início da transição da Idade Média para a era moderna. Nesta sessão, exploraremos a vida de Copérnico, a sua obra principal *De revolutionibus orbium coelestium*, e o impacto do modelo heliocêntrico. A Figura 4 exibe um retrato de Nicolau Copérnico.

Figura 4 - Nicolau Copérnico



Fonte: J. Falck, Public domain, via Wikimedia Commons -

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nicolaus_Copernicus._Reproduction_of_line_engraving.jpg

5.1. Vida e Contexto Histórico de Nicolau Copérnico

Nicolau Copérnico nasceu em 1473, na cidade de Torun, na Polônia, em um momento de profundas transformações Culturais e intelectuais impulsionadas pelo Renascimento. Copérnico viveu no final do Renascimento, um período que marcou uma transição crucial na história europeia, e renovado interesse pela Ciência, pela Filosofia e pela redescoberta de obras clássicas. Esse ambiente permitiu maior liberdade intelectual e incentivou questionamentos sobre o conhecimento herdado (BERTRAND, 2008).

Após a morte de seu pai, aos dez anos, Copérnico foi criado sob os cuidados de seu tio, o bispo de Warmia, que lhe proporcionou uma educação de excelência, com foco em Literatura, Filosofia e Ciências, preparando-o para uma carreira intelectual diversificada. Esse aprendizado inicial moldou seu interesse pelas áreas do saber e seu desenvolvimento intelectual (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Copérnico iniciou seus estudos na Universidade de Cracóvia, onde teve contato com Aritmética, Geometria e Astronomia. Embora ainda distante de formular a teoria heliocêntrica, ele já demonstrava interesse pela Matemática e pelos corpos celestes, base para seus futuros avanços. Seu tio ajudou Copérnico a ter acesso a uma excelente educação e a posições de prestígio na Igreja, o que lhe garantiu estabilidade para realizar suas pesquisas (BERTRAND, 2008).

Entre 1496 e 1503, Copérnico frequentou as universidades de Bolonha, Pádua e Ferrara, onde teve contato direto com o humanismo renascentista. Durante esse período, aprofundou seus conhecimentos em Direito, Medicina, Matemática e Astronomia, absorvendo os avanços Culturais e científicos do Renascimento. Enquanto estudava Direito canônico em Bolonha, Copérnico trabalhou com Domenico Maria de Novara, um renomado astrônomo e matemático. Essa colaboração despertou em Copérnico um interesse mais profundo pela Astronomia e influenciou suas reflexões sobre o movimento dos corpos celestes (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Na Universidade de Pádua, ele também estudou Medicina, além de Direito e Teologia, uma formação multidisciplinar que o ajudou a combinar observação empírica e Matemática em sua abordagem astronômica. Ao concluir seus estudos, Copérnico retornou à Polônia e passou a trabalhar como administrador e médico em Frauenburg (atual Frombork),

onde desenvolveu suas ideias sobre o sistema heliocêntrico (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Grande parte da vida de Copérnico foi dedicada à pesquisa e às funções administrativas e religiosas. Como cônego da catedral de Frauenburg, ele manteve uma posição de estabilidade que lhe permitiu aprofundar suas investigações astronômicas.

Embora Copérnico tenha trabalhado em várias áreas, incluindo economia e Medicina, foi na Astronomia que ele deixou a sua marca mais profunda. Com sua formação em Matemática e observações meticolosas o levaram a questionar o modelo geocêntrico dominante, propondo uma alternativa mais precisa para o movimento dos astros (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Copérnico faleceu em 1543, no mesmo ano em que sua obra seminal, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, foi publicada. Ele recebeu uma cópia do livro poucos dias antes de sua morte, o que simboliza o fechamento de sua trajetória, já que passou grande parte de sua vida desenvolvendo suas teorias e só viu o resultado final muito próximo de seu falecimento (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

O contexto histórico em que Copérnico viveu era marcado pela influência da Igreja Católica sobre a Ciência e a Cultura, especialmente em questões cosmológicas. O modelo geocêntrico ptolomaico era amplamente aceito, pois se alinhava com a visão teológica de que a Terra, como criação divina, deveria ocupar o centro do Universo (BERTRAND, 2008; KUHN, 2006).

5.2 Observações de Copérnico

Nicolau Copérnico teve sua formação acadêmica profundamente influenciada pelos textos clássicos, em particular pelas obras de Aristóteles e Ptolomeu, que moldaram o entendimento dos fenômenos astronômicos predominante na época. Aristóteles, com sua visão filosófica, e Ptolomeu, com seu modelo geocêntrico, moldaram o entendimento do conhecimento astronômicos da época, que colocava a Terra no centro do cosmos. Contudo, à medida que Copérnico se aprofundava em seus estudos, começou a identificar as limitações desse modelo (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Inspirado por filósofos e cientistas antigos, como Heráclito do Ponto e Aristarco de Samos, Copérnico começou a questionar a concepção tradicional de uma Terra estática no

centro do cosmos. Inspirado por esses pioneiros e após anos de observação do céu, Copérnico começou a questionar as hipóteses tradicionais e a desenvolver uma visão própria.

Copérnico registrou detalhadamente os movimentos e posições dos planetas e das estrelas, utilizando instrumentos simples, uma vez que os telescópios só seriam inventados no século XVII. Suas observações eram feitas a olho nu, com o auxílio de instrumentos que ele mesmo criou, seguindo os métodos disponíveis na época (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Além de conduzir suas próprias observações, Copérnico se baseou em dados de astrônomos antigos e em tabelas astronômicas elaboradas por estudiosos islâmicos e babilônicos, que forneceram uma base sólida para seu trabalho. Um dos fenômenos que mais intrigaram Copérnico foi o movimento retrógrado dos planetas, em que estes aparentavam inverter sua trajetória no céu. Ele buscou uma explicação mais simples para esse comportamento, em contraste com os complexos epiciclos do modelo ptolomaico, que dificultavam a compreensão (BERTRAND, 2008).

Ao analisar discrepâncias nas tabelas astronômicas, especialmente no movimento dos planetas, Copérnico identificou um padrão: os planetas mais próximos do Sol moviam-se mais rapidamente do que os mais distantes. Embora ele não tenha formulado essa observação como uma lei quantitativa, essa relação seria posteriormente confirmada por Kepler, que a expressou matematicamente em sua terceira lei do movimento planetário, e aprimorada por Newton, ao demonstrar sua fundamentação na Lei da Gravitação Universal (OLIVEIRA, 2014).

Copérnico também percebeu que, apesar das variações de velocidade dos planetas, o movimento do Sol parecia mais constante e previsível, o que o levou a questionar a crença na perfeição das órbitas circulares, uma ideia defendida pelos astrônomos da época. Ele concluiu que a Terra realizava dois movimentos simultâneos: uma órbita ao redor do Sol e uma rotação diária em torno de seu próprio eixo, explicando o movimento aparente das estrelas e planetas no céu, algo que o modelo geocêntrico não conseguia justificar adequadamente (BERTRAND, 2008).

Copérnico sugeriu que as estrelas poderiam estar a grandes distâncias da Terra, o que explicaria sua aparente imobilidade, embora Copérnico não tenha desenvolvido completamente a ideia de um Universo vasto e infinito, preparando o caminho para as visões posteriores de Giordano Bruno e Galileu Galilei.

Além disso, um dos desafios enfrentados por Copérnico foi a objeção de que a rotação da Terra causaria uma força centrífuga suficiente para lançar objetos para fora de sua superfície (BERTRAND, 2008). Esse argumento foi superado posteriormente com o avanço da mecânica, especialmente com o trabalho de Galileu e Newton, que explicaram a inércia (a tendência dos corpos de permanecerem em movimento) e a gravidade (que mantém os objetos na Terra, mesmo com sua rotação (OLIVEIRA, 2014).

Por fim, Copérnico concluiu que era mais simples e lógico colocar o Sol no centro do Sistema Solar, com a Terra e os outros planetas orbitando ao seu redor em órbitas circulares. No entanto, ele ainda acreditava que as órbitas dos planetas eram circulares, o que foi corrigido por Kepler, que demonstrou que as órbitas são elípticas (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

5.3 Obras

Nicolau Copérnico dedicou sua vida a investigar e reformular a compreensão do cosmos, combinando observações meticulosas com rigor matemático. Sua abordagem desafiou o modelo geocêntrico de Ptolomeu (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Sua obra-prima, *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre as Revoluções das Esferas Celestes), foi publicada em 1543, nos últimos dias de sua vida. Esse tratado monumental detalhou o modelo heliocêntrico, marcando uma ruptura significativa com o conhecimento astronômico vigente. Nele, Copérnico propôs que o Sol era o centro do Universo, e que a Terra, assim como os outros planetas, girava ao seu redor.

A obra é composta por seis livros, nos quais Copérnico apresenta de forma sistemática os movimentos da Terra e as órbitas planetárias. Fundamentada em observações precisas e cálculos matemáticos, *De Revolutionibus* oferecia uma alternativa consistente ao modelo ptolomaico (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

No entanto, Copérnico hesitou em publicar sua obra, temendo ser ridicularizado por propor a hipótese de uma Terra em movimento, em contradição com a percepção sensorial da época. Na dedicatória de *De Revolutionibus* ao papa Paulo III, ele admitiu ter sido tomado por dúvidas sobre divulgar suas ideias por escrito ou restringi-las a um círculo seleto de estudiosos, seguindo uma abordagem semelhante à tradição pitagórica de transmissão oral do conhecimento (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Copérnico finalizou o manuscrito por volta de 1530 e confiou-o ao bispo de Kulm, Tiedmann Giese, seu amigo e defensor de suas ideias. Giese entregou o texto a Rheticus, que organizou a publicação em Nuremberg, na tipografia de Johannes Petreius. No entanto, em 1542, Rheticus foi chamado para assumir uma cátedra em Leipzig, deixando a supervisão final da impressão sob responsabilidade de Osiander (LOPARIC, 2008).

Osiander, prevendo uma reação severa das autoridades religiosas, enviou uma carta a Copérnico em 20 de abril de 1541, sugerindo que ele rejeitasse publicamente a interpretação realista de sua teoria para evitar conflitos. Não há registros confirmando se Copérnico respondeu a essa sugestão.

Kepler relatou posteriormente que Copérnico teria recusado a ideia, afirmando que "deveria publicar suas opiniões abertamente, mesmo que isso causasse danos à Ciência". No entanto, Osiander incluiu, sem permissão, um prefácio anônimo no início de *De Revolutionibus*, no qual apresentava o heliocentrismo como uma ferramenta Matemática, sem necessariamente representar a realidade do cosmos (LOPARIC, 2008).

Não se sabe com certeza qual foi a reação de Copérnico a essa alteração. Segundo uma carta de Giese a Rheticus, datada de 26 de julho de 1543, Copérnico recebeu um exemplar de sua obra no dia de sua morte (24 de maio de 1543), já debilitado, sem condições de reagir. Um relato posterior (1609) sugere que ele teria recebido as provas um ano antes, ficando revoltado, mas não há evidências de que tenha tomado medidas contra a publicação do prefácio de Osiander (LOPARIC, 2008).

