MAST Colloquia

Vol.15

Leitura de objetos de C&T: a coleção do Observatório Nacional no MAST

MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL

Museu de Astronomia e Ciências Afins - MAST

MAST COLLOQUIA VOL. 15

Leitura de objetos de C&T: a coleção do Observatório Nacional no MAST

Dezembro de 2019

© MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS - 2019

COORDENAÇÃO DO MAST COLLOQUIA 2017
Cláudia Penha dos Santos e Tânia Pereira Dominici

ORGANIZAÇÃO DA EDIÇÃO
Cláudia Penha dos Santos e Tânia Pereira Dominici

CAPA E DIAGRAMAÇÃO
Ivo Almico e Tânia P. Dominici

Publicado por (Editora): Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST)
Rua General Bruce, 586, São Cristóvão
Rio de Janeiro, BRASIL
20921-030
Data: 2019
ISBN: 978-85-60069-88-0

As opiniões e conceitos emitidos nesta publicação são de inteira responsabilidade de seus autores não refletindo necessariamente o pensamento do Museu de Astronomia e Ciências Afins.

É permitida a reprodução, desde que citada a fonte e para fins não comerciais.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Henrique Morize

Bibliotecária Reg. CRB7-6934

L533 Leitura de objetos de C&T: a coleção do Observatório Nacional no MAST [recurso eletrônico]/ [organizado por] Cláudia Penha dos Santos, Tânia Pereira Dominici. – Rio de Janeiro : Museu de Astronomia e Ciências Afins, 2019. – (MAST Colloquia, v. 15).

Inclui bibliografia.
ISBN 9788560069880
Disponível em:
http://www.mast.br/images/publicacoes_mast/mast_colloquia_15.pdf

1. Astronomia – Instrumentos. 2. Observatório Nacional (Brasil). I. Santos, Cláudia Penha dos. II. Dominici, Tânia Pereira. III. Museu de Astronomia e Ciências Afins.

CDU: 520

Sumário

Apresentação – Claudia P. dos Santos e Tânia P. Dominici 5

Nem exótico, nem periférico: outras possibilidades de narrativa para objetos incômodos – Lorena Vicini 12

A leitura de objetos como ferramenta para a conceituação da história no ensino médio – Denilson B. Esposito 27

Diferentes olhares sobre um instrumento de astronomia do século XIX – Tânia P. Dominici 33

Terremotos e seus dispositivos de detecção – Jorge L. de Souza 64

Espectroscopia - Luz e Cosmos de Estrelas e de Átomos – Nadja Paraense 88

Compreendendo as estrelas com o espectroscópio – Daniel R.C. Mello 99

Medindo o campo magnético da Terra – Katia J. Pinheiro e Cristiano M. Martins 122

A evolução da navegação no tempo – Hideo de O. Miyoshi 139

Do Geral ao Individual: Um cronômetro de Marinha e sua rede de conceitos – Maria Lúcia de N.M. Loureiro 155

Reflexões sobre a evolução de instrumentos para medição de temperatura – Almir Venancio 170

Termógrafo Registrador Elétrico – Rita G. Silva 181

Apresentação

... as aparências dos objetos nunca são neutras, mas antes estão carregadas de significados. Toda vez que olhamos para um artefato, associamos a ele uma série de valores e juízos ligados à nossa história, individual e coletiva. Nas raras ocasiões em que deparamos com uma experiência inovadora - algo imprevisto, sem maiores referências na memória - o mais comum é rejeitá-la. O novo é quase sempre aterrorizante, precisamente porque ele carece das camadas de familiaridade com que a memória acolchoa nossa relação com o mundo externo. Sendo as aparências dos objetos carregadas de significados, isso quer dizer que todo artefato material é também comunicação, informação, signo. Nenhuma cadeira pode ser apenas uma cadeira. Ela é uma cadeira específica, dentro de uma gama de possibilidades, e carrega informações sobre estilo, procedência, valor, uso, e assim por diante. Ou seja, todo artefato material possui também uma dimensão imaterial, de informação.

CARDOSO, 2016, p.111[1]

É com satisfação que disponibilizamos o volume 15 da tradicional publicação MAST Colloquia. Este volume refere-se aos textos gerados a partir da edição de 2017 do ciclo de palestras e teve como tema "Leitura de Objetos de C&T: a Coleção do Observatório Nacional". Esse ciclo, organizado no âmbito do Núcleo de Documentação e Conservação do Acervo Museológico da Coordenação de Museologia (NUDCAM/COMUS), apresentou como proposta um tema decorrente das reflexões surgidas a partir da atividade de registro e catalogação da coleção de objetos de ciência e tecnologia (C&T) do MAST.

Nesse sentido, não foi um ciclo tradicional: as palestras eram vinculadas à chamada Sala de Leitura de Objetos do MAST, montada junto à reserva técnica visitável, no primeiro andar do prédio sede do museu. A sala, concebida como uma espécie de laboratório, destinava-se a realização de atividades experimentais sobre a coleção do museu. Ao longo do ano de 2017, seis objetos do acervo foram expostos, cada um deles por um período de cerca de 30 dias, sem que nenhuma informação sobre os mesmos fosse fornecida. Um painel convidava o visitante a observar o objeto e outro trazia um roteiro com sugestões de perguntas a serem feitas durante a atividade: quais foram os materiais

[1] CARDOSO, R.. Design para um mundo complexo. São Paulo: Ubu Editora, 2016, 264 p..

usados para produzir o objeto? Por que o objeto foi produzido? Quem foi o seu fabricante? Onde e quando o objeto foi produzido? Qual a função do objeto? Existem sinais de utilização/manuseio? Onde e como o objeto foi usado? Como o objeto foi fabricado? Existem marcas ou inscrições presentes? O objeto é artesanal ou industrializado? Qual a função deste objeto hoje? Sua função mudou? Qual o valor que foi atribuído ao objeto pela sociedade? E pelo Museu? As perguntas são, propositadamente, provocativas e buscavam instigar o visitante a perceber aspectos daquilo que é musealizado para além dos recortes apresentados nas exposições e, principalmente, a desnaturalizar o olhar dos visitantes sobre os objetos em museus.

O modelo teve como inspiração os eventos "Conversas com Objetos", organizados pelo Instituto Goethe sob a coordenação da Dra. Claudia Mattos Avolese (UNICAMP), e as oficinas de leitura de objetos realizadas regularmente pelo NUDCAM. As oficinas fazem parte de um conjunto de ações que aconteceram a partir do desenvolvimento do projeto de pesquisa *Objetos de C&T como fonte documental para a História das Ciências*[2] e da exposição *Instrumentos científicos: diferentes olhares*[3]. Detalhes sobre as motivações do MAST Colloquia 2017 foram publicados em Santos et al. (2018)[4]. A opção por expor para a leitura objetos procedentes do Observatório Nacional (ON/MCTIC) foi em atenção ao fato de que aquela instituição completou190 anos de existência em 2017.

Ao final do período de exposição de cada objeto era organizada a palestra do MAST Colloquia, buscando estabelecer uma conversa sobre o instrumento exposto, mediada por pesquisadores do MAST, entre palestrantes convidados e público em geral. O objetivo era reunir a cada encontro especialistas com formações diferentes: um cientista, pesquisador, técnico ou professor procedente da área de conhecimento do objeto e um profissional da área das ciências humanas (museólogo, historiador, antropólogo,

[2] Projeto coordenado por Marcus Granato entre os anos de 2004-2009.
[3] Exposição idealizada por Marcio Ferreira Rangel e Cláudia Penha dos Santos e montada no MAST entre os anos de 2001 e 2002. O projeto desta exposição foi apresentado no XXIX Symposium of the Scientific Instrument Commission em Florença na Itália no ano de 2010. Disponível em: <http://www.imss.fi.it/news/sic/eprogramme.html>.
[4] SANTOS, C. P.; DOMINICI, T.P.; SANTOS, J. J.. A Leitura de Objetos de Ciência e Tecnologia: A Experiência do Museu de Astronomia e Ciências Afins. In: 5º Encontro de Divulgação de Ciência e Cultura (EDICC), 2018, Campinas. Revista do EDICC - 5º Encontro de Divulgação de Ciência e Cultura. Campinas: UNICAMP, 2018. v. 5. p. 171-181.

cientista social, etc.). Em comum, ambos deviam estar dispostos a fazer a leitura do objeto e não o entender, apenas, como mera ilustração.

No entanto, inicialmente não imaginamos a dificuldade que seria encontrar especialistas que se dispusessem a aceitar o convite e participar da proposta. O fato é que a participação no ciclo de palestras exigia um trabalho extra e fora da zona de conforto da maior parte dos envolvidos. O cronograma, tanto das datas das palestras/discussões, como de troca de objetos na Sala de Leitura, teve que ser bastante flexibilizado ao longo do ano a fim de acolher as possibilidades de agenda daqueles que, enfim, se propuseram a participar. As editoras registram aqui o agradecimento a todos os participantes.

Na Sala de Leitura de Objetos também havia um formulário para que o público visitante do museu registrasse livremente a sua própria leitura. No total, 99 pessoas preencheram a ficha. Nem todas registravam impressões sobre o instrumento exposto, algumas faziam observações sobre o museu de maneira geral e traziam, críticas, elogios e sugestões. Após a análise do conteúdo dos formulários, foram separadas aquelas que fato continham uma leitura do instrumento e produzidas nuvens de palavras[5] para cada instrumento, nas quais é possível visualizar a diversidade das experiências vividas pelos visitantes. Nesta edição, os capítulos que tratam de cada objeto são antecedidos por uma imagem do mesmo e pela respectiva nuvem de palavras.

O que os leitores encontrarão nas próximas páginas é uma série de textos heterogêneos, refletindo inclusive a diversidade de formação acadêmica e atuação profissional dos palestrantes. As editoras buscaram a maior uniformização possível na formatação dos capítulos, porém sem tolher algumas opções dos autores, como o uso de palavras sublinhadas ou negrito para destacar elementos do texto, ou a quantidade de informações oferecidas nas legendas das figuras, algo que muda significativamente de área para área. Também verificaremos ao longo deste volume que a interpretação sobre a proposta também foi heterogênea. A maioria dos palestrantes não teve como tema central de sua palestra (e, consequentemente, do seu texto) o objeto que estava exposto.

A palestra de abertura do ciclo não foi dedicada a nenhum objeto em particular, mas à apresentação das experiências resultantes da série de encontros "Conversas com Objetos". Lorena Vicini, do Instituto Goethe de São Paulo, uma das organizadoras

[5] As nuvens de palavras foram produzidas com o Wordle (http://www.wordle.net/).

daqueles eventos, conta, no primeiro capitulo deste livro, detalhes sobre concepção do projeto. Em seu texto, intitulado "Nem exótico, nem periférico: outras possibilidades de narrativa para objetos incômodos" a autora destaca alguns momentos das edições realizadas no Brasil, Equador e Alemanha.

O primeiro objeto a ser exposto na Sala de Leitura foi um Círculo Meridiano portátil. O instrumento motivou o texto do historiador Denilson Espósito, intitulado "A leitura de objetos como ferramenta para a conceituação da história no ensino médio", no qual conta sobre a sua experiência como docente em desmistificar o documento textual como única fonte de pesquisa e compreensão histórica. Na sequência, a astrofísica e pesquisadora do MAST Tânia Dominici[6], partindo de uma revisão de carreira, sustenta que são possíveis diferentes olhares e, portanto, leituras do círculo meridiano em questão.

O próximo objeto exposto foi um sismômetro horizontal. Neste caso, apenas o especialista da área aceitou o convite para a palestra e a contribuição neste volume. Jorge Luis de Souza foi o geofísico que intermediou a transferência do instrumento em questão do ON para o acervo do MAST. No capítulo correspondente, o autor apresenta um texto introdutório à sismologia, intitulado "Terremotos e seus dispositivos de detecção", no qual registra o modo de uso dos instrumentos semelhantes aos que hoje fazem parte do acervo do MAST.

Na sequência, um espectroscópio solar foi sujeito à leitura. Nadja Paraense, historiadora, e Daniel Mello, astrofísico, foram os palestrantes e ambos optaram por narrar a história do desenvolvimento da espectroscopia em seus respectivos capítulos. Neste caso, temos a oportunidade de comparar as distintas abordagens sobre um mesmo assunto, que emergem das diferentes áreas de formação e atuação.

O quarto objeto foi um instrumento nomeado no acervo do MAST como magnetômetro, mas que pode receber denominações diferentes, como vemos no capítulo intitulado "Medindo o campo magnético da Terra", escrito pelos geofísicos Katia Pinheiro e Cristiano Martins. Além de justificar a necessidade de medidas geomagnéticas e apresentar o trabalho realizado nos Observatórios Magnéticos de Vassouras e Tatuoca, operados pelo Observatório Nacional, os autores buscaram informações em outros acervos de geomagnetismo para tentar compreender o instrumento exposto. O texto se

[6] Uma das organizadoras do ciclo, a pesquisadora se propôs a participar como palestrante após uma sequência de convites recusados por outros astrônomos.

inicia com uma imagem do objeto e com a seguinte pergunta: "O que imaginamos quando observamos o instrumento mostrado na Figura 1?" Cabe destacar que dos textos aqui reunidos esse, juntamente com os textos de Tânia Dominici e Rita Gama, foram àqueles que partiram da ideia do objeto da coleção do museu como gerador de perguntas.

Para a leitura do quinto objeto - um cronômetro de marinha - foi convidado o Capitão de Mar e Guerra Hideo Miyoshi, que contou em sua palestra e no capítulo "A evolução da navegação no tempo", sobre a sua experiência a bordo na utilização de instrumentos para determinação da localização e, em particular, sobre o uso do cronômetro de marinha. Na sequência, no capítulo "Do Geral ao Individual: um cronômetro de Marinha e sua rede de conceitos", a museóloga Maria Lúcia de N.M. Loureiro apresenta o mapa conceitual do cronômetro em questão. Nesse mapa é possível visualizar toda a trajetória do objeto em seus diferentes aspectos.

O termógrafo registrador elétrico foi o último instrumento a ser exibido na Sala de Leitura de objetos do MAST e foi analisado por dois especialistas. Almir Venancio, meteorologista e professor de ensino técnico na área, falou em suas "Reflexões sobre a evolução de instrumentos para medição de temperatura" sobre a importância de dispor de instrumentos que não sejam digitais para que os alunos aprendam a ter sensibilidade em relação à medida. Destacou, também, a importância de instrumentos históricos para monitoramentos a longo prazo, como os que permitiram registrar a crise climática que a humanidade hoje enfrenta. Rita Gama, museóloga, na época bolsista do MAST, em seu texto compartilha dúvidas e fontes de pesquisa sobre o objeto, principalmente a partir de consultas a catálogos do fabricante.

Assim, neste volume podem ser encontrados textos com temas técnicos ou científicos destinados ao público não-especializado, porém pertinentes ao estudo de objetos frequentes em acervos de C&T. Novas informações sobre o acervo do MAST emergiram dos diferentes enfoques, assim como reflexões acerca de práticas em sala de aula. No entanto, um resultado inesperado é que pouco de leitura dos objetos foi efetivamente feito pelos convidados, o que nos faz pensar sobre as dificuldades e resistências ao encarar o objeto de museu desprovido de informações. Como colocado no texto de Rafael Cardoso na abertura deste texto, teria havido uma rejeição de encarar o imprevisto do instrumento científico desnudo de qualquer interpretação prévia? Por outro lado, cabe registrar que os debates, que ocorriam após as palestras e que infelizmente não

foi possível reproduzir no presente volume, foram profícuos no que se refere à leitura dos objetos científicos.

A experiência de organizar o ciclo de palestras MAST Colloquia 2017 de maneira coordenada com o desafio de manter uma Sala de Leitura de Objetos no museu certamente terá desdobramentos ao longo dos próximos anos. Esperamos que os leitores deste livro se sintam estimulados a experimentar a leitura de objetos como ferramenta na compreensão do que seria a própria instituição museu e o objeto musealizado.