O objetivo dessa introdução era reduzir o impacto das ideias do autor perante a Igreja, evitando conflitos imediatos com as autoridades religiosas. No entanto, ao apresentar o heliocentrismo como uma simples ferramenta de cálculo, Osiander acabou gerando confusão entre os leitores e retardando a aceitação do modelo como uma representação precisa da realidade (BERTRAND, 2008).

No prefácio, Osiander afirma que as hipóteses apresentadas não precisam ser "verdadeiras nem verossímeis", mas apenas ferramentas para facilitar os cálculos astronômicos. Essa abordagem sugeria que o heliocentrismo de Copérnico era apenas um modelo matemático, sem necessariamente representar a estrutura real do cosmos (BERTRAND, 2008).

Embora o impacto inicial de *De Revolutionibus* tenha sido discreto, sua relevância cresceu gradualmente, fomentando debates e impulsionando os avanços científicos que culminariam na Revolução Científica. A obra teve poucos apoiadores em seu lançamento e foi

recebida com certa indiferença, especialmente nas escolas e na própria Igreja (BERTRAND, 2008).

Contudo, à medida que outros cientistas, como Galileu e Kepler, adotaram e expandiram o modelo copernicano, a teoria heliocêntrica começou a enfrentar resistência tanto religiosa quanto acadêmica, devido às implicações filosóficas e teológicas que desafiavam a visão tradicional do cosmos. Copérnico compreendia que sua proposta contrariava a doutrina estabelecida, mas via na simplicidade e na coerência Matemática de seu modelo uma indicação de sua veracidade (BERTRAND, 2008).

Copérnico escreveu outros trabalhos menos conhecidos que ajudaram a fundamentar e divulgar suas ideias. Um deles foi o *Commentariolus*, abreviação de *Nicolai Copernici de hypothesibus motuum caelestium a se constitutis commentariolus* (“Um breve esboço das hipóteses de Nicolau Copérnico sobre os movimentos celestes”). Trata-se de um manuscrito preliminar, escrito por volta de 1514, no qual Copérnico delineia suas primeiras concepções sobre o sistema heliocêntrico. O documento, estruturado em sete pontos principais, propunha uma alternativa ao modelo ptolomaico, descrevendo o Sol como o centro do Universo e os planetas, incluindo a Terra, em órbitas ao seu redor.

Embora não tenha sido formalmente publicado, o *Commentariolus* circulou entre amigos e colegas próximos, servindo como um esboço inicial de suas ideias. Esse trabalho antecedeu e influenciou a formulação de sua principal obra, *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre as revoluções das esferas celestes), que seria publicada décadas depois (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Em 1540, o discípulo de Nicolau Copérnico, Jorge Joaquim Rético (1514-1576), escreveu a *De libris revolutionum Copernici narratio prima*, geralmente referido como *Narratio Prima*, uma carta dirigida a um antigo mestre de Astronomia e Matemática. A pedido de Copérnico, Rético apresentou a essência do sistema heliocêntrico, extraída do manuscrito *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Com habilidade, Rético condensou o conteúdo de uma obra densa, repleta de tabelas astronômicas, cálculos e diagramas complexos, facilitando o entendimento das ideias revolucionárias de Copérnico (PEDUZZI, 2015).

A *Narratio Prima* também reflete a cautela com que Rético apresentou as hipóteses de Copérnico, destacando seu respeito pelos sábios da Antiguidade. Essa precaução evidencia não apenas a complexidade da teoria heliocêntrica, mas também a necessidade de inseri-la em

um contexto que não confrontasse diretamente o pensamento tradicional da época (PEDUZZI, 2015).

Além de seus estudos astronômicos, Copérnico traduziu do grego para o latim uma coleção de poesias de Teofilacto de Simocata, com temas filosóficos e literários. Embora essa obra não tenha relação direta com a Astronomia, reflete seu interesse pela Cultura clássica e pelo humanismo renascentista (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Copérnico também escreveu textos sobre Administração Financeira e Medicina enquanto atuava como administrador e médico em Frauenburg. Suas análises abordam a gestão de moedas locais e demonstram seu envolvimento com questões técnicas e práticas da comunidade (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Apesar do ceticismo inicial, suas ideias abriram caminho para avanços na Astronomia e influenciaram diretamente cientistas como Johannes Kepler, Galileu Galilei e Isaac Newton. Esses astrônomos expandiram e consolidaram nossa compreensão do Sistema Solar e das leis físicas que o regem, baseando-se nas inovações de Copérnico (OLIVEIRA, 2014; SOBEL, 2015).

5.4 Modelo Heliocêntrico de Copérnico

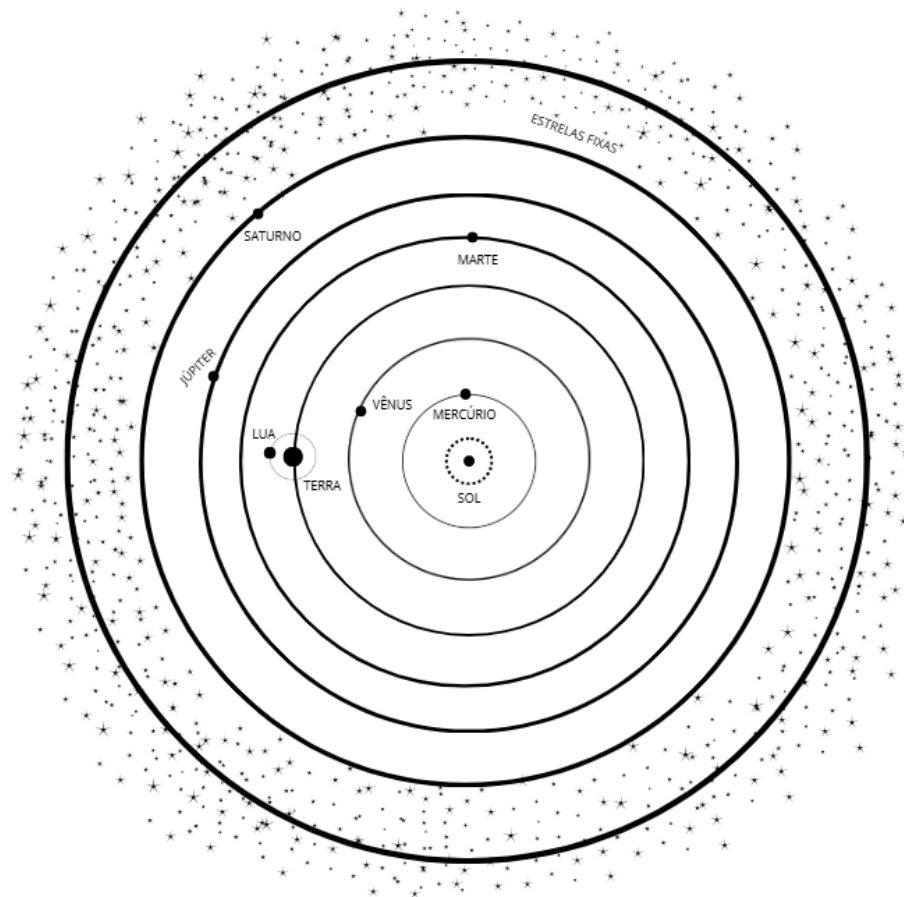
No modelo heliocêntrico proposto por Nicolau Copérnico, o Sol era colocado no centro do Universo, enquanto a Terra e os demais planetas orbitavam ao seu redor em trajetórias circulares. Essa abordagem desafiava diretamente o modelo geocêntrico de Ptolomeu, que dominava o conhecimento astronômicos por mais de mil anos.

A motivação inicial de Copérnico para desenvolver o modelo heliocêntrico foi sua insatisfação com o conceito de equante no sistema ptolomaico, que ele considerava uma solução Matemática artificial e inconsistente. O equante era uma solução geométrica utilizada no modelo de Ptolomeu para explicar o movimento não uniforme dos planetas, mas Copérnico considerava essa abordagem insatisfatória, pois acreditava que o movimento dos corpos celestes deveria ser uniforme e sem pontos arbitrários como o equante (PEDUZZI, 2015).

As sucessivas tentativas de aprimorar o sistema ptolomaico, realizadas por astrônomos árabes e europeus, foram marcadas por ajustes para melhorar sua correspondência com os dados observacionais. No entanto, essas alterações não introduziram inovações fundamentais. Copérnico percebeu que apenas um rompimento fundamental com a tradição

geocêntrica poderia proporcionar uma explicação mais simples e coerente para os movimentos planetários (PEDUZZI, 2015). A Figura 5 apresenta uma representação do modelo de Copérnico, sem considerar a escala, que propõe o Sol como centro do Sistema Solar.

Figura 5 - Modelo de Copérnico – não em escala.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Sua busca por alternativas incluiu a leitura de clássicos da Antiguidade, que revelaram debates filosóficos sobre o movimento da Terra. Ele descobriu que, para alguns pensadores gregos como Hicetas (c. 400–335 a.C.) e Heráclides (c. 390–310 a.C.), a Terra possuía um movimento giratório em torno de um eixo fixo. Filolau (c. 470–385 a.C.) acreditava que a Terra orbitava um 'fogo central', enquanto Aristarco de Samos (c. 310–230 a.C.) propunha que ela girava em torno de si mesma e revolucionava ao redor do Sol (PEDUZZI, 2015).

Apesar dessas influências potenciais, não é claro se o conhecimento dessas ideias motivou Copérnico desde o início ou se ele recorreu a elas para fundamentar sua teoria heliocêntrica após identificar falhas no sistema ptolomaico. Em *De Revolutionibus*, Copérnico

não menciona predecessores imediatos, o que era comum na época, mas sua obra reflete um esforço para superar os limites dos modelos anteriores, desafiando séculos de tradição astronômica (PEDUZZI, 2015).

Um dos avanços notáveis de Copérnico foi a introdução do conceito de que a Terra não era o único planeta, mas sim um dos seis planetas conhecidos em sua época que orbitam o Sol. Copérnico foi o primeiro a organizar os planetas em ordem crescente de distância ao Sol: Mercúrio, Vênus, Terra (acompanhada pela Lua), Marte, Júpiter e Saturno. Essa disposição refletia as observações de alinhamentos planetários e trouxe maior consistência ao seu modelo.