As organizadoras, Cláudia Penha dos Santos e Tânia Pereira Dominici.

Vista parcial da Sala de Leitura de Objetos do MAST, mostrando a vitrine com o instrumento e, ao fundo, o painel com o roteiro de leitura.

Nem exótico, nem periférico: outras possibilidades de narrativa para objetos incômodos

Lorena Vicini

Nota biográfica

Lorena Vicini é de São Paulo, trabalha como editora e gestora cultural e atualmente é aluna de doutorado na Kunsthoschule Kassel. É jornalista e mestre em literatura alemã (Universidade de São Paulo). Entre 2015-2017 coordenou o Episódios do Sul, um projeto do Goethe-Institut São Paulo, em cujo contexto desenvolveu projetos com o objetivo de descolonizar o conhecimento de uma perspectiva "sul". Lorena é co-autora das seguintes publicações: "Inspirador: diretrizes internacionais para gestão cultural sustentável" e "Desenvolvimento de identidades para melhorar a coletividade".

I. Introdução

Enquanto escrevo, não sou o Outro, mas eu mesmo. Não o objeto, mas o sujeito. Torno-me quem descreve, e não quem é descrito. Torno-me o autor e a autoridade da minha própria história.
"While I write," Grada Kilomba[7]

As reflexões a seguir foram feitas entre 2015-2017, no âmbito do Episódios do Sul[8], projeto empreendido pelo Goethe-Institut na América do Sul que buscou discutir a decolonização do pensamento na arte, na ciência e na cultura. Episódios do Sul pesquisou – na teoria e na prática – novos conteúdos e formatos para pensar conhecimentos que, de alguma maneira, foram submersos pela empreitada colonial, pelo que Bonaventura Sousa chama de "monocultura epistêmica colonial"[9]. Em outras palavras, que contrariam a ordem ocidental e iluminista da produção de conhecimento. Ou ainda, como apontou Arjun Appadurai, em lugar de pensar uma "Teoria do Sul", que de alguma maneira reproduziria formas de pensar tradicionais ao Norte, Episódios do Sul buscou "o Sul da Teoria", que teria o potencial de dar origem a outra arquitetura de cultura global[10].

Episódios do Sul pensou, tentou, imaginou, propôs outros modos de ver o mundo além daquele ao que estamos acostumados: ocidental e eurocêntrico. Com seu mapa da América do Sul de ponta-cabeça (Figura 1), o modernista uruguaio Joaquín Torres-García reconheceu, já em 1935, essa desigualdade estrutural de viés colonialista na arte e fundou a *Escuela del Sur*. Assim, e desde então, pode-se falar de um esforço continuado em buscar uma visão própria do Sul, como na tentativa de Torres-García de colocar o mundo de cabeça para baixo.

[7] *While I write, i am not the Other, but the self. Not the object, but the subject. I become the describer, and not the described. I become the author and the authority of my own history.* Tradução da autora. "While I Write" é um dos trabalhos de uma vídeo-instalação da artista Grada Kilomba intitulada "The Desire Project," apresentada e comissionada pela 32ª Bienal de Artes de São Paulo Bienal, realizada em 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UKUaOwfmA9w>, acesso em 17 ago. 2018.
[8] Goethe-Institut, Site oficial do Episódios do Sul <http://www.goethe.de/ins/br/lp/prj/eps/enindex.htm>.
[9] SANTOS, Boaventura de Sousa; NUNES, João; MENESES, Maria Paula. *Another knowledge is possible*, p. XXXIV. Disponível em: <http://www.boaventuradesousasantos.pt/media/Introduction(3).pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.
[10] APPADURAI, Arjun. "The relevant issue is: rich versus poor". Disponível em: https://www.contemporaryand.com/magazines/arjun-appadurai-the-relevant-issue-is-rich-versus-poor/. Acesso em: 17 ago. 2018.

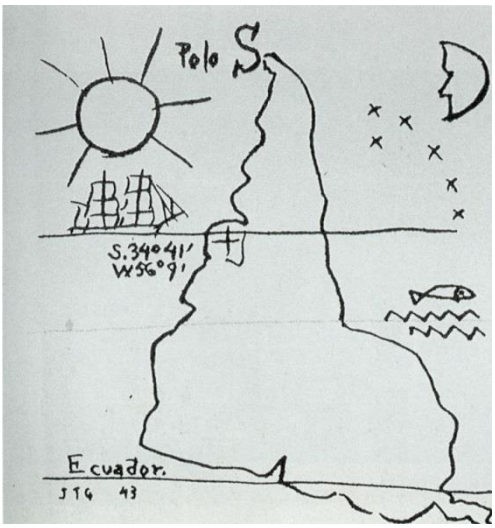


Figura 1: América Invertida, de Joaquin Torres-García (1943). Fonte: Wikicommons (Domínio Público).

No escopo do projeto, que funcionou como uma espécie de guarda-chuva temático abrigando outros 19 projetos de naturezas diversas (exposições, residências artísticas, encontros, apresentações musicais, etc.), uma das iniciativas foi "Conversas com Objetos", pensado junto com a professora Dra. Claudia Mattos Avolese (Unicamp). Sua construção no contexto de Episódios do Sul se deu justamente com o intuito de levantar a discussão pública sobre a história da arte e os padrões sobre os quais ela está ancorada. Mais especificamente, "Conversas com Objetos" se dedicou a objetos incômodos, de difícil encaixe e categorização na lógica ocidental de instituições museológicas: eram eles, em sua maioria, objetos de coleções etnológicas e arqueológicas[11].

A concepção de "Sul" empregada neste projeto é essencial para a possibilidade de deslocamento – de discurso e posições – no campo da história da arte. Como argumenta Mattos (2015), a estrutura das narrativas na história da arte ainda é largamente colonizada pelo discurso acadêmico oficial, o que exclui uma parte significativa da produção artística do mundo. "O discurso da história da arte opera fazendo demarcações dos mais diversos tipos, que, por sua vez, precisam ser repensadas. Sem dúvida, a expansão do campo da história da arte é também um trabalho político"[12].

[11] Houve algumas exceções: na edição realizada no Parque Lage em 2015, junto à escultura Punu protagonizou também a conversa um objeto do artista Ricardo Basbaum; na edição realizada no Museu AfroBrasil, uma escultura do artista Agnaldo Manoel dos Santos; em uma das edições realizadas na Pact Zollverein, em Essen, uma obra de arte contemporânea do artista Raphael Ferrer.
[12] Claudia Mattos Avolese em comunicação pessoal, fevereiro de 2017.

II. “Conversas com Objetos”: modos de montar

Passemos agora à descrição da dinâmica de “Conversas com Objetos”, essencial para entendermos o que dela pode se desdobrar:

a) Escolha do objeto

Nas experiências realizadas pelo Goethe-Institut, a escolha do objeto sempre se deu como um acordo entre a própria instituição cultural, a idealizadora do projeto Claudia Mattos e as instituições parceiras (Museu Afro Brasil, Museu Paraense Emilio Goeldi, por exemplo). É importante dizer aqui que peças de coleções etnográficas e arqueológicas possuem, normalmente, o mesmo *status* de obras de arte e, por isso, retirá-las de museus e coleções nem sempre é uma operação simples: pode requerer seguro e transporte especializado. Assim, realizar o evento dentro da instituição/coleção detentora da peça – se a mesma disponibilizar de estrutura para tal – pode ser interessante. Vale ainda lembrar que sempre escolhemos peças de dimensões maiores, que pudessem ser vistas de qualquer ponto da sala pelo público.

b) *Montagem da estrutura*

A estrutura escolhida para montagens das cadeiras é o *Fishbowl*[13]. São montados círculos concêntricos e o objeto escolhido fica no meio, apoiado em uma mesa ou em um suporte que garanta a sua visibilidade ao público no decorrer do evento.

É importante ainda que exista certa possibilidade de circulação ente as rodas mais externas e o centro do círculo, onde se encontra a peça, para que as pessoas possam se deslocar do fundo para o centro se quiserem se pronunciar no devido momento. Os “especialistas” falam em um primeiro momento, seguidos pelo público. Os indivíduos que tivessem interesse em se manifestar deveriam sentar na primeira fileira junto com os “especialistas”. A ideia é que a peça escolhida para participar da conversa estivesse seguramente acondicionada no centro do círculo, com a mínima proteção possível, ou seja, sem grades, vitrines, vidros protetores ou faixas de segurança. Diferentemente da

[13] Para maiores informações sobre o formato *Fishbowl* estão disponíveis em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fishbowl_(conversation)>. Acesso em: 17 ago. 2018.

experiência da maior parte dos museus, a ideia é que o contato entre objeto e público seja o mais direto e menos mediado possível.

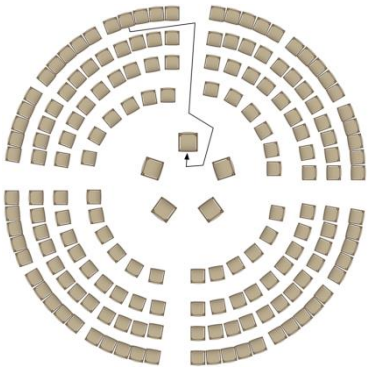


Figura 2: Diagrama do *Fishbowl*. Fonte: Wikicommons (Domínio Público)

c) *Escolha dos especialistas*

No círculo com menor diâmetro, ou seja, aquele que mais se aproxima do objeto, são reservadas cadeiras para os chamados "especialistas", que nas edições realizadas até o momento contabilizaram entre quatro e cinco pessoas. As cadeiras a serem dispostas neste primeiro círculo devem somar o número de especialistas convidados + 1, que é a cadeira que ficará vazia em um primeiro momento e estará disponível ao público em um segundo momento.

Nos eventos realizados, buscou-se composições de especialistas que mesclassem profissionais das mais diversas áreas que pudessem ter ligação com o objeto: artesãos, educadores, pessoas ligadas a comunidades com as quais esse objeto pode ter relação, artistas e acadêmicos.

A lógica que opera o convite para a participação de especialistas em eventos, como bem sabemos, é a seguinte: já no momento do primeiro contato, convidados são informados, com grande precisão, sobre o tema e os encaminhamentos para que assim possam se preparar com antecedência, pesquisar e chegar no dia do evento com um discurso fruto de preparação prévia. "Conversas com Objetos" inverte essa lógica, colocando especialistas em uma posição semelhante à do próprio público: nenhuma das partes sabe com antecedência qual é o objeto escolhido. O público e os especialistas descobrem no mesmo momento. Também não são fornecidas, nem mesmo na abertura do

evento, quaisquer informações biográficas ou técnicas sobre a peça (origem, autoria, caso tenha). Essa surpresa é considerada parte fundamental da essência do projeto, gerando um ponto de partida semelhante para todos os participantes.

d) Sobre a dinâmica

Montada a estrutura física, a sala é aberta. Uma etapa essencial é conceder entre 10-15 minutos para que o público e os especialistas se aproximem da peça e a observem com calma, de perto. Nesse momento do encontro inicial entre público e objeto é importante que não haja pressão, que o participante possa contemplá-lo em seus detalhes (se assim desejar), que escolha a cadeira em que vai se sentar com calma, que mude de cadeira se achar que aquela não lhe fornece o melhor ângulo.

A conversa começa com a fala dos especialistas. Para cada um são concedidos cinco minutos de conversa com a peça. Após o último especialista falar, é permitido a qualquer pessoa da sala assumir a cadeira vazia no centro da sala e falar com o objeto, ou relatar as impressões suscitadas no confronto material com o mesmo. O público deve igualmente ter o tempo de cinco minutos para sua intervenção. Terminada sua fala, o participante se levanta e deixa a cadeira novamente vazia para que seja ocupada por um novo integrante do público. Os especialistas podem voltar a interagir, construindo novos pensamentos e associações em cima das falas dos seus colegas ou do público. A simplicidade da dinâmica é tão bela como sua eficiência. Os eventos costumam durar entre 2-3 horas, a depender da animação da conversa. As informações técnicas sobre os objetos podem ser dadas – ou não – após o fim do encontro.

Entre 2015 e 2017 foram realizadas oito edições do evento, protagonizadas pelos seguintes objetos:

- **Escultura Lobi,** Burkina-Faso ou Costa do Marfim (Coleção de peças africanas do acervo de Rogério Cerqueira Leite). Local: Goethe-Institut São Paulo (São Paulo, junho de 2015);

- **Fole Punu,** Gabão (*Coleção* de peças africanas do acervo de Rogério Cerqueira Leite). Local: Parque Lage (Rio de Janeiro, agosto de 2015);

- **Grande urna marajoara da coleção Betty Meggers,** Brasil (Acervo do Museu Paraense Emilio Goeldi). Local: Casa das onze Janelas (Belém, junho de 2016);

- **"Maternidade",** escultura de Agnaldo Manoel dos Santos (Coleção Emanoel Araujo). Local: Museu AfroBrasil (São Paulo, outubro de 2016);

- **Figuras Valdivia,** Equador (Coleção do Museo de Arte Precolombino Casa del Alabado). Local: Teatro Prometeo (Quito, maio de 2017);

- **Fetiche, Congo,** República Democrática do Congo (Coleção de Kunstsammlung Dresden). Local: Museu Kunstsammlung Dresden (Dresden, setembro de 2017);

- **Roheisen**, Alemanha (Ruhr Museum). Local: Pact Zollverein (Essen, setembro de 2017);

- **ZodiakBecken**, origem provável: América do Sul (Museum Folkwang). Local: Pact Zollverein (Essen, setembro de 2017);

- **Island Paddle Mirrors**, de Raphael Ferrer (Lehmbruck-Museum). Local: Pact Zollverein (Essen, setembro de 2017).

III. "Conversas com Objetos": possibilidades de desmonte

As duas principais fontes teóricas para o projeto são os antropólogos Bruno Latour e Alfred Gell, no que tange à capacidade de discurso e à performance social dos objetos. Os dois antropólogos, cada um à sua maneira, enfatizam o papel ativo dos objetos quando da interação com humanos e outros seres vivos, classificando-os, assim como parte da rede social de relações[14].

Latour argumenta que "não existem objetos sem que estejam cheios de pessoas"[15] e que não é mais possível adotar uma posição dialógica para pensar categorias como "sociedades" e "coisas" (*things*), mas sim que teríamos que pensar em termos de "circulação, sequências, transferências, traduções, deslocamentos, cristalizações" (LATOUR, 1991, p. 10).

Já Gell define agência da seguinte maneira: "Agência é atribuível a pessoas (ou coisas [...]) que são vistas como iniciadoras de sequências causais... eventos causados por atos mentais, vontade ou intenção... Um agente é a fonte, a origem de eventos causais, independente do estado do universo físico" (GELL, 1998, p.16).

[14] Para mais informações e todos os vídeos sobre "Conversas com Objetos" acesse a página do projeto <http://www.goethe.de/ins/br/lp/prj/eps/epd/pt14367478.htm>. Acesso em: 17 ago. 2018.
[15] "*Things do not exist without being full of people*", no original. Tradução da autora.

Desta maneira, como foi explicada na dinâmica de "Conversas com Objetos", podemos ver que o propósito almejado era justamente permitir a interação entre público e objeto sem mediação, propiciando condições para o objeto exercer assim sua agência ou, nas palavras de Latour, que fossem preenchidos por pessoas. Privilegiou-se, portanto, a ideia de que o encontro não fosse pautado pelos mesmos critérios que fundamentam o campo da história da arte (período, autoria, técnica, materiais, etc.). Essa prática abriu espaço para que os afetos fossem manifestados, criando assim uma outra relação com os objetos, mais acessível e democrática.

Tomemos como exemplo a urna funerária marajoara, cedida para o evento pelo Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG/MCTIC), que conversou com o público em Belém (PA). A urna veio diretamente do acervo técnico da instituição onde reside, para a realização do evento na Casa das Onze Janelas. Em sua atual morada, a urna não pode conversar com o público no dia a dia.

A narrativa biográfica da peça é a seguinte: antes da realização do "Conversas com Objetos", saíra do acervo para ser apresentada na Mostra do Redescobrimento (2000) em São Paulo; em Londres na exposição "Unknown Amazon" (2001) no British Museum; em Paris na exposição "Brésil Indien" (2005) no Grand Palais, por ocasião do Ano do Brasil na França. Mas fazia muitos anos que ela não era apresentada para o público de sua cidade, Belém. No passado chegou a fazer parte da exposição permanente do Museu Emilio Goeldi. Ainda que ausente por mais de uma década, sua presença material era tão forte, com suas diversas facetas incrivelmente conservadas e seus detalhes antropomórficos, que ela ainda habitava as memórias de infância dos belenenses que atenderam ao evento. "Eu me lembro desta urna desde pequena, quando meu pai me levava no Museu Emilio Goeldi, esta peça me encanta, porque parece que ela conta coisas"[16], foi a declaração de uma das participantes da edição na capital paraense. O objeto, exercendo sua agência, despertou afetos, outros modos de se relacionar esteticamente que não passam pelo campo da história da arte. Ou ainda na edição realizada no Museu AfroBrasil, em São Paulo, quando um participante ocupou a cadeira vazia e declarou que desde o início do evento estava incomodado com a escultura apresentada, do artista Agnaldo Manoel dos Santos e, que depois de mudar de lugar

[16] Vídeo registro da edição de "Conversas com Objetos" em Belém disponível em: <https://youtu.be/9HKH-ZXLrvQ>. Acesso em: 17 ago. 2018.

algumas vezes, percebeu que aquela imagem o fazia refletir sobre a questão da negritude de seu pai, que até então ele negara.

Ou ainda, no evento realizado em Quito, com pequenas Vênus de Valdívia, em que os diferentes penteados de cada uma das esculturas trouxeram questionamentos sobre o papel dos gêneros no mundo de hoje. Peças com mais de 3.000 de idade que conversam com mulheres e homens do século XXI. As vidas de um objeto que reverberam em tantas outras vidas.

Ou, nas palavras de Merleau-Ponty:

> [...] as coisas não são, portanto, simples objetos neutros que contemplaríamos diante de nós; cada uma delas simboliza e evoca para nós uma certa conduta, provoca de nossa parte reações favoráveis ou desfavoráveis, e é por isso que os gostos de um homem, seu caráter, a atitude que assumiu em relação ao mundo e ao ser exterior são lidos nos objetos que ele escolheu para ter à sua volta, nas cores que prefere, nos lugares onde aprecia passear (MERLEAU-PONTY, 2004, p. 23).

Assim, pensar nas memórias, nos afetos e nas ressignificações que são mobilizados em novas exposições do objeto ao longo de sua história, é uma bela maneira de não o emudecer em um passado distante e congelado. Melhor capacitar o público a interagir com representações históricas e outras no espaço do museu.

Podemos ainda falar da performance corporal como elemento produtor de narrativas. O público, se quiser ter sua voz ouvida, tem de ser ativo: deslocar seu corpo para o centro da roda, postar sua voz na dinâmica, elaborar um pensamento, marcar o cenário com a sua impressão, inserir uma nova peça que pode mudar a configuração do quebra-cabeça. O mecanismo de engajamento corporal lembra um pouco o empregado pelo artista Gustav Metzger em sua série *Historic Photographs*, na qual fotografias catastróficas do século XX são cobertas por um pano. Para vê-las – imagens da violência e da barbárie – o espectador precisa ativamente deslocar o tecido. Para acessar o incômodo, ele terá que agir.

IV. Objetos incômodos: portais para o presente

Quando consideramos os altos padrões de segurança exigidos pelas instituições museológicas, percebemos que, de fato, "Conversas com Objetos" é uma proposta ousada. Como a ideia é propiciar o contato direto entre objetos museológicos e o público, reduzindo ao mínimo a mediação por equipamentos de segurança, a iminência de um tropeço, de uma mão mais curiosa, de um cotovelo mais desastrado por parte do público é grande.

Como coordenadora do projeto, uma de minhas responsabilidades era fazer o possível assegurar que essas peças chegassem ao fim do evento intactas. Na edição realizada em Quito, os objetos cedidos pelo Museo del Alabado eram inúmeras Valdívias, esculturas pequenas e delicadas, distribuídas por uma mesa circular. Zelava pelas peças como um cão de guarda, com medo de que algo lhes ocorresse. O colecionador que emprestara as Valdívias para o evento, percebendo meu nervosismo, me aconselhou: "Quando você ficar muito nervosa, pense que essas peças já viveram mais de 3.000 anos e chegaram até aqui intactas".

De fato. No fundo, quando olhamos para esses objetos, sabemos que a nossa permanência neste plano é finita e temos a certeza íntima de que eles permanecem, enquanto nós nos vamos. Como cita Sandra Dudley, "na essência, a materialidade é tudo o que somos e tudo o que temos. Nós, seres humanos, só existimos no nosso corpo, que, por sua vez, também são objetos. [...] somos corpos materiais, vivendo em um mundo material" (DUDLEY, 2013, p. iv)[17].

Assim, a pergunta que fica é: o que os objetos podem nos dizer não só sobre o passado, mas também sobre o presente e sobre o futuro? Ou, como disse o historiador da arte Steve Nelson em uma das edições do evento: "Como podemos entender o encontro com o objeto como ponto de partida para ter acesso ao mundo"[18].

[17] No original "*In essence materiality is all we are and all we have. We human beings exist only in our bodies, which are themselves objects [...] we are material bodies, living in a material world*". Tradução da autora.

[18] Vídeo do evento "Conversas com Objetos" realizado no Rio de Janeiro em setembro de 2015. Disponível em: <https://youtu.be/_wv9SGknUic>. Acesso em: 17 ago. 2018.

Pensando que por trás dessas peças há quase sempre uma história de violência e exploração - escravidão, massacre de populações originárias, exploração e contrabando - como olhar para esses objetos nos dá pistas sobre o presente e o futuro?

As diversas edições do evento – e a pluralidade de contextos e objetos escolhidos para protagonizá-los –, pode-se dizer que, de alguma maneira emularam o que o sociólogo Homi Bhabha chama de "terceiro território": nem este, nem aquele, mas um território efêmero que "desloca as histórias que o constituem e instalam novas estruturas de autoridade, novas iniciativas políticas"[19]. "Conversas com Objetos", de alguma maneira, cria este terceiro território, que mescla diversas camadas em uma mesma experiência: um entendimento histórico (que muitas vezes é apenas auto narrativo), a apreciação estética sobre os objetos e uma experiência sensorial. Como apontado por Edwards (2006), é diferença entre *ver* objetos e *sentir* objetos[20].

Ou ainda, sob a perspectiva pessoal deste relato, "Conversas com Objetos", rodando por várias cidades do Brasil, América do Sul e Europa, se aproxima – em propósito e modo de execução – de conceito trazido pelo artista Cildo Meireles no trabalho chamado "Inserção em circuitos ideológicos"[21], realizado durante o período de ditadura no Brasil. Nessa obra, Cildo imprimiu diversas frases subversivas em garrafas de Coca-Cola e notas de dinheiro. Uma das questões colocadas nas garrafas de refrigerante foi: "Qual o lugar da arte?". Dentro da polissemia de significados que essa frase pode desdobrar, me interessa especificamente a pergunta anônima, que não ambiciona respostas, que duvida de espaços de confinamento tradicionais como museus e galerias, incutindo a dúvida em novos circuitos, de modo não usual e viral (MAIA, 2015, p. 145).

Da mesma maneira, em "Conversas com Objetos" também reside o vírus, que entra nos espaços de equipamentos culturais e artísticos – inserindo-se assim no circuito –, mas, simultaneamente, coloca em dúvida a lógica em que essas instituições operam:

---

[19] Institute for Creative Art. *3rd Space Symposium Call Out.* Disponível em: <http://www.ica.uct.ac.za/ica/news/3rdSpaceSymposiumCallOut#sthash.afsPMsbz.dpuf>, acesso em 17 ago. 2018

[20] Em inglês, *see* and *sense*, os dois vocábulos com fonética mais próxima geram uma aproximação. É um jogo de palavras.

[21] Tate Modern. *Cildo Meireles,Insertions into Ideological Circuits: Coca-Cola Project*. Disponível em: <http://www.tate.org.uk/art/artworks/meireles-insertions-into-ideological-circuits-coca-cola-project-t12328>. Acesso em: 17 ago. 2018.

sua realização desestabiliza – pelas duas ou três horas de sua duração, que seja – o *modus operandi* de produção de conhecimento ali praticado, abrindo uma janela de contágio para a produção e circulação de diferentes conhecimentos, baseados em outros critérios, experiências e visões de mundo.

V. Bibliografia

DUDLEY, S. H. (ed.). *Museum materialities*: objects, sense and feeling. London: Routledge, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.4324/9780203523018. Acesso em: 19 dez. 2019.

EDWARDS, E., GOSDEN, C., PHILLIPS, R. (ed.). *Sensible objects:* colonialism, museums and material culture. [*S. l.*]: Berg, 2006. v. 5.

GELL, A. *Art and agency*: an anthropological theory. Oxford: Clarendon, 1998.

LATOUR, B. The Berlin key or how to do words with things. *In*: Graves-Brown, P.M. (ed.). *Matter, materiality and modern culture*. London: Routledge, 2010. p.10-21.

MAIA, A. M. *Arte-veículo*: intervenções na mídia de massa brasileira. Recife: Aplicação, 2015.

MATTOS, Claudia. Geography, Art theory, and new perspectives for an inclusive art history. *The Art Bulletin,* [*S. l.*], v. 96, n. 3, p. 259-264, Sept. 2014.

MERLEAU-PONTY, M. *Conversas*: 1948. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

Círculo Meridiano Portátil (1993/0028)
Fabricante: Brunner Frères; século XIX (atribuição)

Nuvem de palavras constituída pela leitura feita pelos visitantes da Sala de Leitura de Objetos do MAST, durante o período de exposição do Círculo Meridiano Portátil 1993/0028.

A leitura de objetos como ferramenta para a conceituação da história no ensino médio

Denilson Bernardino Esposito

Nota biográfica

Denilson Bernardino Esposito é graduado em História - Licenciatura pela Universidade Veiga de Almeida (UVA, 2004). É professor desta mesma disciplina para o ensino médio. Atuou em atividades educacionais no Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/MCTIC) e no Museu Ciência e Vida (Fundação CECIERJ).

O objetivo deste texto é mostrar o olhar de um professor do ensino médio de história acerca da leitura de objetos e seus usos em sala de aula. Saímos da universidade com várias visões, tendo tido contato com várias propostas, discutindo sobre todas as teorias da história e trabalhando com a questão conceitual de história. No entanto, quando você entra na sala de aula parece que você voltou ao século XIX. Você chega propondo: vamos ter outros olhares? Vamos discutir com o outro? Com o tempo se vê, como sempre, falando do documento - o papel -, como a sua fonte. Então, como abordar isso de uma forma diferente na escola? Dentro do currículo do ensino médio tem o momento em que é pedido para trabalhar com esse conceitual de história. Exercitando isso, fui pelo caminho de colocar o assunto como questionamento para os alunos. É uma aula especial.

Nessa aula especial escrevo no quadro e coloco para eles: o que é história? É claro que sempre vem a piadinha daquele aluno: "Poxa professor, se o senhor não sabe, por que está perguntando pra gente?". Falo que quero partir do seu ponto de vista, o que você entende de história, o que é história pra você - para o aluno. Acho que para construir o conceito precisamos tentar caminhar juntos. A ideia é mudar um pouco a visão do papel como aquele que porta o conhecimento, mas aquele que tenta discutir a questão desse conhecimento. É claro que no decorrer da aula será comentado que no desenvolver da história ela buscou diferentes caminhos e ampliou bastante o universo dos conceitos do seu campo de ação ao mesmo tempo que foi criando novas situações. Essas situações trazem novos problemas, novos objetos para dentro do campo da história e podem pedir novas abordagens. Temos um grande conflito que se instala na questão do ensino porque na escola você geralmente lida com a mesma coisa: é o livro didático, que muitas vezes tem uma ilustração, uma figura, mas você está de novo vinculado unicamente àquela fonte que é a tradicional fonte documental. Para resolver isso, sugeri que fosse levado um desafio para os alunos.

Costumo levar para essa aula especial os seguintes objetos: um livro, um GPS de fácil reconhecimento pelos estudantes, um celular desativado e um outro instrumento que sempre é uma surpresa. Sempre que eu chego com esse último objeto sou questionado: "Professor, o que é isso?". Respondo que não sei e que vamos descobrir juntos, vamos tentar trabalhar para descobrirmos juntos o que é o objeto dentro de uma reflexão do que é história. Então a aula inicia conversando com os alunos e tentando trabalhar mostrando que tudo é história, mas isso não fica claro para eles. E continuo perguntando como podemos entender que tudo é história e como podemos caminhar. Tentamos mostrar o

senso comum, se é que podemos chamar assim, da escola tradicional da história tendo o documento como fonte e tendo que trabalhar com os alunos mostrando que, na verdade, sempre a história tem uma proposta de ser construída; ela não está definida, não se fecha unicamente naquele documento textual, ela não se encerra naquela fonte documental.

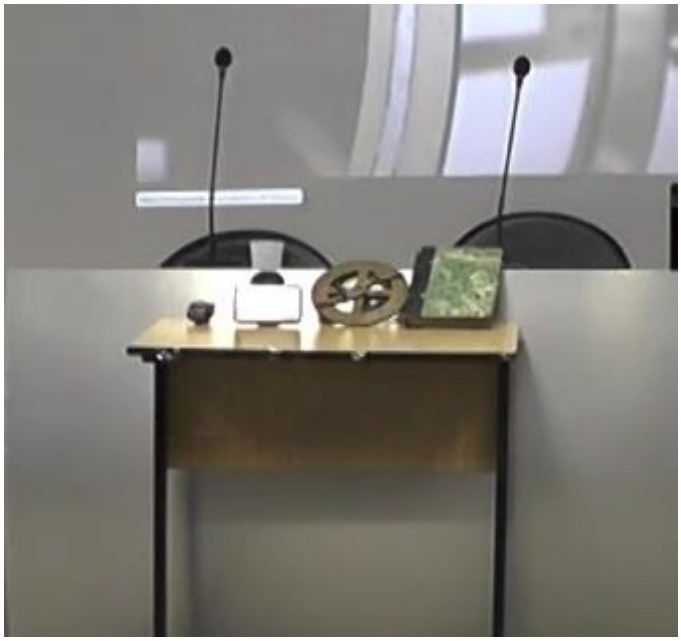


Figura 1: Objetos que são levados para a sala de aula, na discussão sobre o conceito de história e as suas fontes. Sobre a mesa, da esquerda para a direita, o celular antigo, GPS, astrolábio e livro. Captura de tela do vídeo da palestra.

Assim, caminho com eles na discussão sobre como analisar os objetos levados para a sala de aula; eu os apresento e pergunto se cada um deles seria uma fonte histórica. E claro, no início os objetos ficam encostados no quadro da sala e os estudantes sentados à distância. No primeiro desafio digo para eles: "Olha só, tem que vir aqui ver, tem que sair do seu lugar e mudar sua perspectiva, mudar o seu olhar". Quem permanecer distante vai perceber de uma forma, vai ver só de um jeito. Se você se aproximar, manipular e observar o objeto, vai colher informações que vão te auxiliar a ter uma visão melhor desse objeto.

É claro que todos vão direto na questão do livro. É aquela ideia que temos do livro de ser a fonte, o documento. Porém, já de propósito eu coloco um livro que tem uma idade, um livro antigo. E os alunos perguntam: "Professor, esse livro velho, o que tem

nele?". Digo para olhar e ver o que tem o livro. E aí há um certo ar de decepção, quando verificam que é um livro de literatura. Mas um livro de literatura não pode ser uma fonte histórica? Porque ele não pode ser? Argumentam então que o autor está contando uma história que ele inventou. Mas, será que essa história que ele inventou não pode ser pensada também como uma fonte histórica?