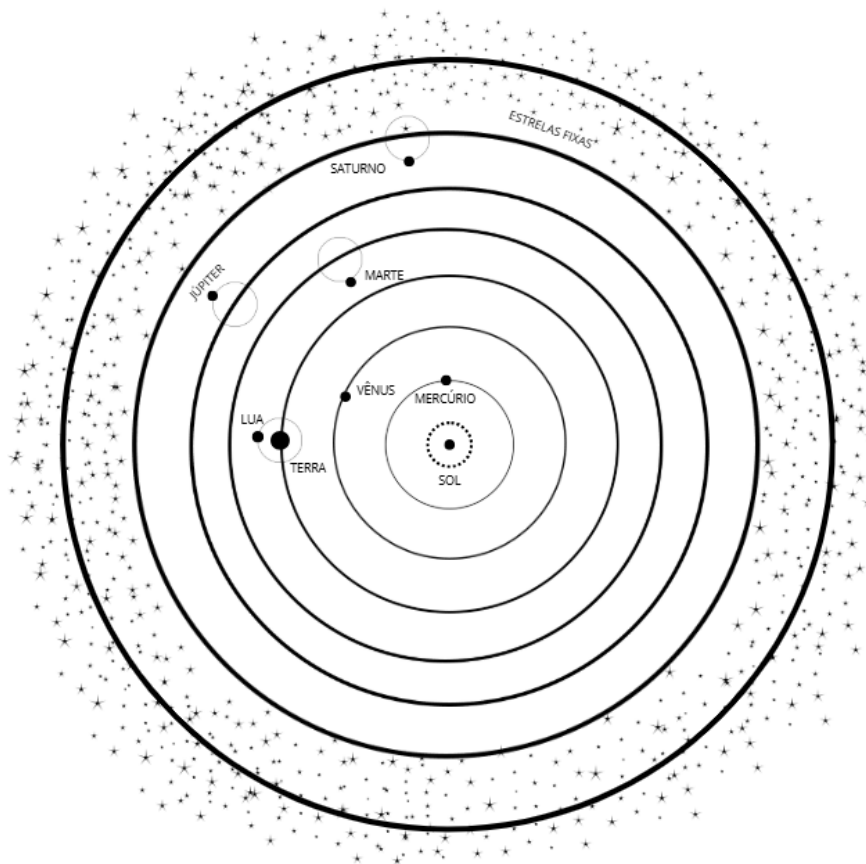
Vale destacar que, embora Copérnico tenha proposto uma simplificação, ele ainda estava preso à visão de órbitas circulares. Ele acreditava que as órbitas eram perfeitas e circulares, o que mais tarde seria ajustado por Kepler para órbitas elípticas. Essa organização se baseou em observações de alinhamentos planetários e medições angulares, representando um progresso significativo em relação aos modelos anteriores. (OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Uma das inovações do sistema copernicano foi a descoberta da relação entre os movimentos dos planetas, integrando-os em um único sistema, com distâncias e tempos de revolução interligados. Por exemplo, Copérnico estimou que a revolução completa de Júpiter ao redor do Sol durava cerca de 4.332 dias e 14 horas, utilizando a posição de alinhamento entre Terra, Júpiter e o Sol para calcular esse movimento (BERTRAND, 2008).

O modelo de Copérnico descrevia um Universo com esferas concêntricas centradas no Sol, onde cada planeta seguia sua órbita ao redor do Sol, enquanto a Lua continuava a orbitar a Terra. Essa organização eliminava a necessidade de epiciclos e reorganizava o cosmos de uma forma mais simplificada e racional (PEDUZZI, 2015).

Apesar desses avanços, Copérnico manteve alguns conceitos do modelo ptolomaico, como excêntricos (órbitas circulares deslocadas) e epiciclos, o que introduziu uma certa complexidade no seu sistema, que, no início, visava a simplicidade. Isso significa que, embora Copérnico tenha dado um grande passo em relação ao modelo geocêntrico, ele ainda não conseguiu eliminar completamente as complicações que surgiam com o modelo circular (OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015). A Figura 6 apresenta uma representação esquemática do modelo de Copérnico com o sistema de epiciclos, sem considerar a escala.

Figura 6 - Sistema de Epiciclos de Copérnico – Representação Esquemática



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Copérnico identificou três movimentos fundamentais da Terra: a rotação diária em torno de seu eixo, responsável pelo ciclo de dia e noite; a translação anual ao redor do Sol, que explica as estações do ano e o movimento aparente do Sol entre as constelações; e a inclinação do eixo terrestre, que gera as variações sazonais. Esses movimentos representaram uma solução para fenômenos que o modelo geocêntrico não explicava de forma satisfatória, como as estações do ano e as mudanças sazonais (OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Além de propor a estrutura do sistema heliocêntrico, Copérnico calculou as distâncias relativas dos planetas ao Sol, utilizando a distância Terra-Sol como referência, o que trouxe maior precisão ao seu modelo. Ele concluiu que a velocidade orbital de um planeta aumenta à medida que este se aproxima do Sol. Essa interpretação eliminou a dependência dos intrincados epiciclos utilizados no modelo ptolomaico para explicar o movimento retrógrado dos planetas (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Um dos avanços mais significativos do modelo copernicano foi a explicação do movimento retrógrado dos planetas, que antes exigia os complexos epiciclos do modelo

geocêntrico. Copérnico demonstrou que esse fenômeno era, na verdade, uma ilusão causada pela posição relativa da Terra em sua órbita. Quando a Terra, movendo-se mais rapidamente, ultrapassa planetas como Marte, cria-se a impressão de que esses planetas se movem para trás no céu. Essa explicação simples eliminou a necessidade dos complicados epiciclos anteriormente utilizados para justificar esse comportamento aparente (PEDUZZI, 2015).

5.5 O Impacto do Heliocentrismo

O modelo heliocêntrico de Copérnico trouxe transformações profundas para a Astronomia e a Filosofia, desafiando as concepções tradicionais sobre o cosmos. Apesar da recepção inicial tímida, suas ideias gradualmente se consolidaram como um marco na história do conhecimento.

Nas décadas seguintes à publicação de *De Revolutionibus*, o heliocentrismo gerou intensos debates acadêmicos, suscitando tanto ceticismo quanto entusiasmo. Embora controverso, o modelo copernicano atraiu estudiosos que buscavam explicações mais consistentes para os movimentos celestes (PEDUZZI, 2015). No entanto, muitos resistiam à ideia de que a Terra não era o centro do Universo, pois isso contrariava não apenas a ciência da época, mas também crenças religiosas. A oposição ao heliocentrismo refletia o apego às concepções cosmológicas tradicionais e preocupações teológicas, pois a nova ordem cósmica questionava a centralidade da humanidade na criação divina.

Com o tempo, o heliocentrismo tornou-se um dos pilares da Revolução Científica. A obra de Copérnico estimulou a curiosidade científica, incentivando pesquisas para testar e aprimorar suas ideias (PEDUZZI, 2015). Johannes Kepler e Galileu Galilei desempenharam papéis decisivos nessa consolidação. Kepler aprimorou o modelo ao demonstrar que os planetas descrevem órbitas elípticas, tornando a descrição dos movimentos celestes mais precisa. Galileu, por sua vez, utilizou o telescópio para fornecer evidências observacionais, como as fases de Vênus e as luas de Júpiter, reforçando a validade do heliocentrismo (SOBEL, 2015; PEDUZZI, 2015).

As contribuições de Kepler e Galileu não apenas fortaleceram o heliocentrismo, mas também revolucionaram o método científico, ao priorizar observações empíricas e cálculos rigorosos. O foco na precisão das medições estabeleceu novos padrões metodológicos,

impulsionando a inovação científica. Assim, o impacto do heliocentrismo foi além da Astronomia, influenciando diversas áreas do conhecimento (PEDUZZI, 2015).

Do ponto de vista filosófico, o heliocentrismo teve implicações profundas. Ao retirar a Terra do centro do Universo, Copérnico desafiou a visão antropocêntrica predominante, incentivando novas reflexões sobre o lugar da humanidade no cosmos (SOBEL, 2015).

A reação da Igreja Católica ao heliocentrismo culminou em 1616, quando a Inquisição declarou a teoria contrária às Escrituras, colocando *De Revolutionibus* no Índice de Livros Proibidos. Copérnico foi alvo de uma longa campanha de oposição, que contou com reformadores religiosos como Martinho Lutero e Philipp Melanchthon, além de intelectuais renomados do século XVI. O erudito Joseph Justus Scaliger, o poeta George Buchanan, os filósofos Giordano Bruno e Lodovico Galla, os matemáticos Francesco Maurolico e Pietro Barozzi, e os astrônomos Tycho Brahe, Giovanni Antonio Magini e Christoph Clavius foram alguns dos que escreveram críticas contundentes contra Copérnico (LOPARIC, 2008; PEDUZZI, 2015).

Apesar das resistências, o heliocentrismo estabeleceu as bases para uma revolução científica. Embora as observações de Copérnico não tivessem a precisão alcançada por seus sucessores, sua obra abriu caminho para avanços significativos na Astronomia e em outras áreas do conhecimento. O modelo copernicano desafiou dogmas estabelecidos e consolidou o espaço para a pesquisa científica, redefinindo a forma como o Universo era compreendido.

Na próxima seção, será abordado o papel de Tycho Brahe, que, com suas observações precisas, atuou como uma ponte entre os modelos clássicos e as inovações que dariam continuidade à Revolução Copernicana.

6. TYCHO BRAHE E A ASTRONOMIA DE TRANSIÇÃO

Tycho Brahe, um dos astrônomos mais notáveis do final do século XVI, desempenhou um papel fundamental na evolução da Astronomia, posicionando-se entre a tradição clássica e a revolução científica. Nascido em 1546, na Dinamarca, Brahe dedicou sua vida a observações astronômicas extremamente detalhadas, utilizando instrumentos que ele mesmo projetou e construiu, antes da invenção do telescópio. Embora tenha rejeitado o heliocentrismo de Copérnico, Brahe formulou um modelo intermediário, conhecido como sistema "tychônico", no qual os planetas giravam ao redor do Sol, que, por sua vez, orbitava a Terra. Suas observações dos corpos celestes, questionaram a visão aristotélica de um Universo imutável e forneceram os dados necessários para que Johannes Kepler desenvolvesse suas leis do movimento planetário. Neste capítulo, analisaremos a vida de Tycho Brahe, as suas contribuições para a Astronomia, e o impacto de sua abordagem na consolidação da revolução copernicana. A Figura 7 exibe um retrato de Tycho Brahe.

Figura 7 - Tycho Brahe



Fonte: John Louis Emil Dreyer (1852–1926), Public domain, undefined - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tycho_Brahe_0008a.png

6.1. Vida e Contexto Histórico de Tycho Brahe

Tycho Brahe (1546-1601) nasceu em 14 de dezembro de 1546, na ilha de Hven, em uma família nobre dinamarquesa onde teve uma educação privilegiada. Desde jovem, demonstrou um profundo interesse pela Astronomia, influenciado por um eclipse solar observado em sua infância. Esse evento despertou sua curiosidade e levou-o a iniciar seus estudos na Universidade de Copenhague. No entanto, em busca de uma educação mais profunda, transferiu-se para a Universidade de Leipzig, na Alemanha, onde se dedicou intensamente à Astronomia e Matemática (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Durante sua juventude, em 1566, Tycho envolveu-se em um duelo que resultou em uma ferida permanente no nariz, obrigando-o a usar uma prótese metálica pelo restante de sua vida. Esse episódio peculiar destacou sua personalidade excêntrica e contribuiu para sua notoriedade entre os contemporâneos (BERTRAND, 2008).

Em 1576, recebeu o apoio do rei dinamarquês Frederico II, que lhe concedeu a ilha de Hven para a construção do famoso observatório Uraniborg. Esse local se tornaria um centro de pesquisa astronômica de ponta, onde Tycho desenvolveu instrumentos de observação. Ele registrou fenômenos como a supernova de 1572 e o cometa de 1577, cujos dados contradiziam a ideia aristotélica (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

Durante o século XVI, o contexto científico estava mudando drasticamente. A teoria heliocêntrica de Copérnico, publicada em 1543, desafiava o sistema geocêntrico ptolomaico que dominava a visão do Universo até então. Embora Tycho não aceitasse completamente o modelo heliocêntrico, ele desenvolveu um sistema misto (BERTRAND, 2008). Essa proposta inovadora foi uma tentativa de conciliar as observações astronômicas com as crenças religiosas da época.

Além de seu trabalho em Astronomia, também se dedicou à Alquimia, acreditando que ela poderia ajudar a compreender a composição dos corpos celestes. Em seu laboratório, realizou diversos experimentos e manteve contato com outros alquimistas da época, refletindo a interconexão entre Ciência, Filosofia Natural e as crenças místicas do Renascimento (BERTRAND, 2008).

A morte de Frederico II, em 1588, marcou uma mudança significativa em sua vida, que perdeu o patrocínio real e enfrentou dificuldades financeiras. Em 1597, Tycho casou-se com sua prima Kirstine, com quem teve filhos. Essa união, além de fortalecer sua posição social e financeira, refletia sua preocupação com a educação e o futuro da família.

Dois anos depois, em 1599, mudou-se para Praga, onde foi acolhido pelo imperador Rodolfo II, que lhe ofereceu suporte para continuar suas pesquisas. O imperador providenciou uma residência confortável na cidade e permitiu que Tycho escolhesse entre vários castelos no campo para estabelecer seu observatório. Em Praga, Tycho conheceu Johannes Kepler, que se tornou seu assistente e, mais tarde, utilizaria suas observações para formular as famosas Leis de Kepler (BERTRAND, 2008).

Tycho Brahe era um defensor da Ciência, mas também cultivava uma imagem pública de aristocrata, participando de festas e eventos sociais. Seu talento observacional e sua dedicação ao registro preciso de dados tornaram-no uma figura central na transição da Astronomia medieval para a moderna (BERTRAND, 2008).

Tycho faleceu em 24 de outubro de 1601, em Praga, após uma doença que o debilitou rapidamente. Antes de sua morte, confiou a Johannes Kepler a tarefa de concluir suas tabelas astronômicas, garantindo que suas observações contribuíssem para o progresso da Astronomia. Nos momentos finais, fez com que Kepler promettesse terminar suas tabelas e zelar pela publicação de seus trabalhos. Embora Tycho não tivesse aspirações teóricas tão grandiosas quanto as de Kepler, sua contribuição para a Astronomia é inegável. Tycho representa uma ponte entre a Astronomia observacional da Antiguidade e as teorias científicas do período moderno (BERTRAND, 2008).

Tycho Brahe não foi o único membro de sua família a se destacar no campo do conhecimento. Sua irmã mais nova, Sophia Brahe (1556–1643), também se destacou em diversas áreas, incluindo astronomia e outras ciências. Mesmo diante das dificuldades impostas pela sociedade da época, que desconsiderava o estudo científico para mulheres, ela superou obstáculos significativos e se tornou uma pesquisadora notável (BERNARDI, 2016).

Sua formação não se limitou à astronomia, ela também se destacou em química, medicina e horticultura, áreas nas quais aplicou seus conhecimentos de maneira prática. Como observadora e pesquisadora, Sophia foi influenciada pelo trabalho de Tycho, com quem colaborou, e seus estudos ajudaram a expandir o conhecimento científico do período. Além disso, ela cultivou um talento literário, escrevendo versos latinos, alguns dos quais chegaram

até nós, como uma peça de seiscentos versos dedicada a seu esposo ausente, em que expressava seu desejo de sua presença, com a célebre frase "Urânia, conforme diz ela, foi o nome que escolheu em alusão aos seus estudos". Ela foi uma figura importante na história da ciência, principalmente no campo da astronomia, e sua colaboração com Tycho Brahe foi fundamental para o desenvolvimento da ciência moderna, mas nem sempre é mencionada (BERNARDI, 2016; BERTRAND, 2008).

6.2 Observações de Tycho Brahe

Esta seção apresenta as contribuições observacionais de Tycho Brahe, reconhecido por estabelecer novos padrões de precisão na Astronomia por meio de métodos sistemáticos e instrumentos avançados para sua época.

Tycho Brahe realizou suas observações utilizando instrumentos projetados no observatório Uraniborg, localizado na ilha de Hven. Ferramentas como quadrantes, astrolábios e murais permitiram medições angulares de alta precisão dos corpos celestes. Seu método sistemático e sua busca por exatidão resultaram em dados de alta qualidade, considerados os mais precisos de sua época (BERTRAND, 2008).

Em 1572, Tycho Brahe registrou a supernova na constelação de Cassiopeia, agora conhecida como a Supernova de 1572, que questionou a visão aristotélica de um Universo imutável, que postulava que as estrelas eram fixas e não mudavam. Ele demonstrou, através de instrumentos altamente precisos, como seu sextante de 1,6 metros, que a nova estrela estava muito além da órbita da Lua, evidenciando que mudanças ocorriam na esfera celeste, contrariando as concepções tradicionais da época. Essa observação teve um impacto profundo nas concepções sobre a natureza do cosmos.

Tycho Brahe documentou o cometa de 1577, demonstrando que ele estava situado além da órbita lunar e seguia uma trajetória independente das supostas esferas cristalinas. Essa observação refutou a ideia de que os corpos celestes estariam fixos em estruturas rígidas, contribuindo significativamente para o questionamento da cosmologia aristotélica.

Tycho concluiu que o cometa de 1577 não era um fenômeno meteorológico, mas um objeto celeste distante. A ausência de paralaxe mensurável em suas observações confirmou sua localização além da órbita lunar, fornecendo evidências adicionais contra a concepção aristotélica de corpos celestes fixos em esferas rígidas (BERTRAND, 2008; PEDUZZI, 2015).

Tycho Brahe também contribuiu metodologicamente para a Ciência ao introduzir a prática de estabelecer limites quantitativos de precisão nas medições. Ele reconhecia que nenhuma medida era totalmente isenta de erros e enfatizava a importância de compreender essas limitações para avaliar teorias científicas. Em Uraniborg, duplicou instrumentos para garantir a precisão das observações por meio de comparações independentes (PEDUZZI, 2015).

Seu legado não está em seu modelo cosmológico, mas na precisão sem precedentes de suas medições. Tycho registrou meticulosamente os movimentos planetários, documentando as posições dos planetas com um rigor inédito. Esses dados foram essenciais para que Johannes Kepler formulasse as leis do movimento planetário, eliminando o conceito grego de órbitas circulares uniformes e consolidando a transição para uma Astronomia fundamentada em evidências empíricas (BERTRAND, 2008; PEDUZZI, 2015).

Dessa forma, o trabalho de Tycho Brahe foi decisivo para a transformação da Astronomia, fornecendo uma base observacional sólida que permitiu o desenvolvimento de teorias Matemáticas para descrever o movimento dos planetas (BERTRAND, 2008; PEDUZZI, 2015).

6.3 Obras

Esta seção apresenta as principais obras de Tycho Brahe, que registrar fenômenos astronômicos e sua contribuição para a Astronomia. Entre suas obras mais relevantes, destaca-se a *De nova stella* (Sobre a Nova Estrela), publicada em 1573. Nessa obra, Tycho relatou suas observações da supernova de 1572, refutando a ideia aristotélica de um Universo imutável e demonstrando que a nova estrela estava localizada além da atmosfera terrestre (BERTRAND, 2008; PEDUZZI, 2015).

Outra obra significativa é *De Mundi Aetherei Recentioribus Phaenomenis Liber Secundus*, publicada em 1588. Nesse trabalho, Tycho detalhou seu modelo geo-heliocêntrico, no qual os planetas orbitavam o Sol, enquanto o Sol e a Lua giravam em torno da Terra, que permanecia fixa no centro do Universo. Além disso, a obra incluiu suas observações do cometa de 1577, que demonstraram que ele atravessava as esferas celestes, refutando a ideia de 'esferas cristalinas' como estruturas físicas (OLIVEIRA, 2014).

A obra *Astronomiae Instauratae Mechanica* (Mecânica da Astronomia Restaurada), publicada em 1598, destaca-se pela meticulosa descrição dos instrumentos astronômicos

projetados e utilizados por Tycho Brahe. Este trabalho reflete sua busca pela precisão e inovação, detalhando o funcionamento de ferramentas como o quadrante, o sextante e a esfera armilar, fundamentais para as medições astronômicas da época (OLIVEIRA, 2014).

Entre os instrumentos descritos, a esfera armilar se sobressai por permitir a medição precisa das posições dos astros. O grande globo e o arco de duas partes, por sua vez, foram utilizados em medições angulares avançadas. A obra também apresenta o grande semicírculo azimutal e instrumentos de paralaxe, explicando sua construção, materiais e funções.

Além disso, a obra inclui um apêndice detalhado sobre Uraniborg, o famoso observatório construído por Tycho na ilha de Hven. Esse apêndice aborda aspectos técnicos e geográficos do local, evidenciando o compromisso de Tycho em integrar Ciência e infraestrutura de ponta no estudo astronômico (TOSSATO, 2022).

Os dados de Tycho Brahe foram fundamentais para os cálculos de Johannes Kepler, que os utilizou na compilação das *Rudolphine Tables* (Tabelas Rudolfinas), publicadas postumamente em 1627. Essa obra reuniu décadas de observações meticulosas de Tycho e tornou-se uma referência indispensável para previsões precisas das posições planetárias, influenciando a Astronomia por séculos (BERTRAND, 2008).

Além de suas contribuições científicas, Tycho Brahe escreveu sobre Alquimia e Filosofia Natural, refletindo a interseção entre Ciência e crenças místicas de sua época. Seus textos demonstram um interesse que ia além da Astronomia, abordando a composição dos corpos celestes e sua possível influência sobre a Terra (BERTRAND, 2008).