Alguns alunos têm a atenção desviada para os outros objetos. Quanto ao celular antigo: "Ah! Professor, e esse aqui?". Ah rapaz, quando eu usava esse telefone até tinha cabelo! E funcionava muito bem, mas hoje é um equipamento completamente obsoleto. Um equipamento que poderia estar sendo jogado fora, mas ele tem algum propósito: teve seu tempo; teve seu momento na história. O terceiro objeto, eles também reconhecem: é um GPS, e eu pergunto então para que serve um GPS. Eles respondem que é para a gente se achar, para andar na rua e se localizar em um determinado lugar.

E finalmente chegamos ao quarto objeto, que os estudantes não conhecem. É a réplica de um astrolábio semelhante aos que foram usados até o século XVII. Entãovou tentando instigar os alunos, continuando com essa questão de tentar ver a história buscando outros tipos de fontes que não as documentais. E vamos construindo juntos até o momento em que alguns - não são todos -, aceitam o desafio e pegam o objeto. Pergunto: "o que você está vendo?". Os estudantes veem que tem um número e tem ponteiro, e concluem que deve ser para medir alguma coisa. Vou questionando a partir desses posicionamentos: medir o quê? E vamos caminhando assim, trabalhando com a ideia de observar. Assim, começam a surgir outras questões e vão sendo percebidas as características do objeto. E vou tentado dar algumas pistas até que eles percebam que o objeto tem uma proposta de medir, de construir uma referência. Se você observar, tem um buraquinho através do qual pode olhar então deve dar para mirar, não é? É possível fazer a proposta de alguma medição ou observação. No caso do astrolábio, os alunos logo fazem associação com a questão da bússola, por conta do ponteiro. Neste momento posso apontar que a proposta de orientação geográfica é muito parecida com a do GPS.

Em um certo momento eu abro a questão e digo o que é o objeto. Conto que na nossa história foi importante objeto para navegação e orientação astronômica. Porque quando um marinheiro se encontrava embarcado em um navio lá no século XV, XVI, a obtenção de suas referências geográficas era baseada nas referências astronômicas. Assim, a função do objeto era a orientação pelos astros. No final dessa aula especial levo

os alunos para o pátio da escola e mostro como funciona um astrolábio náutico, o que é diretamente associado à questão da projeção do Sol. Termino a aula questionando o que eles entenderam sobre a questão da história com esse novo olhar. Daí vem a percepção de que tudo é uma produção humana, em tudo há uma intervenção. E que a história pode estar em um objeto, não é só a questão do documento tradicional.

A proposta deste texto - e da palestra apresentada no MAST Colloquia 2017 - foi mostrar esse caminho. Porque logo percebi que tinha uma questão em comum com a proposta da exposição[22]: levar o público do Museu, que não é especializado, a tentar olhar para um único objeto exposto e tentar entendê-lo, não apenas como uma fonte museológica, mas também como uma fonte histórica. É um desafio bastante feliz que o MAST se propôs a fazer. Acho que é assim que vamos tentar melhorar a ideia acerca da importância dos museus e de seus acervos, a importância dos documentos sejam eles tradicionais ou não. E assim você começa a mudar a visão também do que seja o museu. É a mesma coisa quando eu falo de tentar trabalhar com o meu aluno para tentar mudar a ideia do que é história. Busco fazê-lo entender que toda a produção humana é fonte, perceber a importância disso e, assim, caminhar para preservar os acervos históricos.

[22] Nota das editoras: o autor do texto se refere à Sala de Leitura de Objetos montada no 1º pavimento do prédio sede do MAST em sala contígua a reserva técnica visitável. Durante 2017, estiveram expostos naquela sala os objetos que foram tema de leitura no MAST Colloquia.

Diferentes olhares sobre um instrumento de astronomia do século XIX

Tânia P. Dominici

Nota biográfica

Tânia Pereira Dominici é Bacharel com habilitação em pesquisa básica em Física, Mestre e Doutora em Astronomia pela Universidade de São Paulo, com pós-doutorado na Universidade de São Paulo (IAG/USP), no Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa (CAAUL, Portugal) e no Laboratório Nacional de Astrofísica (MCTIC/LNA). Foi pesquisadora visitante na University of Bristol (UK). Possui especialização em Divulgação Científica pelo Núcleo José Reis. Trabalha com instrumentação astronômica e astronomia observacional, com ênfase em pesquisas de Astrofísica Extragaláctica. Pesquisadora Titular do MCTIC, atualmente na Coordenação de Museologia do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MCTIC/MAST), onde também realiza pesquisas sobre patrimônio material de C&T e, em particular, patrimônio recente em astronomia e áreas correlatas. Participa da equipe de desenvolvimento do Large Latin American Millimeter Array (LLAMA), novo Rádio Observatório sendo construído por Brasil e Argentina para a realização de observações nos comprimentos de onda milimétricos e sub-milimétricos.

I. Introdução

Uma sala escura, onde um painel na entrada deixa entrever ao seu centro uma vitrine iluminada. Ali estava um objeto, um instrumento científico histórico sem qualquer etiqueta ou texto que o identificasse. Porém, eu imediatamente saberia[23] do que se tratava. O objeto que esteve exposto na chamada Sala de Leitura de Objetos do MAST, entre 20 de junho e 1º de julho de 2017, era um círculo meridiano, tipo de instrumento também chamado de luneta meridiana ou instrumento de trânsito[24].

O círculo meridiano é basicamente uma luneta, ou seja, um telescópio refrator (telescópio que possui uma lente como elemento óptico primário), mas que só pode ser movimentado em uma direção. O seu eixo de rotação é fixado na direção Leste-Oeste, de modo que os objetos celestes só podem observados durante a sua passagem pelo meridiano local. Por sua vez, o meridiano local é a linha imaginária que liga o Norte e o Sul, passando pelo Zênite - este sendo o ponto imaginário que corta a esfera celeste imediatamente sobre as nossas cabeças, como busca ilustrar a Figura 1.

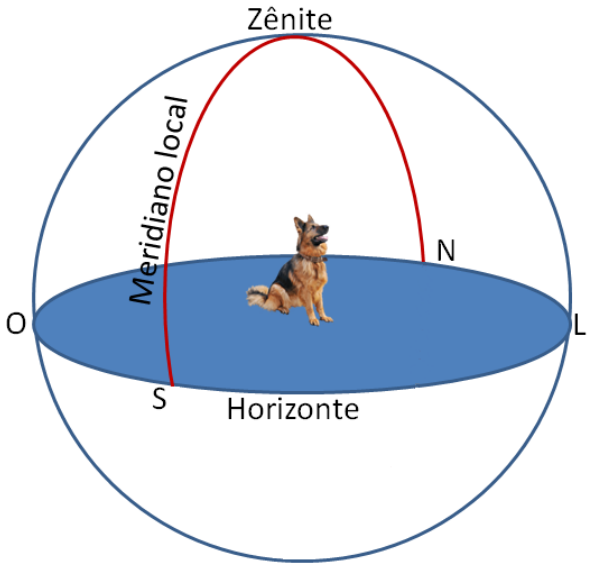


Figura 1: Representação da esfera celeste, indicando o Meridiano Local e o Zênite para o observador em um dado ponto da Terra.

[23] Ressalto que, por ser uma das organizadoras da exposição, já sabia de antemão qual seria o objeto exposto. Porém, qualquer que fosse a situação, ele não me passaria despercebido.
[24] Instrumentos de trânsito também podem ser considerados como uma classe mais ampla de instrumentos, sendo aquelas lunetas que se movimentam apenas em uma direção, mas que não necessariamente são utilizados com o eixo de rotação fixado na direção leste-oeste. Nesse contexto, poderia ser mais adequado chamar o círculo meridiano portátil, aqui sujeito à leitura, de instrumento de trânsito portátil. No entanto, opto por seguir o nome atribuído ao objeto no acervo museológico do MAST.

Durante a observação do céu noturno deve ser registrado com precisão o horário no qual a estrela desejada passa pelo centro do campo de visada do círculo meridiano. Assim, as observações eram sempre feitas utilizando também algum tipo de instrumento de medição do tempo. Deste modo, a declinação da estrela é deduzida de modo absoluto a partir da altura (a inclinação da luneta) e a ascensão reta é dada pelo tempo sideral local no instante da passagem meridiana. Os valores da declinação e da ascensão reta determinam a posição dos objetos celestes no chamado sistema equatorial de coordenadas.

Os círculos meridianos teriam sido um desenvolvimento a partir dos quadrantes murais (Figura 2, à esquerda) que eram utilizados para medir a posição dos objetos celestes antes mesmo do desenvolvimento do telescópio (KITCHIN, 2003, p. 390). A invenção do círculo meridiano é atribuída ao astrônomo dinamarquês Ole Rømer. Por volta de 1609, ele já observava através de um instrumento de trânsito e, em 1704, instalou na residência de verão da família aquele que é considerado o primeiro círculo meridiano (Figura 2, à direita). E não apenas Rømer inventou o instrumento, como deduziu toda a teoria relacionada com estas observações, incluindo erros instrumentais, o que só foi descoberto em suas anotações dois séculos depois (NIELSEN, 1968, p. 109). Tendo sido Rømer um profícuo inventor de instrumentos astronômicos, também é atribuído a ele, por exemplo, o uso de microscópios para ler as escalas graduadas, estratégia que foi amplamente utilizada em instrumentos científicos diversos até o início do século XX (NIELSEN, 1968, p. 108). Existem evidências do uso de quadrante murais desde o século X, pelo menos. Estes instrumentos seguiram sendo utilizados até o final do século XVIII, quando foram definitivamente substituídos pelos círculos meridianos.

No entanto, saber "o que era" o objeto exposto na Sala de Leitura não significa dizer que eu sei "tudo" sobre ele. E a própria montagem da exposição no MAST ajuda a lembrar deste fato. Junto à vitrine com o círculo meridiano, havia um painel que propunha questões a serem respondidas a partir da sua observação. Além daquelas que poderiam ser esperadas (para que serve? do que é feito?), eram propostas questões como: qual o valor do objeto para a sociedade? Qual o valor do objeto para o Museu?

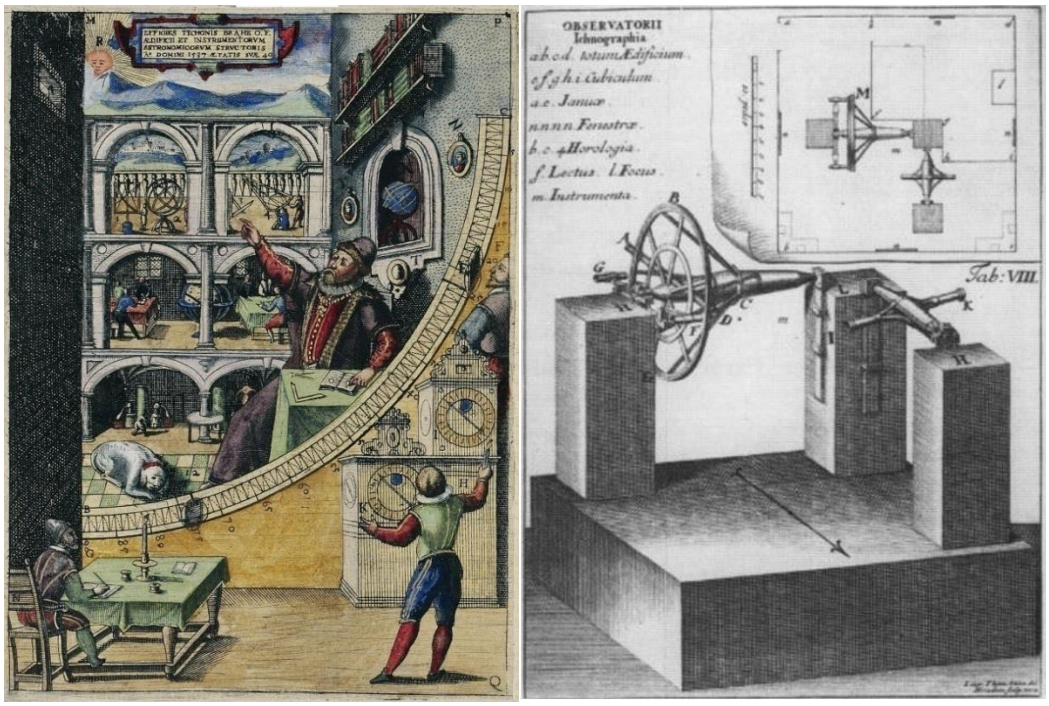


Figura 2: À esquerda, ilustração do quadrante mural de Tycho Brahe. À direita, ilustração do círculo meridiano de Ole Rømer, montado na residência de verão da família. Imagens de domínio público.

Com o estímulo das perguntas, percebe-se então que a observação de um instrumento como o que foi exposto pode despertar várias camadas de leitura. E o meu desafio enquanto palestrante no MAST Colloquia 2017 era justamente apresentar a minha leitura daquele objeto do ponto de vista do especialista da grande área; no caso, a astronomia. A estratégia adotada foi começar prestando atenção à primeira impressão ou lembrança que vinha à minha mente ao olhar o objeto e, em seguida, à segunda impressão, e assim sucessivamente. Deste modo, percebi que tenho pelo menos três camadas de leitura, sendo a primeira delas relativa à minha própria história. A segunda leitura é para os aspectos técnicos e históricos e, a terceira, para a trajetória de uso - ou não - do instrumento. Apresento essas leituras nas Seções II, III e IV. Na Seção V, discuto o que pode vir a ser considerado como uma quarta leitura. Finalmente, apresento na Seção VI os meus comentários finais a respeito da experiência de leitura do objeto, das pesquisas e reflexões por ela motivadas.

II. Primeiro olhar sobre o objeto: minha trajetória profissional

Ao observar o objeto na sala de leitura é inevitável uma sensação de familiaridade. Isto porque iniciei na astronomia trabalhando com um círculo meridiano: o instrumento instalado no Observatório Abrahão de Moraes, em Valinhos (SP), pertencente ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (OAM/IAG/USP).

O OAM foi inaugurado em 1972 (MARQUES DOS SANTOS, 2005, p. 163), marcando o início das operações do círculo meridiano Askania-Zeiss de 0.19cm de abertura e 2.6m de distância focal. As observações eram realizadas a olho nu até que, no final da década de 1980, foi demonstrado o funcionamento de detectores CCD[25] no círculo meridiano do Observatório Naval dos Estados Unidos, instalado na estação de Flagstaff - Arizona (STONE; MONET 1990). A partir daquela experiência, e em uma colaboração entre França e Brasil, foi dado início ao processo de modernização dos círculos meridianos de Bordeaux e Valinhos. Em particular, a câmara CCD especialmente desenvolvida chegou ao Brasil em maio de 1995 (VIATEAU et al., 1999, p. 173) para um processo de instalação e comissionamento que, naturalmente, consumiu vários meses de trabalho.

Naquele mesmo ano eu terminava o meu bacharelado em Física no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF/USP). Pretendia fazer mestrado em física de plasmas, área na qual fiz iniciação científica desde o primeiro ano da graduação. Em particular, decidi desenvolver a pesquisa do mestrado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, São José dos Campos, SP) porque lá estava sendo construído um instrumento que me interessava: o Tokamak[26] Esférico (Experimento Tokamak Esférico, ETE), mas tinha preferência por fazer o curso no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA, São José dos Campos, SP). Porém, como precisava esperar seis meses para submeter a candidatura para os referidos programas de pós-graduação, fui ao IAG/USP procurar ao menos uma atividade temporária. Recebi então o convite para trabalhar como

[25]Dispositivo de carga acoplada (*Charge-coupled device*); são detectores baseados em semicondutores que transformam a luz incidente em carga elétrica com alta linearidade e eficiência.

[26] Tokamak é um tipo de reator onde o plasma a altas temperaturas é mantido confinado por campos magnéticos. O objetivo é criar condições para que ocorra a fusão de átomos de hidrogênio (deutério e trítio), reação que geraria energia do mesmo modo como ocorre no interior das estrelas.

observadora voluntária em um projeto novo, que ia usar um instrumento recém reformado na França. Era o Círculo Meridiano de Valinhos (Figura 3). Sem nunca ter feito nenhum curso de astronomia antes e sem entender bem a proposta, aceitei. Depois de seis meses, e já devidamente aceita para fazer a pós-graduação em Física de Plasmas no ITA, eu me decidi pela Astronomia no IAG, área que jamais havia considerado durante os anos de graduação. Literalmente, mudei de área (e, consequentemente, de percurso de vida) influenciada pelo primeiro contato com um círculo meridiano.

Figura 3: Círculo Meridiano do Observatório Abrahão de Moraes (OAM/IAG/USP), instalado em Valinhos (SP). Crédito da imagem: TEIXEIRA et al. (2015).

A atualização feita na França do círculo meridiano de Valinhos consistiu basicamente na instalação de um CCD Thompson de 512 x 512 pixels trabalhando em modo *drift scanning*[27]. Assim, tive a oportunidade de colaborar com o processo de implantação do equipamento, testes, manutenção, dos programas de observação e redução de dados e do gerenciamento dos projetos científicos. Principalmente, trabalhei na adequação dos procedimentos de observação e análise de dados para a utilização do instrumento em

[27] Neste modo de operação, as cargas elétricas geradas pela luz incidente caminham pela estrutura eletrônica do CCD com a mesma velocidade de passagem do campo estelar. No modo de operação mais usual de CCDs, as cargas são acumuladas na mesma posição do detector pela quantidade de tempo especificada pelo usuário, e descarregadas ao final da exposição.

trabalhos voltados à fotometria[28], como era o caso do meu projeto de Mestrado. Como já pode ser percebido por tudo o que foi colocado desde o início deste texto, esta é uma aplicação não usual de instrumentos deste tipo.

O objetivo do meu trabalho era descobrir estrelas variáveis na direção do centro da Galáxias, que pudessem ser utilizadas em outros estudos, e construir uma base de dados para a procura de eventos de microlentes gravitacionais[29]. A utilização do círculo meridiano era conveniente pois as observações poderiam ser realizadas todas as noites durante o período do ano em que o bojo da Galáxia é acessível. Essa disponibilidade de tempo de observação é quase impensável para os telescópios refletores usados nas pesquisas em astrofísica, principalmente considerando o pouco acesso a instrumentos que a comunidade astronômica brasileira tinha naquela época (final do século XX). Realizamos a monitoria fotométrica de mais de 120 mil estrelas (DOMINICI et al., 1999b), entre as quais 479 se mostraram variáveis dentro do limite de amplitude e escalas de tempo impostas pelo instrumento, sendo mais de 97% daquelas estrelas desconhecidas até então. Também utilizei dados obtidos com o Círculo Meridiano para a minha tese de doutorado, desta vez estudando a variação de brilho de blazares[30] em diversas escalas de tempo (DOMINICI et al., 2004).

Um dia típico de observação em Valinhos se iniciava no fim da tarde com a abertura do teto e das portas laterais, que davam acesso às miras utilizadas para colimar a luneta na época das observações visuais. Além disso, abria-se a da tampa da luneta. Assim, permitia-se a termalização do prédio do círculo meridiano com o ambiente externo. Em seguida, era iniciado o resfriamento da câmara CCD, realizado em diferentes estágios até alcançar a temperatura de trabalho, de -40ºC. Eventualmente, durante o dia eu refazia o vácuo da câmara, utilizando uma bomba de vácuo emprestada pelo Instituto de Física da USP. As observações eram realizadas no chamado "modo fila", no qual uma série de projetos diferentes é observada em uma dada noite. Com o tempo, eu já deixava

[28] Fotometria é a técnica através da qual é medida a densidade de fluxo de radiação eletromagnética e um dado intervalo de frequências emitida por um objeto celeste em uma dada época.
[29] O efeito de microlente gravitacional ocorre quando um objeto escuro e massivo se aproxima da linha de visada de uma estrela. provocando a formação de duas imagens da estrela-fonte pela deflexão gravitacional da luz. Como essas imagens não podem ser resolvidas, o que observamos é uma amplificação característica do brilho da estrela-fonte.
[30] Blazares são uma classe de núcleo ativo de galáxias (AGN). Os AGNs são compostos basicamente por um buraco negro supermassivo e um disco de acréscimo. Como resultado do acréscimo de matéria pelo buraco negro, é gerado um jato perpendicular ao disco que emite partículas a velocidades relativísticas. No caso dos blazares, este jato estaria alinhado com a nossa linha de visada. BL Lacs são um tipo de blazar que não apresenta nenhuma linha espectral, só se observa a emissão do contínuo.

o planejamento feito para todos os dias, com opções de lista de campos de observação para noites com o céu totalmente aberto e para quando havia passagem de nuvens. Quando anoitecia, as coordenadas do primeiro campo eram colocadas no programa de observação, que retornava o ângulo no qual o telescópio deveria ser posicionado manualmente. Uma câmera na escala enviava a imagem para um precário monitor de fósforo verde, por onde era verificado o posicionamento. Ao colocar a luneta na posição necessária, o sistema era travado, o obturador da câmara aberto e as observações eram iniciadas. Assim era feito ao longo de toda a noite para a lista de campos a serem observados. Havia um termômetro no pavilhão para registro da temperatura ambiente e o horário das observações era acertado por um GPS. Nos primeiros tempos, não havia sala de controle e o observador ficava no tempo, junto ao círculo meridiano, com a tela do computador desligada ou no menor brilho possível para não interferir nas observações (e minimizar a atração de insetos). Depois de alguns meses foi construído um anexo, onde o observador podia passar as noites trabalhando com um pouco mais de conforto. No final da noite, o teto e as portas do pavilhão eram fechados, o CCD era lentamente levado a temperatura ambiente, fechava-se a tampa da luneta e o instrumento era colocado na sua posição de descanso, apontando para o zênite.

A utilização do círculo meridiano para pesquisas em astrofísica, como foi o meu caso, não muda o fato de que este instrumento foi concebido e otimizado para medir posições de objetos celestes com a melhor precisão possível para a sua época. A estabilidade óptica do refrator e a estabilidade mecânica proporcionada pelo movimento em um só eixo são os principais fatores a assegurar a acurácia das medidas. Os círculos meridianos foram as ferramentas mais fundamentais da astrometria por cerca de três séculos e sua história está intimamente ligada com o desenvolvimento dos catálogos de referência astrométrica.

O astrônomo dinamarquês Erik Høg têm realizado ao longo dos anos um importante trabalho de revisão que permite entender a evolução destes catálogos (HØG, 2009, 2017a,b). Na Figura 4, extraída de HØG (2017a), é mostrada o progresso na precisão das medidas de posições de estrelas nos últimos dois mil anos. Podemos ver que o aumento de precisão é quase gradual por cerca de 1700 anos, mas há uma melhoria significativa decorrente do início da utilização dos círculos meridianos (com Ole Rømer) e um grande salto resultante do advento da astrometria espacial (missão Hipparcos). Como coloca Høg (2017b), um salto significa um enorme melhoramento em um tempo

curto como resultado de grandes investimentos em recursos materiais e esforços intelectuais (HØG, 2017b, p. 1)[31]. Podemos avaliar o avanço da astronomia de posição considerando alguns destes catálogos revolucionários: enquanto o de Tycho Brahe (1598) possui 1004 estrelas com posições medidas a uma precisão de 1 minuto de arco, o Hipparcos (1997) tem 118218 estrelas com medidas de 0.001 segundos de arco. A qualidade das observações de Ole Rømer com seu círculo meridiano impressiona. O catálogo, publicado em torno de 1735, possui medidas de posição de 88 estrelas com precisão de 4 segundos de arco. Uma comparação completa de catálogos astrométricos ao longo dos séculos pode ser vista na Tabela 1 de Høg (2017b).

A evolução da área também pode ser vista no caso da minha experiência com o Círculo Meridiano de Valinhos: no início trabalhávamos com o catálogo PPM (*Positions and Proper Motions*), que possui medidas de posição para 378910 estrelas. Pouco tempo depois, tivemos acesso privilegiado ao Tycho-2 (que só seria disponibilizado publicamente em 1997, HØG et al., 1997), contendo 2.5 milhões de estrelas[32].

Neste momento (2018) estamos vivendo um outro salto na evolução das medidas astrométricas; a segunda liberação de dados do Gaia para a comunidade científica mundial foi realizada no dia 25 de abril de 2018 e inclui a posição e magnitude de cerca de 1.7 bilhões de estrelas; paralaxes, movimentos próprios e cores de mais de 1.3 bilhões de estrelas. O Gaia é uma missão espacial da Agência Espacial Européia (*European Space Agency*, ESA) que foi lançada em 2013 com o objetivo de fornecer posições de milhões de estrelas com precisão sem precedentes, como já aponta a Figura 4. A precisão astrométrica chega aos microsegundos de arco para estrelas até cerca de magnitude 15[33]. Os dados obtidos pela missão espacial demorarão décadas para serem analisados e devem ter profundo impacto no nosso conhecimento acerca da estrutura da galáxia, da evolução e estrutura estelar, entre outros temas.

---

[31] Foi assim em períodos distintos da história, como no século XVI com Tycho Brahe, que recebeu investimento do Rei Frederico II da Dinamarca para construir seu observatório, e com a missão espacial Hipparcos (da Agência Espacial Européia, ESA) - idealizada pelo próprio Erik HØg - no final do século XX.

[32] A missão espacial Hipparcos, cujas operações foram de 1989 a 1993, continha na verdade dois instrumentos, o Hipparcos e o Tycho. No primeiro caso, o objetivo era a obtenção de dados de mais de 100 mil estrelas com precisão astrométrica em torno de 1 milisegundo de arco. O Tycho implicou na obtenção de medidas de posição para as já citadas 2.5 milhões de estrelas com precisão entre 7 e 25 milisegundos de arco.

[33]Magnitude é a grandeza utilizada pela astronomia para medir o brilho dos objetos celestes. Quanto maior o valor da magnitude, mas fraco é o brilho. Além de invertida, a escala de magnitudes é logarítmica, e a diferença de uma unidade representa um fator de 100 no fluxo de energia.

É preciso lembrar que os catálogos oferecem as posições para uma dada época. No momento da observação de uma dada estrela de um dado catálogo é preciso corrigir as posições por movimentos como a precessão e a nutação do eixo de rotação da Terra, no que podemos chamar de "precessão ao dia". Estas próprias componentes de movimentos terrestres foram estudadas ao longo dos séculos através de instrumentos como o círculo meridiano, aplicando modelos matemáticos aos pequenos desvios de posição em estrelas brilhantes, sistematicamente observadas em escalas longas de tempo. Atualmente as correções dos movimentos da Terra podem ser determinadas com muita precisão por medidas de VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) geodésico. Neste caso, são realizadas observações de quasares[34] com radiotelescópios espalhados por várias partes do planeta. Como os quasares são fontes extragalácticas que estão entre os objetos mais distantes conhecidos no Universo, podemos considerar que suas posições constituem um sistema fixo. Os dados dos diferentes radiotelescópios são combinados de modo a alcançar a alta resolução espacial necessária.

O círculo meridiano permite que sejam obtidas posições absolutas dos corpos celestes, como descrito na Introdução. No entanto, também podem ser feitas medidas diferenciais, ou seja, as posições de estrelas são calculadas em relação às outras com posições bem determinadas em catálogos como os citados acima, que então podem ser chamados de primários. Quanto mais populoso for o seu catálogo de estrelas de referência, mais precisa será a sua medida de posição, desde que o catálogo em si não possua erros internos excessivos. É possível que em um dado campo de interesse não existam estrelas pertencentes ao catálogo primário, ou que a quantidade de estrelas seja insuficiente para o seu objetivo. Neste caso podemos criar catálogos secundários, tendo por base os primários. Este foi um dos trabalhos que realizamos no Círculo Meridiano de Valinhos, a extensão do catálogo Tycho-2 para janelas de baixa extinção na direção do bojo galáctico (DOMINICI et al., 1999a).

Porém, o instrumento que estava exposto na Sala de Leitura, diferentemente do Círculo Meridiano de Valinhos, é um círculo meridiano portátil com medidas visuais. Ou seja, é um instrumento feito para observações em campo, como expedições para demarcação de fronteiras. Neste contexto, em que o principal objetivo era estabelecer as coordenadas geográficas, estrelas brilhantes de algum catálogo primário deviam ser

[34] Quasares são outra classe de Núcleo Ativo de Galáxias (AGNs).

selecionadas e as coordenadas eram precessionadas ao dia para localizar os objetos no campo de visada do instrumento e, finalmente, o horário da passagem meridiana era então registrado. De modo geral, minha experiência de operação do círculo meridiano de Valinhos não é tão facilmente comparável com o que deveria ser o uso de um instrumento como o que está aqui sujeito à leitura, e este é um tópico que discutiremos mais a frente neste texto.

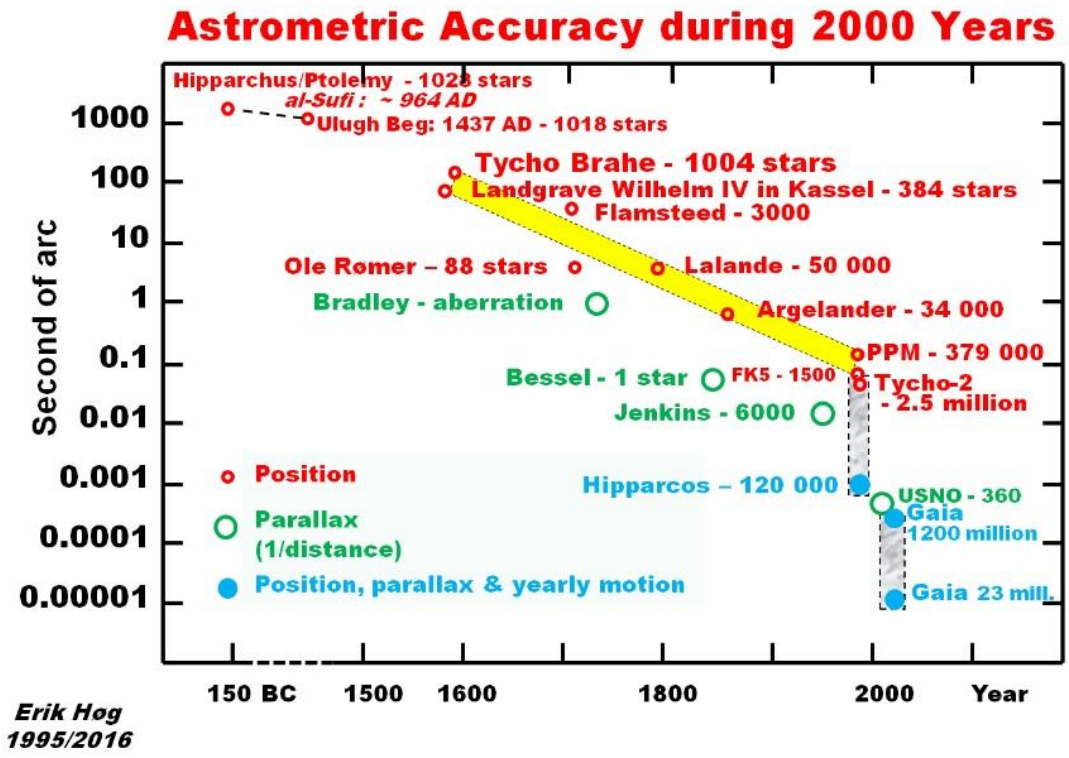


Figura 4: Evolução da precisão na medida de posições estelares ao longo do tempo. Imagem extraída de HØG (2017a).