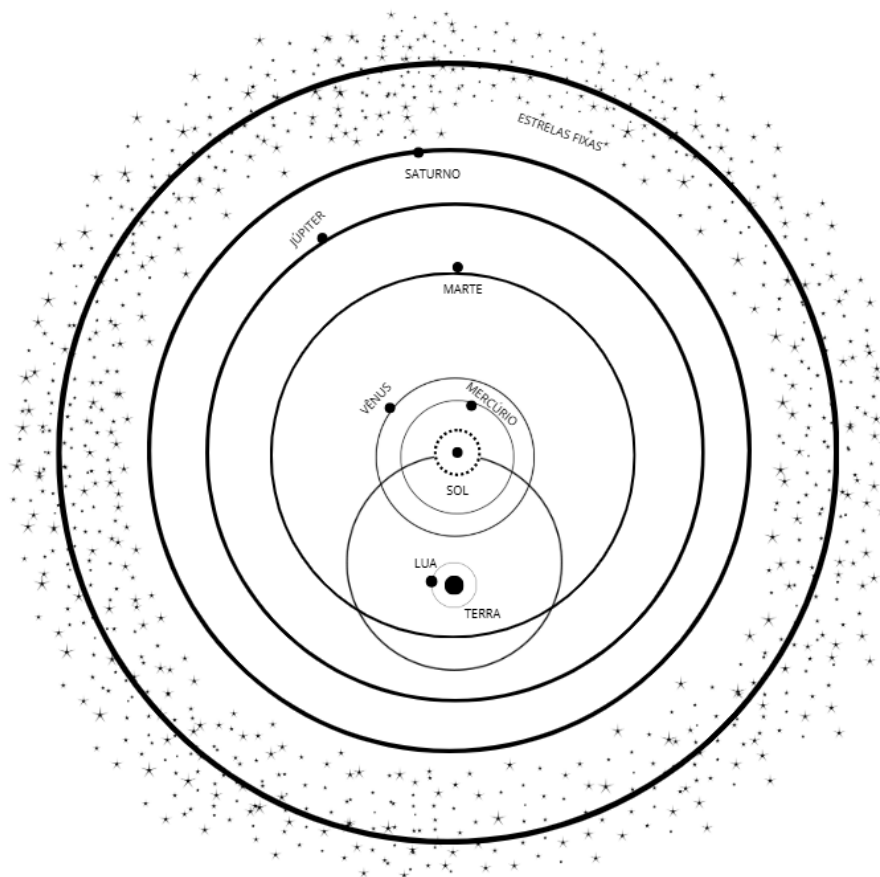
Tycho também inovou ao introduzir a prática de repetir medições e usar dados adicionais para estimar erros, aprimorando a precisão dos registros astronômicos. Suas observações detalhadas evidenciaram as limitações das tabelas ptolomaicas e forneceram uma base empírica sólida para que Kepler determinasse as órbitas planetárias corretas. Esse avanço não apenas encerrou o domínio do sistema ptolomaico, mas também estabeleceu as bases para as leis do movimento formuladas posteriormente por Isaac Newton (HAWLEY, 2005).

6.4 Modelo de Tycho Brahe

O modelo de Tycho Brahe, conhecido como sistema tychoniano, apresentou uma abordagem híbrida que conciliava elementos do geocentrismo e do heliocentrismo. Nesse sistema, a Terra permanecia imóvel no centro do Universo, enquanto o Sol e a Lua orbitavam

ao seu redor. Os demais planetas, como Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, giravam em torno do Sol. Essa formulação buscava atender tanto às exigências teológicas e filosóficas da época quanto às observações astronômicas disponíveis naquele contexto (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015). A Figura 8 apresenta uma representação do modelo de Tycho Brahe, sem considerar a escala.

Figura 8 - Modelo de Tycho Brahe – Não em escala.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

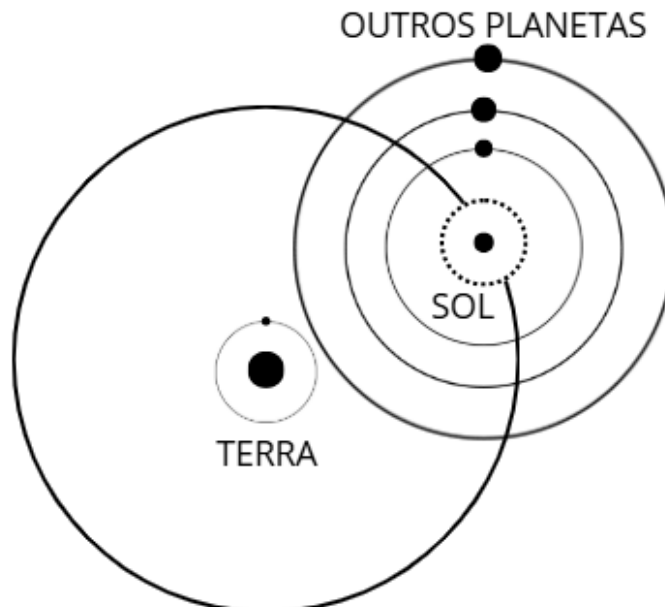
Além de preservar a centralidade da Terra, conforme a tradição aristotélica, o modelo tychoniano incorporava aspectos do heliocentrismo, como a ordem das órbitas planetárias em relação ao Sol. Por exemplo, Mercúrio e Vênus apresentavam órbitas menores, enquanto Marte, Júpiter e Saturno ocupavam órbitas maiores. A esfera das estrelas fixas girava ao redor da Terra uma vez por dia, gerando o movimento aparente dos corpos celestes no céu (KUHN, 2006).

Nesse modelo, Tycho defendia que a Terra era fixa e não se movia, mantendo sua posição central. Ele rejeitou o movimento da Terra por considerá-lo fisicamente absurdo e não suportado por evidências observacionais, como a falta de paralaxe estelar detectável. Ele acreditava que o movimento da Terra iria contra as leis naturais (THOREN, 2007). Tycho também argumentava que as esferas celestes sólidas, descritas por Aristóteles, não existiam. Com base em suas observações de cometas atravessando órbitas planetárias sem obstruções, concluiu que as esferas cristalinas eram incorretas (THOREN, 2007).

Os planetas Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno giram em torno do Sol, enquanto este, por sua vez, orbita a Terra. Essa configuração híbrida combina elementos do geocentrismo e do heliocentrismo, permitindo que Tycho explicasse os movimentos planetários de maneira mais precisa (THOREN, 2007).

Essa explicação eliminava a necessidade de epiciclos ptolomaicos para descrever o movimento retrógrado aparente dos planetas, já que esse fenômeno podia ser entendido pela combinação das órbitas dos planetas ao redor do Sol com o movimento do Sol ao redor da Terra (THOREN, 2007). A Figura 9 exibe uma representação esquemática simplificada do sistema de Tycho Brahe, sem considerar a escala.

Figura 9 - Sistema de Tycho Brahe – Representação Esquemática.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Tycho ajustou os movimentos celestes com o uso de avanços matemáticos, como a eliminação do equante de Ptolomeu e a incorporação de elementos do modelo heliocêntrico, oferecendo maior precisão na explicação das posições observadas dos planetas. Ele argumentava que, do ponto de vista de um observador no Sol, o sistema tychoniano era matematicamente equivalente ao modelo copernicano. No entanto, rejeitou a hipótese heliocêntrica de Copérnico por razões filosóficas e teológicas (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014).

Apesar de representar um avanço em relação ao sistema ptolomaico, o modelo de Tycho enfrentava desafios. Ele exigia ajustes complexos para explicar os movimentos dinâmicos das órbitas planetárias e não resolvia plenamente algumas anomalias observacionais. Ainda assim, sua proposta tinha valor significativo, especialmente por integrar observações precisas em um sistema coerente que conciliava Ciência e religião (KUHN, 2006).

Uma das principais contribuições de Tycho Brahe para a Astronomia foi a coleta de um extenso conjunto de dados precisos, que revelaram as limitações dos modelos anteriores. Johannes Kepler, seu assistente nos últimos anos, utilizou essas observações para formular as três Leis do Movimento Planetário, substituindo as órbitas circulares de Tycho por órbitas elípticas, o que solucionou discrepâncias entre previsões teóricas e observações (BERTRAND, 2008).

A colaboração entre Tycho e Kepler, iniciada em 1600, representou um marco na Astronomia. Tycho acumulou dados planetários detalhados ao longo de duas décadas e contratou Kepler para analisá-los (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015). A primeira grande tarefa de Kepler foi determinar a órbita de Marte, um desafio devido às inconsistências entre os modelos existentes e as medições precisas de Tycho. Inicialmente, ele tentou ajustar os dados a órbitas circulares, seguindo o referencial tychoniano, mas todas as tentativas falharam (PEDUZZI, 2015).

Persistindo na análise, Kepler recorreu ao sistema copernicano e testou o conceito do equante, rejeitado por Copérnico, para tentar ajustar os dados às órbitas circulares. Ele analisou o raio orbital, a posição do Sol e a orientação dos pontos de periélio e afélio, mas uma discrepância de 8 minutos de arco nas medições de Tycho permaneceu inexplicada (PEDUZZI, 2015).

Para Kepler, essa diferença era inaceitável. Convencido da precisão dos dados de Tycho e do princípio da simplicidade da natureza, ele descartou ajustes arbitrários e abandonou

a ideia de órbitas circulares. Essa decisão levou à formulação de sua primeira lei do movimento planetário: os planetas seguem órbitas elípticas, com o Sol ocupando um dos focos (PEDUZZI, 2015).

Embora Tycho tenha falecido em 1601, seus registros permaneceram como a base empírica dos avanços de Kepler. Suas medições, frequentemente precisas dentro de 1 minuto de arco, expuseram as falhas do modelo ptolomaico e consolidaram o heliocentrismo como a estrutura fundamental da Astronomia moderna (BERTRAND, 2008; OLIVEIRA, 2014; PEDUZZI, 2015).

6.5 O Impacto do Modelo de Brahe

Embora não tenha se tornado o paradigma predominante, o sistema tychoniano desempenhou um papel crucial na transição entre as concepções medievais e modernas da Astronomia, influenciando significativamente o desenvolvimento do pensamento científico (TOSSATO, 2022).

A principal contribuição de Tycho Brahe foi o estabelecimento de métodos baseados em observações rigorosas e precisas. Utilizando instrumentos avançados projetados por ele próprio, Tycho registrou, com notável exatidão, os movimentos da Lua, dos planetas e das estrelas, mesmo antes da invenção do telescópio. Sua metodologia definiu padrões que impactaram diretamente a pesquisa científica posterior (BERTRAND, 2008).

Os dados acumulados por Tycho ao longo de duas décadas foram fundamentais para que Johannes Kepler formulasse as Leis do Movimento Planetário. Após a morte de Tycho, Kepler utilizou essas medições detalhadas para demonstrar que as órbitas planetárias eram elípticas, consolidando um avanço essencial para a Astronomia moderna (BERTRAND, 2008; TOSSATO, 2022).

Além de suas contribuições científicas, Tycho também teve um papel relevante na promoção da Astronomia. Ele organizou eventos em seu observatório Uraniborg e incentivou a participação da aristocracia europeia em debates científicos. Essas iniciativas foram importantes para fortalecer e disseminar a pesquisa astronômica no continente europeu (BERTRAND, 2008).

O legado de Tycho Brahe reside na precisão inédita de suas observações, que forneceram as bases empíricas para os avanços de Kepler e consolidaram a Astronomia como

uma Ciência fundamentada em evidências. Suas contribuições foram decisivas para a transição de uma Astronomia baseada exclusivamente em observações qualitativas para uma abordagem teórica e quantitativa mais moderna.

7. COMPARAÇÃO E ANÁLISE

Nesta seção, busca-se comparar os modelos astronômicos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe, analisando suas principais características, inovações e limitações.

A comparação será estruturada em aspectos centrais, como a posição do centro do Universo, a explicação do movimento retrógrado dos planetas, e a relevância histórica de cada teoria. Além disso, será destacado como cada modelo refletiu os contextos científicos e Culturais de sua época, contribuindo para o avanço do conhecimento astronômico.

Inicialmente, será apresentada a evolução das concepções astronômicas, evidenciando como a transição entre os modelos resultou em uma mudança progressiva na compreensão do cosmos. Em seguida, serão discutidos os fundamentos de cada sistema, com ênfase em suas explicações teóricas e contribuições científicas.

7.1 Reapresentação da vida e dos modelos

Cláudio Ptolomeu (c. 100–170 d.C.)

Contexto Histórico: Ptolomeu viveu no período do Império Romano, em Alexandria, um dos principais centros intelectuais da Antiguidade. Essa época foi marcada pelo desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento, incluindo Astronomia, Matemática e Filosofia.

Vida e Trabalho: Pouco se sabe sobre sua vida pessoal, mas Ptolomeu destacou-se como astrônomo, matemático e geógrafo. Sua principal contribuição à Astronomia foi o tratado *Almagesto*, no qual consolidou o modelo geocêntrico, descrevendo a Terra como o centro fixo do Universo.

Recursos Científicos: Ptolomeu baseou-se em observações astronômicas limitadas e em teorias anteriores, como as de Aristóteles. Aplicando conceitos geométricos, criou um sistema que explicava os movimentos celestes por meio de epiciclos e deferentes, garantindo previsões relativamente precisas para sua época.

Modelo: Desenvolvido no século II d.C., o modelo geocêntrico posicionava a Terra no centro do Universo, com os planetas, o Sol e a Lua orbitando em esferas concêntricas. Influenciado pela Filosofia aristotélica, o modelo propunha um cosmos ordenado e hierárquico.

Através do *Almagesto*, Ptolomeu combinou Geometria e observações astronômicas, criando um sistema matemático capaz de prever fenômenos como eclipses e conjunções planetárias.

Nicolau Copérnico (1473–1543)

Contexto Histórico: Copérnico viveu no Renascimento, período de redescoberta do conhecimento clássico e de transição para abordagens mais racionais e científicas. Esse contexto marcou o início do método científico moderno, desafiando tradições filosóficas e religiosas.

Vida e Trabalho: Copérnico foi um clérigo e estudioso multifacetado, com formação em Matemática, Astronomia, Medicina e Direito. Sua principal contribuição foi a obra *De Revolutionibus* (1543), na qual apresentou o modelo heliocêntrico. Nessa teoria, deslocou o centro do Universo para o Sol, desafiando o sistema geocêntrico dominante. Para evitar conflitos diretos com a Igreja, publicou sua obra apenas no final da vida.

Recursos Científicos: Suas ideias basearam-se em cálculos matemáticos e teorias, com observações empíricas limitadas. Influenciado por Aristarco de Samos, Copérnico utilizou uma abordagem Matemática para formular um sistema mais simples e coerente, descrevendo os movimentos planetários sem a complexidade dos epiciclos ptolomaicos.

Modelo: No século XVI, Copérnico propôs um modelo em que o Sol ocupava o centro do Sistema Solar, enquanto os planetas, incluindo a Terra, orbitavam ao seu redor em trajetórias circulares. Além disso, introduziu os movimentos de rotação e translação da Terra, explicando fenômenos como o dia e a noite. Em *De Revolutionibus*, mostrou que o movimento retrógrado dos planetas era uma ilusão de perspectiva, causada pela diferença de velocidades orbitais entre a Terra e os planetas superiores.

Tycho Brahe (1546–1601)

Contexto Histórico: Tycho Brahe viveu na transição entre o Renascimento e a Idade Moderna, período caracterizado por avanços científicos e pela consolidação do método de investigação empírica. Esse contexto incentivou o desenvolvimento de instrumentos e técnicas para medições mais precisas no campo da Astronomia.

Vida e Trabalho: De origem nobre dinamarquesa, Brahe obteve financiamento real para construir observatórios, sendo o Uraniborg um dos mais avançados da época. Sem o uso de telescópios, realizou observações extremamente detalhadas, estabelecendo novos padrões de precisão. Para conciliar as controvérsias entre os modelos geocêntrico e heliocêntrico, propôs o modelo geo-heliocêntrico.

Recursos Científicos: Brahe utilizou instrumentos astronômicos inovadores, como quadrantes e sextantes de grande escala, alcançando uma precisão sem precedentes nas medições celestes. Seus registros detalhados forneceram os dados fundamentais para que Johannes Kepler formulasse as Leis do Movimento Planetário.

Modelo: No final do século XVI, Brahe apresentou um modelo que combinava elementos do geocentrismo e heliocentrismo. Nele, os planetas orbitavam o Sol, enquanto o Sol orbitava a Terra, que permanecia fixa no centro do Universo. Esse modelo buscava preservar a centralidade da Terra, alinhando-se às crenças teológicas da época, ao mesmo tempo que incorporava as novas descobertas baseadas em suas observações. A seguir, o Quadro 1 apresenta uma síntese simplificada da comparação entre as vidas de Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe.

Quadro 1 – Comparação das Vidas

Aspecto	Ptolomeu	Copérnico	Tycho Brahe
Período	Antiguidade (século II d.C.)	Renascimento (século XVI)	Transição Renascimento-Idade Moderna (século XVI-XVII)
Contexto Cultural	Influência da Filosofia clássica	Redescoberta do conhecimento antigo	Início do método científico
Apoio Institucional	Academia e Filosofia	Igreja e universidades	Financiamento real
Método de Trabalho	Observações limitadas e teoria	Matemática e teoria	Observações empíricas rigorosas
Principais Obras	<i>Almagesto</i>	<i>De Revolutionibus Orbium Coelestium</i>	Dados que levaram às Leis de Kepler

Fonte: Elaborada pelo autor.

7.2 Centro do Universo

Nesta seção, analisamos a posição central atribuída ao Universo em cada modelo astronômico, destacando como essa concepção refletiu mudanças no entendimento do cosmos e nas perspectivas científica e Cultural da época.

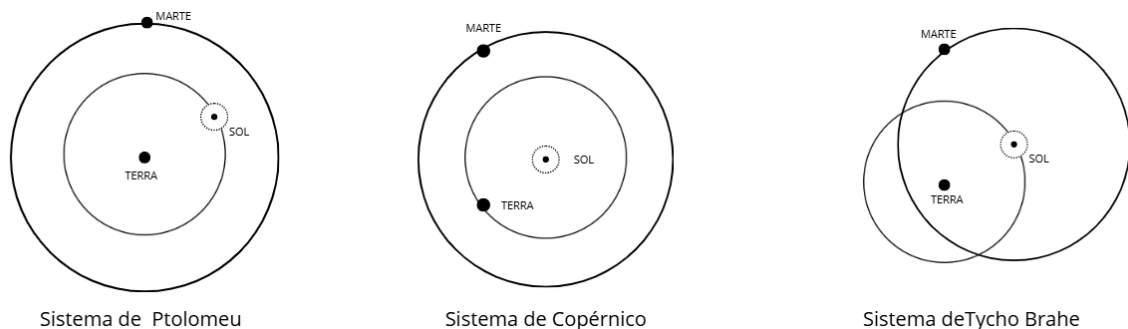
No modelo geocêntrico de Ptolomeu, a Terra era considerada o centro fixo do Universo. Essa concepção não apenas apresentava uma explicação científica, mas também refletia uma visão filosófica e teológica, alinhada ao antropocentrismo, atribuindo à humanidade um papel central e privilegiado no cosmos. Baseado na Filosofia aristotélica, esse modelo descrevia um Universo hierárquico e ordenado, no qual os céus, compostos por esferas celestes perfeitas, eram imutáveis, enquanto o mundo sublunar era marcado por imperfeições.

No modelo heliocêntrico, Copérnico deslocou o centro do Universo para o Sol, desafiando o paradigma tradicional que colocava a Terra em posição central. Essa mudança representou uma ruptura profunda com o pensamento medieval, ao sugerir que a Terra era apenas um dos planetas orbitando o Sol. A proposta heliocêntrica reduziu a importância cósmica atribuída à Terra, apresentando os movimentos celestes como regidos por leis naturais, e não centrados exclusivamente na humanidade. Apesar disso, Copérnico ainda considerava as órbitas planetárias como perfeitamente circulares, com o movimento dos planetas descrito por leis Matemáticas.

O modelo de Tycho Brahe apresentou uma abordagem híbrida que conciliava elementos do geocentrismo e do heliocentrismo. Nesse sistema, a Terra permanecia fixa no centro do Universo, enquanto o Sol orbitava ao seu redor, carregando consigo os planetas. Essa formulação preservava a centralidade da Terra, em conformidade com as crenças teológicas predominantes, ao mesmo tempo que incorporava os avanços observacionais alcançados por Brahe.

Na Figura 10, é apresentada uma representação esquemática simplificada da comparação dos modelos, sem considerar a escala. Ela destaca as diferenças fundamentais na concepção do centro do Universo e nas órbitas planetárias propostas por cada modelo.

Figura 10 - Comparação dos modelos – não em escala.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

7.3 Forma das Órbitas

Nesta seção, destacam-se as mudanças na compreensão das órbitas planetárias, que foram refinadas à medida que os modelos astronômicos evoluíram. A análise foca nas diferenças entre as formas propostas em cada sistema e como essas concepções influenciaram o entendimento dos movimentos celestes.

No modelo geocêntrico de Ptolomeu, os planetas descreviam órbitas circulares perfeitas em torno da Terra. Essa concepção baseava-se na ideia de que o círculo era a figura geométrica ideal, associada à perfeição divina. Para ajustar o modelo às observações astronômicas, Ptolomeu introduziu os conceitos de epiciclos, pequenos círculos percorridos pelos planetas, e deferentes, círculos maiores ao longo dos quais os epiciclos se deslocavam. Essa configuração permitia explicar fenômenos como o movimento retrógrado dos planetas, mas tornava o modelo extremamente complexo e artificial. Ainda assim, ele era funcional para previsões astronômicas, como eclipses e conjunções.

No modelo heliocêntrico de Copérnico, manteve-se o conceito de órbitas circulares perfeitas, mas o centro dessas órbitas foi deslocado para o Sol. Os planetas, incluindo a Terra, orbitavam o Sol em círculos regulares. Embora ainda limitado pela visão tradicional de perfeição geométrica, o modelo heliocêntrico eliminou parte da necessidade de epiciclos e deferentes, trazendo maior simplicidade e clareza ao entendimento dos movimentos celestes.

No modelo de Tycho Brahe, os planetas orbitavam o Sol, enquanto o Sol, por sua vez, girava ao redor da Terra fixa. Brahe abandonou o uso de epiciclos em suas explicações e baseou seu modelo em medições extremamente precisas, oferecendo uma descrição mais realista dos movimentos planetários. No entanto, as órbitas em seu modelo ainda eram consideradas circulares, em conformidade com a tradição científica da época.