III. Segunda leitura: aspectos técnicos e históricos

A minha segunda camada de leitura do objeto refere-se aos seus aspectos técnicos e históricos. Como pesquisadora lotada no Núcleo de Documentação e Conservação do Acervo Museológico do MAST(NUDCAM), tenho acesso aos dados e à documentação sobre ele disponível na base de dados do acervo museológico. Deste modo, logo descubro que o objeto que estava exposto estava registrado como Círculo Meridiano Portátil 1993/0028, cuja produção, que teria sido realizada em 1856, foi associada a Jean Brunner. O instrumento já estaria no então Observatório Imperial em 1882, embora não tenha sido

encontrada referência para este dado. Segundo artigo de Paolo Brenni (1996), Brunner abriu a sua própria oficina em 1830, em Paris (BRENNI, 1996, p.3). Após o seu falecimento, em 1862, seus filhos Émile e Léon assumiram a empresa, cujo nome foi modificado para Brunner Fréres, que perdurou produzindo instrumentos considerados de alta qualidade até 1895.

A ficha do objeto na base de dados digital também diz que ele foi utilizado na comissão de demarcação de fronteiras entre Brasil e Argentina, entre outras expedições. Mas a informação não está referenciada e nem foi encontrado até o momento nenhum documento que comprove o dado. As informações de que o instrumento foi produzido por Jean Brunner em 1856, já estaria no Brasil em 1882 e participou de expedições de demarcação estão na primeira ficha de registro deste objeto[35], presente no momento da criação do MAST em 1985, e nelas também não há qualquer indicação de fonte; os dados foram apenas transcritos da ficha manuscrita para a base digital.

Mourão (1987), por sua vez, diz que o círculo meridiano portátil foi uma proposta originalmente desenvolvida por Brunner, que teria construído dois modelos distintos em 1849 e 1856 (MOURÃO, 1987, p. 174). Também não existe indicação da fonte a partir da qual esta informação teria sido obtida.

O MAST possui em seu acervo um segundo Círculo Meridiano portátil atribuído a Jean Brunner (1993/0029) que, em uma análise visual, difere-se significantemente daquele que foi exposto na Sala de Leitura (Figura 5). Neste segundo caso, a base de dados do acervo museológico indicava a existência de uma inscrição no círculo graduado. Deste modo, deduzi que o 1993/0028 também deveria ter uma inscrição semelhante.

E de fato há. Na Figura 6 podemos comparar as inscrições em ambos os instrumentos e verificar que está escrito "*Brunner F^{res} á Paris*". Ou seja, os dois instrumentos são dos irmãos Fréres (*Brunner Fréres*) e não de Jean Brunner[36]. Portanto, foram fabricados após 1862. Além disso, no caso do objeto 1993/0028, também há a inscrição "Nº 1", que discutiremos mais adiante no texto.

[35] A ficha faz parte do dossiê do objeto, elaborado no contexto do projeto "Memória da Astronomia e Ciências Afins (ON/CNPq)" e é anterior a criação do MAST.
[36] As informações sobre o fabricante, além de outros dados descobertos ao longo desta breve pesquisa, já foram alteradas, incluídos ou excluídos - conforme o caso -, na base de dados do acervo museológico do MAST.

Figura 5: À esquerda, o círculo meridiano portátil que foi exposto na Sala de Leitura (1993/0028), então associado a Jean Brunner. À direita, o segundo círculo meridiano portátil do acervo do MAST associado ao mesmo construtor (1993/0029). Seriam os dois modelos distintos produzidos por Brunner conforme foi colocado por MOURÃO (1987, p.174)? Crédito das imagens: NUDCAM/MAST.

Figura 6: Na imagem acima, inscrição no círculo graduado do círculo meridiano portátil 1993/0029, que era associado à Jean Brunner. Podemos ler "*Brunner F^res^ á Paris*". Abaixo, inscrição encontrada em posição semelhante no círculo meridiano 1993/0028. Deste modo, verifica-se que ambos foram fabricados por Brunner Fréres. Crédito das imagens: Tânia Dominici (MAST/MCTIC).

Granato e Miranda (2011), em pesquisa a respeito de um dos teodolitos Brunner Fréres do acervo do MAST, apontam que o Observatório emprestava rotineiramente instrumentos a outras repartições e instituições desde a época do Império, quase que funcionando como um depósito de equipamentos para este fim (GRANATO; MIRANDA, 2011, p. 288). Sobre as evidências de utilização dos instrumentos deste fabricante em particular, os autores colocam:

> Leituras de exemplares da Revista do Observatório Nacional permitiram identificar duas citações de trabalhos realizados com instrumentos fabricados por Brunner. Em 1890, fala-se de um círculo meridiano de Brunner (de n. 2), usado para medição das passagens meridianas em cada estação da E. F. Central do Brasil. Também em Posição (sic) geográfica de Queluz e Ouro Preto, trabalho de Henrique Morize publicado na Revista em 1906, fala-se do uso dos velhos círculos portáteis de Brunner na expedição para demarcar a posição geográfica dessas cidades. Documentos do arquivo Lélio Gama fazem referência à utilização de instrumento Brunner no Serviço de Latitude (estudos dos níveis), mas não especificam qual o objeto utilizado (GRANATO; MIRANDA, 2011, p. 288).

Ou seja, há registro do uso de círculos meridianos portáteis para medida de posições geográficas no país até o início do século XX, mas ainda não foram encontradas evidências documentais, além do comentário na primeira ficha de registro, de que especificamente o círculo meridiano portátil 1993/0028 tenha sido utilizado em alguma missão em particular

Na Figura 7 podemos ver o instrumento enquanto exposto na Sala de Leitura de Objetos, com algumas de suas partes em destaque. Como já foi dito, o círculo meridiano é basicamente uma luneta que se movimenta apenas na direção vertical. O nivelamento grosso é feito através de parafusos junto à base (em forma de tripé) e verificado através do nível de bolha localizado lateralmente, junto ao eixo de rotação. Creio eu que, por construção e sendo um instrumento pensado para atividades em campo nos mais diferentes terrenos, este nivelamento seja suficiente para garantir a realização de medidas com a precisão necessária para as suas aplicações. A posição do instrumento, que indica a altura do objeto celeste que está sendo observado, é lida no círculo graduado com o auxílio de microscópio e de uma fonte de iluminação. Do lado oposto ao círculo graduado está o contrapeso e a trava do movimento da luneta.

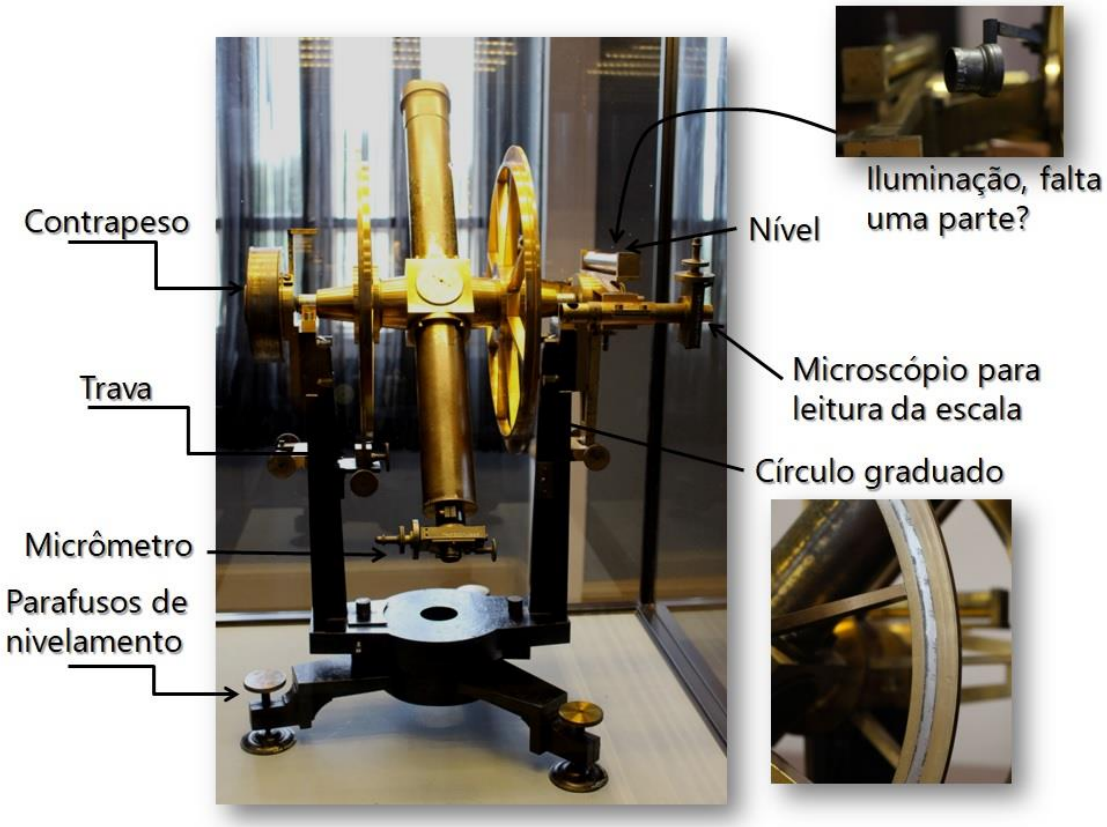


Figura 7: O Círculo Meridiano portátil (1993/0028) exposto na Sala de Leitura de Objetos do MAST. Algumas de suas partes estão em destaque. Crédito das imagens: Tânia Dominici (MAST/MCTIC).

A observação astronômica é visual e feita através do micrômetro, posicionado no plano focal da objetiva. O instrumento pode ser invertido horizontalmente, o que é feito pouco antes da passagem meridiana do objeto a fim de tentar eliminar erros de colimação da óptica. Este é um dos procedimentos da operação que me impressiona particularmente: o observador localizava a estrela de interesse e, com ela no campo de visada do instrumento, invertia o instrumento pouco antes da passagem meridiana. Penso que isso devia ser feito utilizando pontos de referência pré-determinados no micrômetro e precisava de uma boa referência de tempo. No entanto, imagino que o procedimento de inversão não fosse feito em campo, tanto pela indisponibilidade de pêndulas e cronógrafos com precisão que a justificasse quanto por conta da precisão não muito alta que devia ser suficiente para o cálculo da longitude.

Creio que aqui cabe um comentário sobre a expectativa da leitura do objeto de C&T quando feita por alguém que é considerado especialista na área. É comum as pessoas

pensarem que, por ser astrônoma, eu tenha conhecimento sobre o uso de todos instrumentos históricos relacionados, assim como domine sua operação. No entanto, embora frequentemente os conceitos, modelos e teorias sejam apresentados com alguma perspectiva histórica ao longo da formação profissional, o mesmo não ocorre com o ensino da parte observacional/experimental, cujo aprendizado acontece sobretudo na experiência de vivência com a pesquisa e, portanto, com equipamentos contemporâneos. Além disso, dada a superespecialização profissional que caracteriza nossa época, frequentemente os profissionais têm domínio de uma quantidade limitada de técnicas. Este cenário pode ser generalizado para todas as ciências afins à astronomia. Porém, existe um dado peculiar em relação a esta área científica: o trabalho que era realizado no Observatório Nacional e em instituições similares mundo afora até o início do século XX não era de pesquisa científica e sim majoritariamente de prestação de serviços, particularmente a determinação da hora, localização geográfica e refinamento de posições e constantes astronômicas relativas aos movimentos da Terra. No meu caso em particular, é uma coincidência bastante interessante que eu tenha tido a experiência de fazer pesquisa com um círculo meridiano. E comecei na astrofísica com um tipo de instrumento historicamente desenvolvido quando o estudo dos processos físicos nos objetos celestes não era a principal questão da astronomia.

Para fins de documentação museológica, são realizadas medidas físicas dos objetos a serem utilizadas no acondicionamento de guarda e de transporte. Do ponto de vista do astrônomo, informações outras como o diâmetro da lente e distância focal do instrumento ajudariam a estimar mais adequadamente quais eram as capacidades daquela luneta. No entanto, a princípio este tipo de dado foge ao escopo do registro de objetos museológicos.

Ainda segundo informações contidas na base de dados, o instrumento foi avaliado em R5.000$000 em 1900 e, pelos inventários do observatório em 1920, 1921 e 1922, seu valor passava a R400$000. Em uma estimativa grosseira, seria uma variação de cerca de R$ 33 mil a R$ 2.6 mil. É claro que esta atribuição de valor financeiro é referente ao instrumento enquanto em uso. A partir do momento em que ele é musealizado (e, no caso particular do MAST, tombado junto com o patrimônio arquitetônico do campus) a atribuição de valor financeiro perde o seu sentido. Quanto custa um objeto único, insubstituível enquanto testemunho material de práticas - construtivas e operacionais - relações sociais e econômicas de uma época?

Com base em todas as informações levantadas, o que podemos afirmar é, portanto, que o Círculo Meridiano Portátil 1993/0028 foi produzido pelos Irmãos Brunner em Paris, na segunda metade do século XIX, e faz parte do acervo museológico do MAST desde a sua criação, sendo proveniente do Observatório Nacional. Outras informações sobre a trajetória histórica do instrumento - inclusive do seu uso no Brasil antes de sua musealização - carecem de maior pesquisa, o que foge ao escopo deste texto. O MAST possui outros 16 instrumentos associados à oficina de Brunner Fréres em seu acervo, referentes às medidas e observações nas áreas de astronomia, geodésia e topografia, eletricidade e magnetismo (geofísica).

IV. Terceira leitura: a trajetória do instrumento

O meu terceiro olhar é para a trajetória do objeto, que pode ser estudada através de suas marcas físicas, sejam elas de construção, de uso ou acondicionamento. Neste sentido, posso basicamente levantar mais questões além daquelas já propostas na própria sala de leitura e nas referências que deram origem à metodologia de leitura de objetos que tem sido aplicada (e desenvolvida) no MAST. Assim, sobretudo levanto alguns caminhos para pesquisas mais aprofundadas sobre o instrumento em discussão.

Alguns outros detalhes do círculo meridiano portátil são mostrados na Figura 8. Chama a atenção a inscrição "Nº. 1" em um dos parafusos de nivelamento. Como vimos na seção anterior, a numeração também aparece no círculo graduado. O mais provável é ela indique que o instrumento foi o primeiro daquele modelo a ser construído pela empresa. São dois os caminhos para investigar esta hipótese, complementares entre si: buscar acesso a catálogos ou qualquer outro material de divulgação dos instrumentos e acessórios ofertados pelos irmãos Brunner e verificar em outros acervos de C&T da mesma época a existência de círculos meridianos do mesmo modelo. Na pesquisa preliminar feita para este texto não foram encontrados os referidos catálogos nos principais repositórios[37] e em buscas pela internet. A segunda frente de pesquisa esbarra no fato que nem mesmos grandes museus, como o *Science Museum* de Londres (Reino Unido), o *Conservatoire des Arts and Métiers* de Paris (França) ou *Smithsonian Institution* (EUA), possuem bases de dados para pesquisa pública com imagens de todos os objetos de suas coleções. A questão da nomenclatura também introduz dificuldades

[37]Disponível em: http://scientific-instrument-commission.org/online-catalogues. Acesso em abril de 2018.

adicionais: como discutimos anteriormente, o círculo meridiano portátil também pode ser chamado de instrumento de trânsito ou luneta meridiana. Deste modo, uma pesquisa mais aprofundada implicaria em contactar os responsáveis por coleções de mesma tipologia e cobertura temporal e questioná-los sobre a existência de instrumentos do mesmo modelo que o 1993/0028.

A tampa da luneta também já não está mais junto ao instrumento e, voltando à Figura 8, podemos verificar que a extremidade superior está amassada (imagem central). No contrapeso (Figura 8, imagem inferior), vemos uma série de riscos que poderiam ter sido causados tanto pelo transporte do instrumento para missões em campo quanto por um acondicionamento inadequado entre o período em que deixou de ser usado (se é que foi utilizado) e o momento em que se tornou parte do acervo do MAST. Uma parte do braço de iluminação do círculo meridiano parece estar faltando. Podemos especular neste sentido observando a Figura 9, onde é feita a comparação com o instrumento 1993/0027, outro círculo meridiano portátil fabricado por Brunner Fréres.