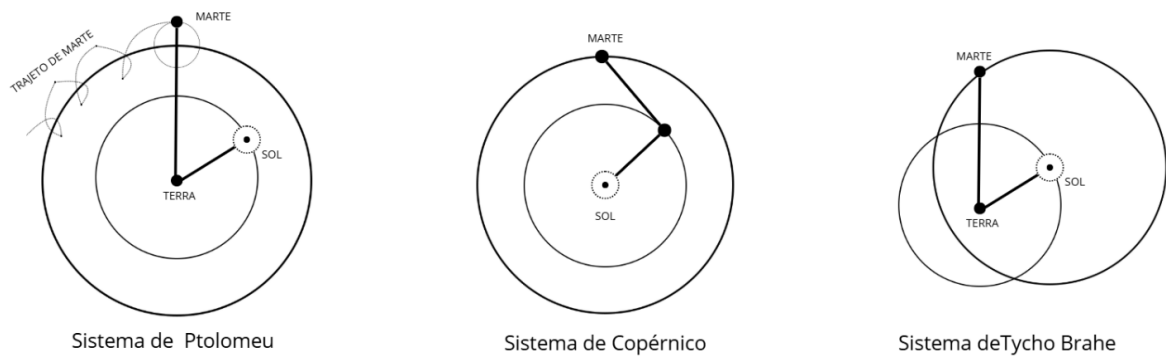
7.4 Movimento Retrógrado nos Modelos

O movimento retrógrado dos planetas, no qual eles aparentam retroceder em suas trajetórias no céu em relação às estrelas de fundo, foi um dos grandes desafios enfrentados pelos astrônomos da antiguidade e do renascimento. Esse fenômeno contradizia a ideia de

movimentos celestes regulares e contínuos e exigiu explicações elaboradas em cada modelo astronômico.

A seguir, analisaremos como esse movimento foi interpretado nos modelos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico, com exemplos que ilustram suas abordagens. Na Figura 11 apresenta uma comparação dos modelos em uma representação esquemática simplificada do movimento retrógrado nos sistemas de Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe, sem considerar a escala. A linha representa a visão do movimento do Sol e de Marte conforme interpretado em cada modelo.

Figura 11 - Comparação do Movimento Retrógrado nos Modelos – não em escala.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Para facilitar a compreensão do movimento retrógrado aparente dos planetas, pode-se utilizar o simulador disponível em *Simufísica*¹. Este aplicativo permite observar o movimento retrógrado em dois modelos distintos: o geocêntrico de Ptolomeu e o heliocêntrico de Copérnico. A ferramenta apresenta uma versão simplificada de ambos os modelos, destacando como a perspectiva da Terra influencia a percepção desse fenômeno celeste.

No modelo geocêntrico, Ptolomeu abordou o movimento retrógrado utilizando epiciclos e deferentes. Nesse sistema, cada planeta seguia um pequeno círculo (epiciclo), cujo centro, por sua vez, percorria um círculo maior (deferente) em torno da Terra. Essa interação complexa permitia simular as trajetórias características em forma de "laços" no céu.

Exemplo: Imagine Marte em seu epiciclo. Quando o planeta está no ponto do epiciclo mais próximo da Terra (oposição), sua velocidade aparente aumenta, criando a ilusão

¹ Simulador do movimento retrógrado em modelos geocêntrico e heliocêntrico: Disponível em <https://simufisica.com/simulacoes/modelo-heliocentrico-geocentrico/>. Acesso em: 12/01/2025

de que ele se move para trás em relação às estrelas de fundo. Após essa fase, Marte retorna ao movimento direto, completando a figura de um "laço". Essa explicação foi eficaz para ajustar o modelo geocêntrico às observações, mantendo o pressuposto de órbitas circulares perfeitas e alinhando-se às concepções filosóficas da época.

No modelo heliocêntrico de Copérnico, o movimento retrógrado é explicado como um efeito de perspectiva, resultante da diferença nas velocidades orbitais dos planetas ao redor do Sol. Copérnico mostrou que esse fenômeno não era um movimento real, mas sim uma ilusão gerada pela posição relativa entre a Terra e o planeta observado.

Exemplo: Imagine que a Terra, com sua órbita menor e mais rápida, ultrapassa Marte em sua órbita maior e mais lenta. Durante essa ultrapassagem, Marte aparenta retroceder no céu em relação às estrelas de fundo, formando os mesmos "laços" observados no modelo geocêntrico. Após a ultrapassagem, Marte volta ao movimento direto. Essa explicação eliminou a necessidade de epíclis, simplificando significativamente a compreensão dos movimentos planetários e marcando um avanço na Astronomia.

O modelo geo-heliocêntrico de Tycho Brahe também explicava o movimento retrógrado como um efeito de perspectiva, semelhante ao modelo heliocêntrico. Contudo, preservava a Terra como fixa no centro do Universo, com o Sol orbitando ao seu redor, enquanto os planetas orbitavam o Sol.

Exemplo: Assim como no modelo heliocêntrico, o movimento retrógrado de Marte ocorre quando a Terra, como ponto de observação, percebe a interação entre o movimento do Sol e o de Marte. Durante o alinhamento, Marte aparenta retroceder, formando os "laços" no céu. Embora utilizasse a simplicidade visual do heliocentrismo para descrever o movimento retrógrado, o modelo geo-heliocêntrico atendia às exigências teológicas da época, mantendo a centralidade da Terra no cosmos.

7.5 Impacto Cultural e Aceitação Histórica dos Modelos

A aceitação dos modelos astronômicos foi gradativa e marcada por resistências provenientes das crenças filosóficas, religiosas e Culturais de cada período. As transições entre os paradigmas refletem mudanças significativas na compreensão da posição da humanidade no Universo.

O modelo geocêntrico permaneceu dominante por mais de mil anos devido à sua conformidade com a Filosofia aristotélica e as doutrinas da Igreja Católica, que sustentavam o antropocentrismo teológico. Além de proporcionar previsões astronômicas práticas, como eclipses e conjunções planetárias, o modelo integrava-se à Teologia escolástica e era amplamente aceito como uma representação ordenada e divinamente regida do cosmos. Intelectuais islâmicos e cristãos preservaram e refinaram esse sistema, garantindo sua relevância ao longo dos séculos, mesmo diante de sua crescente complexidade Matemática.

O modelo heliocêntrico encontrou resistência inicial por desafiar tanto a visão teológica predominante quanto a percepção sensorial de uma Terra estática. A falta de evidências observacionais diretas, como a paralaxe estelar, dificultou sua aceitação em um contexto de limitações empíricas. Contudo, ao propor uma estrutura mais simples e matematicamente racional, o heliocentrismo representou um avanço na Astronomia, ao se afastar de explicações exclusivamente religiosas. Johannes Kepler, com a introdução das órbitas elípticas, e Isaac Newton, com a teoria da gravitação universal, refinaram e consolidaram o modelo, estabelecendo-o como base da Astronomia moderna.

O modelo geo-heliocêntrico de Tycho Brahe desempenhou um papel crucial como intermediário entre as tradições geocêntricas e heliocêntricas. Brahe combinou medições altamente precisas, obtidas sem o auxílio de telescópios, com uma abordagem que conciliava exigências Culturais e avanços empíricos. Embora rejeitasse o heliocentrismo, suas observações rigorosas forneceram os dados essenciais para Johannes Kepler formular as Leis do Movimento Planetário. Sua contribuição destaca o impacto da metodologia empírica no progresso da Ciência e ilustra como o modelo de Brahe foi determinante para a transição à Astronomia moderna.

A seguir, no Quadro 2, é apresentada uma síntese simplificada da comparação entre os modelos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe. A comparação está estruturada em aspectos centrais, como a posição do centro do Universo, a explicação do movimento retrógrado dos planetas e a relevância histórica de cada teoria.

Quadro 2 – Comparação dos Modelos

Aspecto	Modelo Geocêntrico (Ptolomeu)	Modelo Heliocêntrico (Copérnico)	Modelo Geo-heliocêntrico (Tycho Brahe)
Centro do Universo	Terra (fixa no centro do Universo)	Sol (fixo no centro do Sistema Solar)	Terra (fixa no centro, com o Sol orbitando-a)
Forma das Órbitas	Círculos perfeitos (com epiciclos e deferentes para corrigir irregularidades)	Círculos perfeitos (ajustados para elipses por Kepler)	Círculos (planetas orbitam o Sol, mas o Sol orbita a Terra)
Explicação para o Movimento Retrógrado	Epípiclos: os planetas aparentam retroceder devido ao movimento em órbitas menores dentro de um círculo maior (deferente).	Ilusão de perspectiva: o movimento retrógrado ocorre quando a Terra ultrapassa um planeta mais distante em sua órbita.	Ilusão de perspectiva: o movimento retrógrado ocorre da mesma forma, mas com a diferença de que o Sol também orbita a Terra.
Impacto Cultural e Aceitação Histórica	Aceito por mais de mil anos, em harmonia com a Filosofia aristotélica e as doutrinas da Igreja Católica.	Inicialmente rejeitado; foi parcialmente aceito após os ajustes de Kepler e a formulação das leis de Newton.	Aceitação moderada, mas crucial para os avanços de Kepler, especialmente para a formulação das Leis do Movimento Planetário.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

7.6 Conexão entre os Modelos

A evolução dos modelos astronômicos não ocorreu de forma linear, mas seguiu um padrão de revisões sucessivas, no qual conceitos anteriores foram reformulados à medida que novas evidências e avanços surgiram. Esse processo foi influenciado por fatores filosóficos, culturais e tecnológicos.

A transição entre os modelos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico não se deu apenas pelo aprimoramento das explicações matemáticas, mas também pela ruptura de paradigmas que sustentavam essas concepções. Esse processo reflete o avanço da observação astronômica e das teorias científicas, evidenciando a progressão do conhecimento ao longo do tempo. O modelo geocêntrico de Ptolomeu, consolidado na Antiguidade, permaneceu como referência por mais de mil anos devido à sua compatibilidade com a Filosofia aristotélica e ao respaldo da Igreja. No entanto, para explicar fenômenos como o movimento retrógrado dos

planetas, esse sistema tornou-se cada vez mais complexo, exigindo ajustes constantes. Essas dificuldades estimularam a busca por novas concepções que melhor representassem a realidade observada.

No século XVI, Nicolau Copérnico propôs o modelo heliocêntrico, no qual o Sol, e não a Terra, ocupava a posição central do Universo. Essa reformulação baseou-se em princípios matemáticos que simplificavam os cálculos astronômicos, eliminando a necessidade de epiciclos. No entanto, a ausência de evidências experimentais que comprovassem a movimentação da Terra dificultou sua aceitação imediata, fazendo com que sua teoria fosse, a princípio, mais um modelo alternativo do que uma substituição direta ao geocentrismo.

Nesse contexto, Tycho Brahe propôs um modelo intermediário, o geo-heliocêntrico, no qual os planetas orbitavam o Sol, enquanto este, por sua vez, girava ao redor da Terra fixa. Embora essa concepção ainda preservasse elementos do geocentrismo, sua principal contribuição residiu nas observações rigorosas que realizou ao longo de sua vida, permitindo uma transição gradual entre diferentes concepções astronômicas e ilustrando o caráter cíclico do avanço do conhecimento científico. Seus dados foram essenciais para que Johannes Kepler formulasse as Leis do Movimento Planetário, que substituíram as órbitas circulares por elípticas e fundamentaram a Astronomia em bases empíricas.