Na Figura 10 (imagem à esquerda) é possível ver que a lente objetiva da luneta não está instalada. O acervo do MAST possui dezenas de objetos nomeados "lente" e, mais especificamente "lente objetiva", que poderiam ser a parte perdida. Uma investigação neste sentido poderia ser empreendida. Analisando o instrumento, também é possível encontrar uma etiqueta, colada na base e colocada antes do tombamento da coleção. Podemos ter certeza disso pois se lê a numeração "84.08.034". O número do instrumento no tombamento é "84.08.26", enquanto que no sistema posteriormente adotado no MAST, já sabemos que ele é identificado como 1993/0028. Ou seja, foi o 28º instrumento a ser inventariado na coleção do MAST e seu registro aconteceu em 1993.

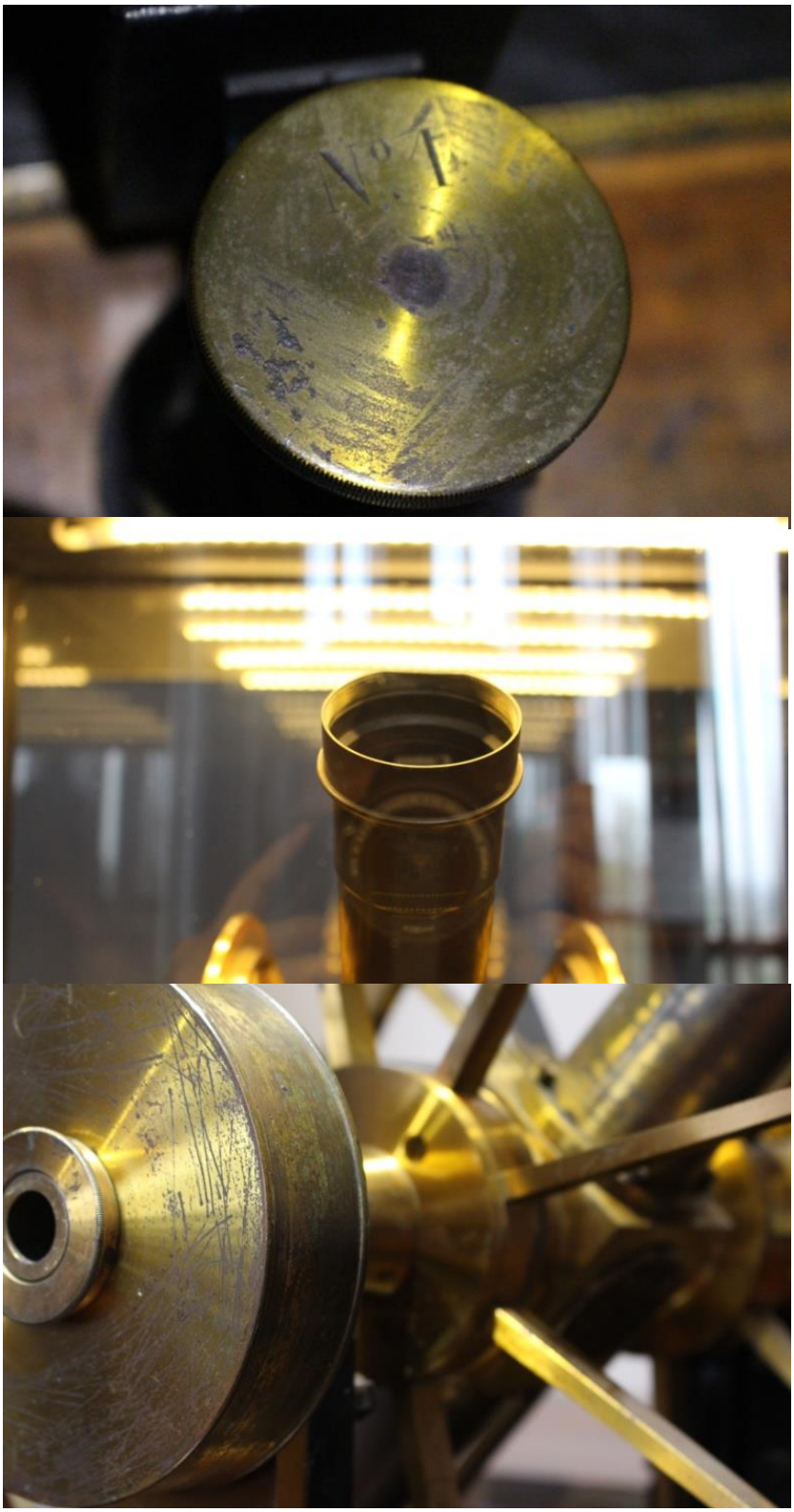


Figura 8: Imagens que mostram marcas no instrumento que podem tanto ser de uso quanto de acondicionamento inadequado. Crédito das imagens: Tânia Dominici (MAST/MCTIC).

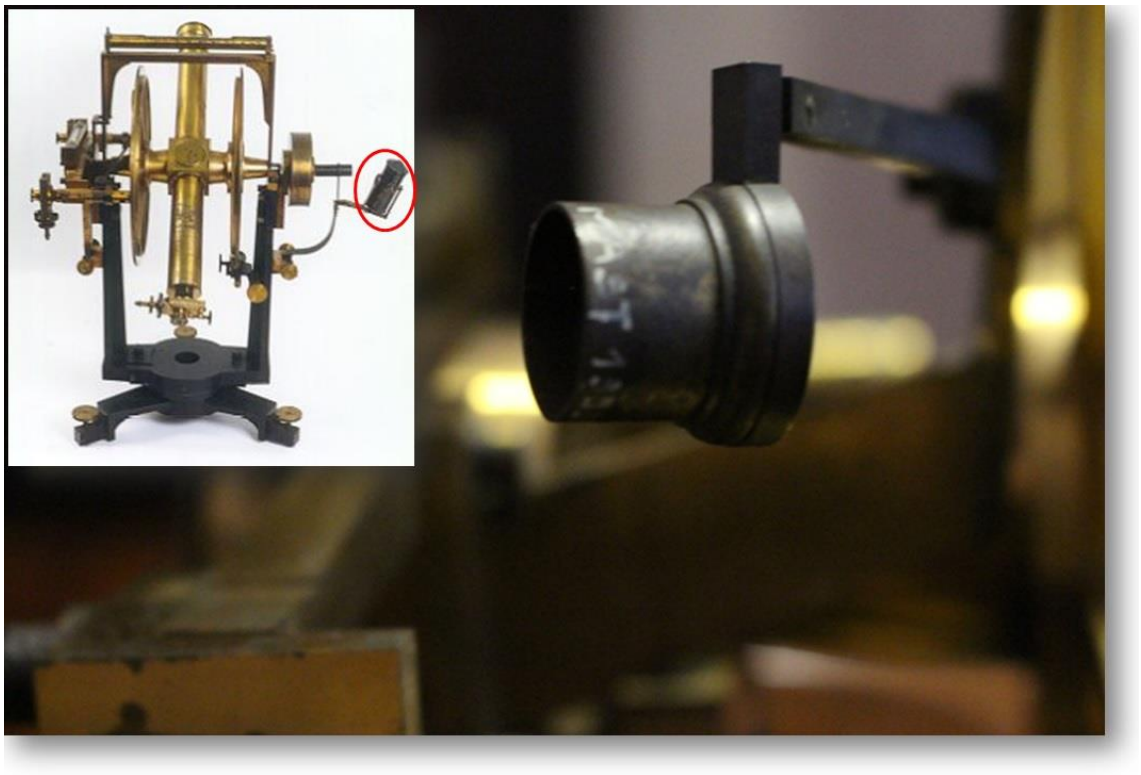


Figura 9: Comparação da fonte de iluminação do um Círculo Meridiano Brunner Frères 1993/0027 e aquele que é alvo desta leitura (1993/0028). Parece faltar alguma peça neste último caso. Crédito das imagens: Tânia Dominici (MAST/MCTIC).

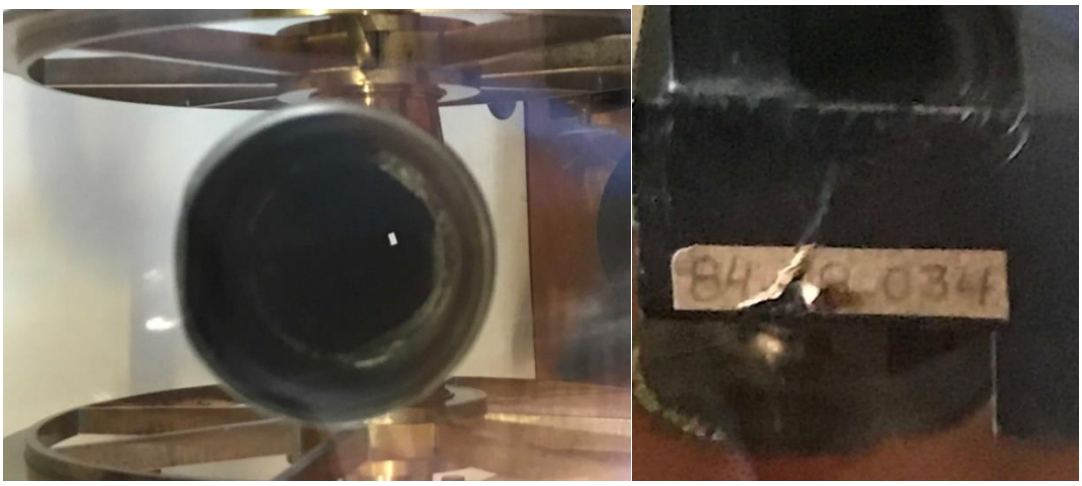


Figura 10: A imagem à esquerda mostra que a objetiva não está no instrumento. À direita, detalhe mostrando a numeração associada pelo MAST ao instrumento antes do tombamento do campus e das coleções. Crédito das imagens: Tânia Dominici (MAST/MCTIC).

A base de dados do acervo museológico do MAST também registra o percurso do instrumento após sua musealização. Verifica-se então que o único registro de que ele esteve exposto foi na própria Sala de Leitura, em 2017. Desde 1995, o Círculo Meridiano pode ser encontrado na sala 13 da reserva técnica aberta e visitável. O MAST é dos poucos museus no Brasil a aderir a este modelo de reserva técnica, que começou a se desenvolver no cenário internacional entre as décadas de 1960 e 1970 com o objetivo de democratizar o acesso às coleções. A reserva técnica aberta pretende dar ao visitante uma ideia sobre como o museu funciona em seus bastidores e demonstrar a dimensão e variedade do seu acervo. Para se ter uma ideia, neste momento (junho de 2018), considerando todas as exposições montadas no prédio sede e nos pavilhões do campus, menos de 6% dos objetos do acervo do MAST estão expostos ao público. É importante ressaltar que a reserva técnica aberta não é uma exposição, mas sim uma área técnica do museu. A exposição insere o objeto em um contexto, muitas vezes utilizando-o apenas como ilustração de um acontecimento ou ideia. Na reserva técnica aberta, o visitante pode ter contato com cada instrumento ou acessório em sua essência e de maneira autônoma, seguindo os seus próprios interesses para a apreciação e pesquisa da coleção. Ou seja, fazendo sua própria leitura. Também por isso há a pertinência de montar a Sala de Leitura de Objetos no mesmo corredor da reserva técnica visitável[38].

V. Uma quarta leitura?

Gostaria de levantar mais um ponto. Poderia dizer que é uma quarta leitura, mas é algo que se aplica não apenas ao círculo meridiano portátil 1993/0028. De maneira geral, vejo como uma falha grave no modo como estes instrumentos históricos - sobretudo de astronomia - são apresentados ao público. Toda vez que olho esses objetos, em particular aqueles construídos para observação visual (ou seja, sem placa fotográfica ou outros métodos de registro) penso na dificuldade que era para o observador se localizar, alinhar, apontar o instrumento e certificar-se de que o mesmo está na posição desejada. O fato é que instrumentos como o círculo meridiano portátil dos Irmãos Brunner não foram desenvolvidos para a utilização nas condições ambientais atualmente encontradas nas

[38] O MAST também possui uma segunda reserva técnica, fechada e devidamente climatizada, onde podem ficar acondicionados objetos mais sensíveis às variações de luminosidade e temperatura, além de instrumentos de maior porte que não caberiam nas salas da reserva técnica visitável. Os objetos acondicionados nas salas da reserva técnica aberta constituem cerca de 60% do atual acervo museológico da instituição.

cidades, onde vive a maioria da população. Assim, qualquer tentativa de reprodução de uma experiência histórica, no sentido "fazer como era feito na época" é questionável.

A deterioração do céu noturno é devida à poluição luminosa, provocada por qualquer fonte de iluminação artificial cuja luz incida em um local para o qual ela não foi planejada. É o caso da iluminação pública na maior parte do planeta, que direciona inutilmente cerca de 30% da luz emitida na direção do céu. No Brasil, 62.5% das pessoas não podem ver a Via Láctea da região onde habitam devido ao domo de luz artificial, segundo o levantamento mais recente (FALCHI et al., 2016, p. 14). O desaparecimento das estrelas é apenas a faceta mais visível da poluição luminosa, que tem impactos em todos os aspectos da vida no planeta. No meio ambiente, a iluminação artificial excessiva afeta os ciclos migratórios, alimentares e reprodutivos de diversas espécies de animais. A luz artificial altera o período de floração das plantas e, portanto, a produção de alimentos. Em humanos, é comprovado que a supressão da produção de melatonina - resultado do comprometimento do ciclo circadiano[39] devido à exposição à luz artificial - pode aumentar a incidência ou provocar a aceleração do desenvolvimento de alguns tipos de câncer. Casos de depressão, obesidade e diabetes também podem se estabelecer como resultado da quebra do ciclo circadiano.

A sistemática perda de contacto com o céu noturno acaba, portanto, por dificultar a compreensão sobre o uso do instrumento histórico. Por outro lado, tendo a consciência do problema crescente da poluição luminosa, a leitura e discussão do instrumento nos lembra o quão importante foi ter o acesso à luz das estrelas para alcançarmos o nível atual de desenvolvimento. Assim, sendo a poluição luminosa reversível no aspecto de recuperarmos a visão das estrelas[40], através do uso de luminárias e lâmpadas adequadas e adequadamente instaladas, apenas durante o período de tempo em que a luz for necessária, é possível imaginar um cenário no qual a exibição pública do instrumento seja um fator adicional a ajudar as pessoas a questionarem o uso excessivo da luz artificial e a negação da noite.

[39] O ciclo circadiano é o período de cerca de 24 horas no qual ocorrem os ciclos biológicos em todos os seres vivos.
[40] É claro que, em relação aos impactos na vida no planeta, há perdas irrecuperáveis.

Figura 11: Singela montagem - obviamente não em escala - sobre fotografia de José Francisco Salgado (josefrancisco.org[41]), colocando o nosso círculo meridiano em Chajnantor, o mesmo sítio onde está o rádio observatório ALMA, localizado a 5000 metros de altitude no norte do Chile. Um céu de excelência como o de Chajnantor é cada vez mais raro no planeta e o Círculo Meridiano Portátil dos Irmãos Brunner não foi feito para uso nos céus poluídos de luz das cidades contemporâneas.