Portanto, a transição entre os modelos astronômicos resultou de um processo em que cada novo modelo surgia não como uma negação absoluta do anterior, mas como uma reformulação baseada em novos dados e interpretações. Esse processo mostra como o desenvolvimento do conhecimento ocorre com a revisão e reformulação de ideias anteriores à medida que novas evidências surgem.

A conexão entre as ideias de Ptolomeu, Copérnico e Brahe evidencia como a Ciência não apenas avança por meio do confronto entre teoria e observação, mas também revisita concepções anteriores, reformulando-as à luz de novos dados. Esse padrão reforça a ideia de que o conhecimento científico não se constrói por substituições abruptas, mas sim por um processo contínuo de reelaboração e refinamento.

Dessa maneira, a conexão entre os modelos astronômicos demonstra a dinâmica do progresso científico, no qual a observação e a reformulação constante das hipóteses permitem uma compreensão mais precisa da realidade.

7.7 Conclusão

A comparação entre os modelos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe evidencia a evolução do conhecimento científico, onde novas teorias surgem retomando e reformulando conceitos anteriores com base em novas observações e avanços tecnológicos. O modelo geocêntrico de Ptolomeu dominou por séculos devido à sua coerência Matemática e compatibilidade com a visão aristotélica do cosmos. No entanto, à medida que novas observações foram sendo feitas, como as de Copérnico e Brahe, ficou evidente a necessidade de revisar essa concepção.

A proposta heliocêntrica de Copérnico marcou uma mudança de paradigma, mas ainda apresentava limitações, como a insistência nas órbitas circulares. Brahe, por sua vez, tentou preservar elementos do geocentrismo, mas suas medições extremamente precisas forneceram os dados necessários para que Kepler desenvolvesse as leis das órbitas elípticas, consolidando definitivamente a revolução astronômica.

A comparação entre os modelos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho Brahe demonstra que a ciência não avança de forma abrupta nem totalmente linear, mas segue um movimento espiral, no qual novas teorias retomam e ressignificam conceitos anteriores à luz de novas evidências e avanços científicos. A aceitação do heliocentrismo não ocorreu de imediato, pois envolvia desafios não apenas científicos, mas também filosóficos e religiosos. No entanto, a comparação entre esses modelos demonstra como a observação rigorosa e a revisão crítica das teorias existentes foram fundamentais para a consolidação da Astronomia moderna.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou as contribuições teóricas e empíricas dos modelos astronômicos geocêntrico, heliocêntrico e geo-heliocêntrico, destacando sua relevância para a evolução do pensamento científico. A predominância do modelo geocêntrico de Ptolomeu refletiu sua compatibilidade com a visão filosófica e religiosa dominante da época. No entanto, o heliocentrismo de Copérnico, ao oferecer um modelo mais simples e eficiente, impulsionou uma mudança de paradigma, ainda que mantivesse limitações. O modelo geo-heliocêntrico de Tycho Brahe, ao unir precisão observacional e uma abordagem intermediária, forneceu os dados necessários para os avanços de Kepler e a consolidação do heliocentrismo.

A análise comparativa desses modelos evidencia que a Ciência avança num processo onde o conhecimento pode progredir, mas também enfrentar períodos de estagnação ou até retrocessos aparentes antes de novos avanços. A trajetória de Tycho Brahe ilustra bem esse processo: embora seu modelo não tenha sido adotado como definitivo, ele propôs um sistema em que a Terra permanecia no centro do Universo, enquanto o Sol orbitava a Terra e, ao mesmo tempo, os planetas giravam ao redor do Sol. Suas observações extremamente precisas dos movimentos planetários foram fundamentais para que Kepler formulasse as leis das órbitas elípticas, corrigindo as limitações do heliocentrismo copernicano. Assim, mesmo ideias que parecem um retrocesso podem, na verdade, preparar o caminho para descobertas futuras.

A aceitação de um novo paradigma não depende apenas de sua validade teórica, mas também de fatores sociais e Culturais. A transição do geocentrismo para o heliocentrismo demonstra essa dinâmica, mostrando que a evolução do conhecimento científico resulta da interação entre observação empírica, formulação teórica e contexto histórico.

No entanto, os resultados deste estudo são parciais, uma vez que se limitam à análise histórica e comparativa dos modelos astronômicos. A ausência de uma discussão aprofundada sobre aspectos matemáticos e instrumentais dos modelos, bem como sobre sua recepção em diferentes contextos Culturais, reflete uma limitação que pode ser explorada em trabalhos futuros. Além disso, a transição para a Astronomia moderna não foi apenas técnica, mas também influenciada por fatores filosóficos e Culturais, demonstrando a complexidade do progresso científico. Assim, recomenda-se a realização de estudos que investiguem esses aspectos, como

suas bases Matemáticas ou sua influência em áreas adjacentes do conhecimento, ampliando a compreensão do impacto desses modelos no desenvolvimento científico.

Mais do que uma mudança na Astronomia, a transição do geocentrismo para o heliocentrismo representou uma transformação na maneira como o ser humano entende seu lugar no Universo, pavimentando o caminho para as descobertas da Física Moderna e da cosmologia contemporânea. Hoje, a metodologia baseada em observações rigorosas e testes empíricos continua sendo o alicerce do método científico.

Por fim, este estudo reafirma a necessidade do questionamento sistemático e da observação criteriosa na Ciência. A trajetória dos modelos astronômicos analisados ilustra como a Ciência se baseia em evidências e como o progresso do conhecimento depende de uma revisão constante e da interação entre teoria, observação e sociedade. Embora os resultados apresentados sejam parciais, eles contribuem para a compreensão do progresso astronômico e reforçam a relevância da investigação histórica para a análise do desenvolvimento científico.

REFERÊNCIAS

- BARROS-PEREIRA, H. A. Esferas de Aristóteles, círculos de Ptolomeu e instrumentalismo de Duhem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 2602, 2011.
- BASSALO, José Maria Filardo. A crônica da gravitação. Parte I: das primeiras civilizações à Grécia antiga. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, p. 70–81, 1990. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10063>. Acesso em: 8 out. 2024.
- BASSALO, José Maria Filardo. A crônica da gravitação. Parte II: da Grécia antiga à Idade Média. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 7, n. 3, p. 212–224, 1990. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7690>. Acesso em: 8 out. 2024.
- BERNARDI, Gabriella. Sophie Brahe (1556–1643). **The Unforgotten Sisters**. Cham: Springer, 2016. p. 55–60. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-26127-0_9. Acesso em: 8 fev. 2025.
- BERTRAND, Joseph; SCHÖPKE, Regina; BALADI, Mauro. **Os fundadores da Astronomia moderna: Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileu, Newton**. Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 2008.
- BUENO, André. Tempo e História na China Antiga. **Nearco: revista eletrônica de antiguidade**, Rio de Janeiro: UERJ/NEA, Vol. 1, Ano VI, n.1, p. 24-42, 2013-. ISSN 1982-8713.
- DE SOUZA, Marco Polo Moreno. **Movimento retrógrado dos planetas - SimuFísica**. [Online]. Disponível em: <https://simufisica.com/simulacoes/modelo-heliocentrico-geocentrico/>. Acesso em: 12/01/2025.
- DREYER, John Louis Emil. **Illustration from Tycho Brahe: a picture of scientific life and work in the sixteenth century**. 1890. Figura. Public domain, via Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tycho_Brahe_0008a.png. Acesso em: 14 nov. 2024.
- HAWLEY, John F.; HOLCOMB, Katherine A. **Foundations of Modern Cosmology**. 2. ed. Londres: Oxford University Press, 2005.
- FALCK, J. **Nicolaus Copernicus**. Reproduction of line engraving after J. Falck. [16--]. Figura. Public domain, undefined. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nicolaus_Copernicus._Reproduction_of_line_engraving.jpg. Acesso em: 14 nov. 2024.
- KUHN, Thomas S. **A Revolução Copernicana**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2006.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Florianópolis: Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015 (revisado em jul. 2019).

PEREZ, Everton *et al.* A evolução dos instrumentos de observação astronômica e o contexto histórico científico. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luís - MA. **Anais do XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. SBF, 2007.

PIRES, Antônio S. T. **Evolução das ideias da física**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

PORTO, C. M. A Revolução Copernicana: aspectos históricos e epistemológicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0190>. Acesso em: 8 out. 2024.

LOPARIC, Zeljko. Andreas Osiander: Prefácio ao De revolutionibus de Copérnico. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, Série 3, v. 18, n. 1, p. 227-251, jan.-jun. 2008.

MACHADO, Cristina. Uma breve história das traduções árabes do Tetrabiblos de Ptolomeu. **EXILIUM: Revista de Estudos da Contemporaneidade**, v. 2, n. 3, p. 121–148, 2021. DOI: 10.34024/exilium.v2i1.12885. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/exilium/article/view/12885>. Acesso em: 8 out. 2024.

MARTINS, R. de A. A influência de Aristóteles na obra astrológica de Ptolomeu (o Tetrabiblos). **Trans/Form/Ação**, v. 18, n. 0, p. 51–78, 1995. DOI: 10.1590/s0101-31731995000100006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31731995000100006>.

MISCELLANEOUS ITEMS IN HIGH DEMAND, PPOC, Library of Congress. **Claudius Ptolemy**, half-length portrait, facing right Abstract/medium: 1 print: engraving. 1886. Figura. Public domain, undefined. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Claudius_Ptolemy,_half-length_portrait,_facing_right_LCCN93515230.jpg. Acesso em: 14 nov. 2024.

SAGAN, Carl. **Cosmos**. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 1980.

SCHAPPO, Marcelo Girardi. **Astronomia: os astros, a Ciência, a vida cotidiana**. 1. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2022.

SOBEL, Dava. **Um céu mais perfeito: como Copérnico revolucionou o Cosmos**. São Paulo: Editora Schwarcz, 2015.

SOUZA, C. J. de M.; MONTEIRO, M. A. A.; MACIEL, I. J. A teoria lunar de Ptolomeu e a determinação da posição da Lua e sua distância à Terra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2022. DOI: 10.1590/1806-9126-rbef-2022-0092. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2022-0092>.

OLIVEIRA, Kepler; SARAIVA, Maria de Fátima. **Astronomia e Astrofísica**. 3. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

POZZER, Katia Maria Paim. Medir o tempo, um saber mesopotâmico. **Nearco: revista eletrônica de antiguidade**, Rio de Janeiro: UERJ/NEA, Vol. 1, Ano VI, n.1, p. 12-23, 2013-. ISSN 1982-8713

THOREN, Victor E. **The lord of Uraniborg**: A biography of Tycho Brahe. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2007.

TOSSATO, Claudemir Roque. Tycho Brahe e a precisão das observações astronômicas. **Intelligere: Revista de História Intelectual**, n. 13, p. 92–112, 2022. Disponível em: <http://revistas.usp.br/revistaintelligere>.

VELÁSQUEZ-TORIBIO, Alan Miguel; OLIVEIRA, Marcos. Discutindo o modelo de Ptolomeu e sua equivalência com o modelo de Copérnico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0293>. Acesso em: 8 out. 2024.