Portanto, ao nos perguntarmos - como incita a Sala de Leitura de Objetos do MAST - como o instrumento era usado, deveria ser inevitável lembrar que nas regiões urbanas e seus arredores é muito difícil identificar as poucas estrelas no céu. Assim, o um instrumento como o Círculo Meridiano Portátil 1993/0028 teria sua eficiência bastante comprometida. Essa discussão mais uma vez prova que, enquanto objeto de museu, o 1993/0028 potencialmente oferece mais possibilidades de investigação e reflexão do que se fosse colocado em risco em qualquer tipo de manipulação que pretendesse pô-lo "em funcionamento". Esta discussão pode ser estendida para questionar as ações que envolvem o uso de telescópios históricos, até mesmo tombados, como a luneta de 21 cm sob a responsabilidade do MAST, em atividades pretensamente educacionais que, na

[41]Disponível em: https://www.eso.org/public/images/alma-jfs-2010-10/. Acesso em fevereiro de 2018.

verdade, alimentam um certo fetiche de reprodução de experiências históricas que - como mais uma vez ressalto aqui - são impossíveis.

VI. Comentários finais

Em 2003, a Pinacoteca do Estado de São Paulo recebeu uma grande retrospectiva da obra de Iberê Camargo (1914 - 1994). O trabalho do artista plástico causa-me extrema comoção, particularmente a suas últimas séries de pinturas. Elas revelam extrema angústia, o peso da vida e... a solidão, não por acaso o nome do derradeiro quadro. Preciso ressaltar que essa é a visão não de um profissional da arte, mas de uma admiradora do trabalho de Iberê, que através de sua percepção pessoal conecta-se com a produção desse artista. As obras das séries em questão foram produzidas após um trágico acontecimento na vida do pintor: em 1981, em uma briga de rua, ele matou um homem. Acabou sendo absolvido por legítima defesa, mas teve que enfrentar a repercussão negativa por parte da imprensa e, muito provavelmente, de pessoas dentro e fora de seu círculo social. Em sua "Gaveta dos Guardados", Iberê descreve o episódio (CAMARGO, 2009, p. 35) e, a respeito dele, coloca:

> Em 1981, no Rio, vem a provação da minha tragédia existencial. Exposto à flagelação pública por certos órgãos de imprensa, suportei, dia após dia, a insídia, a chacota, a injúria. Manipulava-se a notícia, distorcia-se o fato para estigmatizar-me perante a opinião pública. Transformaram-me no símbolo da violência, a mim, que a sofrera! (CAMARGO, 2009, p.137).

Naquela exposição de 2003, chamou a minha atenção que o acontecimento não foi colocado em lugar nenhum. Parecia que a mudança na temática das obras e prevalência de certas cores e personagens era uma opção puramente estética do artista, uma suave evolução de seu trabalho. Parei então no meio da exposição e fiquei observando as pessoas que olhavam aqueles quadros tão densos e senti que eles estavam sendo "traídos"[42] pela curadoria: um dado fundamental havia sido negado. Quem, diferentemente de mim, já não conhecesse o artista e um pouco de sua trajetória, não teria acesso a uma informação crucial para "ler" aquelas obras. Considerando que o próprio

[42] E coloco entre parênteses justamente porque a intenção não é em hipótese nenhuma desqualificar os trabalhos dos curadores, uma vez que estamos falando de exposições de alta relevância que muito emocionaram a autora do texto. A ideia é discutir os sempre presentes limites dos discursos nas exposições.

Iberê falava sobre o acontecimento, e este influenciou sua criação artística, por que o fato não era colocado na exposição[43]?

E por que estou contanto esta história tão pessoal em um texto sobre um instrumento científico? É que foi naquele momento que percebi claramente a não neutralidade dos museus e das exposições, o que nos remete à Sala de Leitura de Objetos do MAST.

O discurso do museu não é neutro e isso não quer dizer que ele é necessariamente mal-intencionado no sentido de pretender que o visitante venha aderir a uma dada posição. A impossibilidade da neutralidade pode acontecer por simples limitação de espaço físico ou por lacunas na pesquisa. Ou restrições orçamentárias. Ou pode mesmo ser um discurso ideológico em épocas de frágil ou ausente democracia, como aconteceu na exposição "Arte degenerada", promovida pela Alemanha nazista em Munique em 1937[44]. É por isso que o visitante deve fazer uma visita sempre crítica, e aproveitar ao máximo suas próprias experiências, conhecimentos prévios e percepções baseadas na observação dos acervos durante o seu percurso pelas salas dos museus. A Sala de Leitura oferece a possibilidade do despertar desta consciência, que inclui pontuar que, por trás da decisão pela compra ou construção/criação de um dado objeto - de C&T, no caso particular do MAST -, há toda uma rede de relações e de valores (não exclusivamente financeiros) que convergem para que em um dado momento aquele objeto venha a ser resignificado como objeto de museu.

O desconforto que a Sala de Leitura gerou em algumas pessoas é, em minha opinião, sua melhor característica: a dúvida, o desconhecimento, a motivação para o pensamento crítico e científico. Enfim, do ponto de vista mais pragmático, o que esteve exposto na sala de leitura de objetos do MAST entre 20 de junho e 1º de julho de 2017 foi o círculo meridiano portátil 1993/0028 construído pela empresa dos irmãos Brunner (Brunner Fréres), na França do século XIX. O instrumento tem marcas, que podem tanto ser reflexos do seu uso como do acondicionamento, ou ambos. Para mim, particularmente, a leitura do objeto resultou em uma revisão de carreira, da qual estou emergindo com

[43]Vale dizer que na retrospectiva no MAM Rio em 2014, "Um trágico nos trópicos", o assassinato também não constava dos textos e sequer da linha do tempo presente na exposição.
[44] Veja, por exemplo, o verbete "Arte degenerada", na enciclopédia do Itaú Cultural: http://enciclopedia.itaucultural.org.br/termo328/arte-degenerada. Acesso em junho de 2018.

muito mais motivação para fazer ciência e com muita convicção da pertinência de ser uma cientista que realiza suas pesquisas em um museu de C&T.

VII. Agradecimentos

Agradeço à Cláudia Penha dos Santos, pela oportunidade de vivenciar o desafio desta leitura, e por todas as discussões e indicações de dados e referências no decorrer de meus anos no MAST e, em particular, durante a preparação deste trabalho.

VIII. Bibliografia

CAMARGO, I. *Gaveta dos Guardados*. São Paulo. Cosac Naify, 2009. 144 p.

BRENNI, P. 19th Century French Scientific Instrument Makers: The Brunners and Paul Gautier. Bulletin of Scientific Instrument Society, London, n.49, p.38, 1996.

DOMINICI, T. P.; ABRAHAM, Z.; TEIXEIRA, R.; BENEVIDES-SOARES, P. Long-term optical variability of the blazars PKS 2005-489 and PKS 2155-304. *The Astronomical Journal*, [*S. l.*], v. 128, n. 1, p. 47-55, 2004.

DOMINICI, T. P.; TEIXEIRA, R.; HORVATH, J. E.; MEDINA TANCO, G. A.; BENEVIDES-SOARES, P. Stellar variability in low-extinction regions towards the Galactic Bulge. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, [*S. l.*], v. 139, p. 321-334, 1999a.

DOMINICI, T. P.; TEIXEIRA, R.; HORVATH, J. E.; MEDINA TANCO, G. A.; BENEVIDES-SOARES, P. Extension of TYCHO catalog for low-extinction windows in the galactic bulge *Astronomy and Astrophysics Supplement*, [*S. l.*], v.136, p. 261-267, 1999b.

FALCHI, F.; CINZANO, P.; DURISCOE, D.; KYBA, C. C. M.; ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K.; PORTNOV, B. A.; RYBNIKOVA, N. A.; FURGONI, R. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, [*S. l.*], v. 2, n. 6, p. 1-25, Jun. 2016.

GRANATO, M.; MIRANDA, L. R. M de. A restauração na trajetória de um teodolito do acervo do MAST. *Anais do Museu Paulista*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 279-312, jan./jun. 2011.

HØG, E.; BASSGEN, G.; BASTIAN, U. et al. The TYCHO catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, [*S. l.*], v. 323, p. L57-L60, 1997.

HØG, E. *Astrometric accuracy during the past 2000 years*. [*S. l.*: *s. n.*], 2017a. (Contribution to the history of astrometry, n. 7). arXiv:1707.01020 [astro-ph.IM].

2017a. Disponível em: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.01020.pdf. Acesso em: jun. 2018.

HØG, E. *Selected astrometric catalogues*. [*S. l.*: arXiv], 2017b arXiv:1706.08097 [astro-ph.IM]. Disponível em: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1706/1706.08097.pdf. Acesso em: jun. 2018.

HØG, E. Absolute Astrometry in the next 50 Years - II. *In*: REUNIÓN DE ASTRONOMÍA DINÁMICA EN LATINOAMÉRICA, 7, 2016. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, v. 50, p. 1-4, 2018. (Serie de Conferencias). Disponível em: https://www.astro.ku.dk/~erik/xx/Erik1.Hoeg.Invited.Abs.pdf. Acesso em: 19 jun. 2019.

KITCHIN, C.R. Astrophysical Techniques, 4º edição. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2003.

MARQUES DOS SANTOS, P. Instituto astronômico e geofísico: memória sobre sua formação e evolução. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

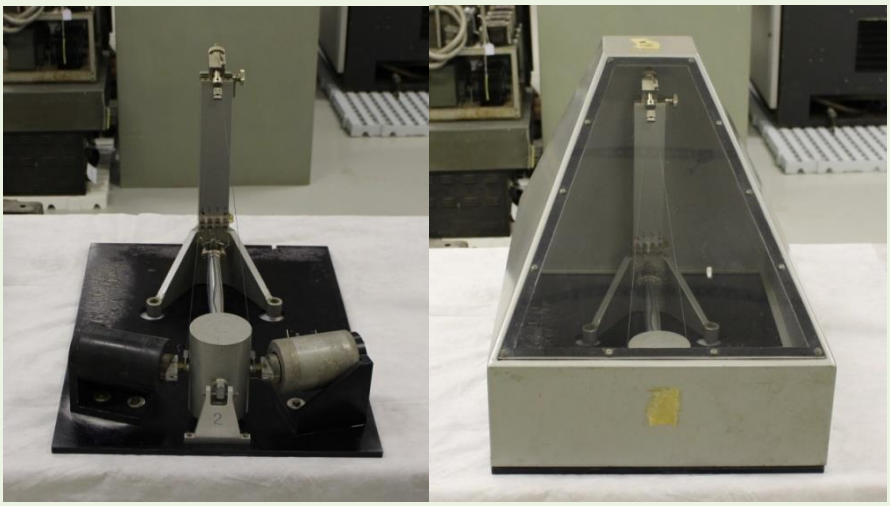
MOURÃO, R. R. de F. *Dicionário enciclopédico de Astronomia e Astronáutica*. Rio de Janeiro. Nova Fronteira, 1987.

NIELSEN, A. V. Ole Rømer and his Meridian Circle. *Vistas in Astronomy*, v. 10, n. 1, p. 105-112, 1968.

STONE, R.C.; MONET, D.G. The USNO Flagstaff Station CCD Transit Telescope and Star Positions Measured from Extragalactic Sources. *Inertial Coordinate System on the Sky*, p. 369-370, 1990.

TEIXEIRA, R.; COELHO, L.; SANTUCCI, R. M.; ARIZONO, E. C. Divulgação científica em Astronomia no Observatório Abrahão de Moraes. *Rev. Cult. e Ext. USP*, São Paulo, n. 14, p. 95-107, nov. 2015.

VIATEAU, B., RÉQUIÉME, Y., LE CAMPION, J.-F., et al.. The Bordeaux and Valinhos CCD meridian circles. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v.134, p. 173-186, 1999.



Sismômetro horizontal (2008/1916)
Fabricante: Lehner & Griffith; século XX

Nuvem de palavras constituída pela leitura feita pelos visitantes da Sala de Leitura de Objetos do MAST, durante o período de exposição do Sismômetro horizontal 2008/1916.

Terremotos e seus dispositivos de detecção

Jorge Luis de Souza

Nota biográfica

Jorge Luis de Souza é graduado em Física pela Faculdade de Humanidades Pedro II (FAHUPE, RJ – 1982). Em 1988, concluiu o mestrado em Geofísica no CNPq/ Observatório Nacional. Em 1997, concluiu o doutorado no CNPq/Observatório Nacional, após passar dois anos como bolsista sanduíche da CAPES no *Department of Earth and Atmospheric Sciences* da *Saint Louis University* (Saint Louis, MO – USA). Em 2000, ano da primeira edição do programa Jovem Cientista do Nosso Estado (promovido pela Fundação Carlos Chagas Filho de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ), o autor foi um dos dois pesquisadores da área de Geofísica no estado do Rio de Janeiro agraciados com os benefícios do programa. Atualmente é pesquisador titular do MCTIC/Observatório Nacional e coordenador do projeto "Monitoramento Sísmico e Geomagnético do Rio de Janeiro: Uma Proposta Científica e suas Implicações Sociais", aprovado em edital público pela FAPERJ (em 2007) e apoiado pelo MCTIC/Observatório Nacional.

I. Introdução

Os tremores de terra (que do grego *seismos* significa *terremoto* ou *evento sísmico* ou, simplesmente, *sismo*) juntamente com os furacões, tornados, vulcões e tempestades de areia, são alguns dos fenômenos naturais mais comuns e responsáveis por uma parte significativa dos chamados *desastres naturais* que afetam frequentemente a população do planeta Terra.

É importante ressaltar que, em geral, as vibrações geradas por terremotos (no interior da terra ou no *foco sísmico*) e sentidas na superfície do planeta não matam ou ferem diretamente o ser humano. De um modo geral, as pessoas morrem em decorrência dos desabamentos das construções produzidas pelo homem (casas, prédios, pontes, etc.), das explosões de instalações contendo materiais inflamáveis, assim como deslizamentos de encostas e outras situações. Um exemplo típico de desastre gerado por um terremoto é aquele mostrado na Figura 1, onde observam-se as ruínas de um prédio após um evento sísmico ocorrido na cidade do México em setembro de 1985. Na verdade, assim como o México, todos os países que se encontram sobre ou próximos às regiões de contato de placas tectônicas estão sujeitos aos grandes terremotos que são extremamente destrutivos (ou seja, tremores de terra com magnitude sísmica acima de 7.0 e profundidade focal rasa – menor que 50km). Em contrapartida, países localizados fora destas perigosas regiões não estão livres de fenômenos naturais desta natureza. Um caso típico é o território brasileiro, onde a maioria dos habitantes acredita que o país não tem terremotos.

Dados sísmicos sobre o território brasileiro, coletados por várias instituições brasileiras ao longo do tempo, mostram que o Brasil é afetado por eventos sísmicos e estes são, em geral, de baixa magnitude, mas com a eventual ocorrência de sismos com magnitude sísmica acima de 5.0 (Figura 2). Felizmente, segundo o mapa da Figura 2, um dos dois maiores sismos brasileiros ocorreu numa região desabitada e o outro no mar, a uma distância razoável da costa. Logo, considerando que as regiões desabitadas no país estão diminuindo progressivamente com o aumento da população, surge então a seguinte pergunta: Até quando vai a sorte do povo brasileiro? Acredito que tais informações deveriam ser interpretadas como alertas para a tomada de providências por parte das autoridades. Além disso, a divulgação periódica (a qual garante uma permanente atualização da atividade sísmica brasileira) da sismicidade brasileira deveria ser ampla e,

sobretudo, incluída nos livros didáticos para o fim definitivo da crença de que o Brasil está totalmente imune aos tremores de terra.

O objetivo deste artigo é mostrar como os terremotos são detectados, ou seja, o princípio físico dos equipamentos que captam e registram tais fenômenos naturais, assim como estas informações são usadas para a obtenção de parâmetros físicos e geométricos a respeito do interior da terra. Além disso, apresentar os instrumentos responsáveis pela geração de doze anos ininterruptos (ou seja, no período de 1977 à 1989) de registros sísmicos analógicos na estação RDJ (Rio De Janeiro), localizada no campus do Observatório Nacional em São Cristóvão - RJ, bem como os resultados científicos obtidos a partir desta base de dados histórica.

Figura 1: Operação de resgate num prédio completamente destruído após o terremoto de setembro de 1985 na cidade do México. Em consequência deste tremor de terra, 10.000 pessoas morreram na cidade (modificado de GROTZINGER et al., 2007).

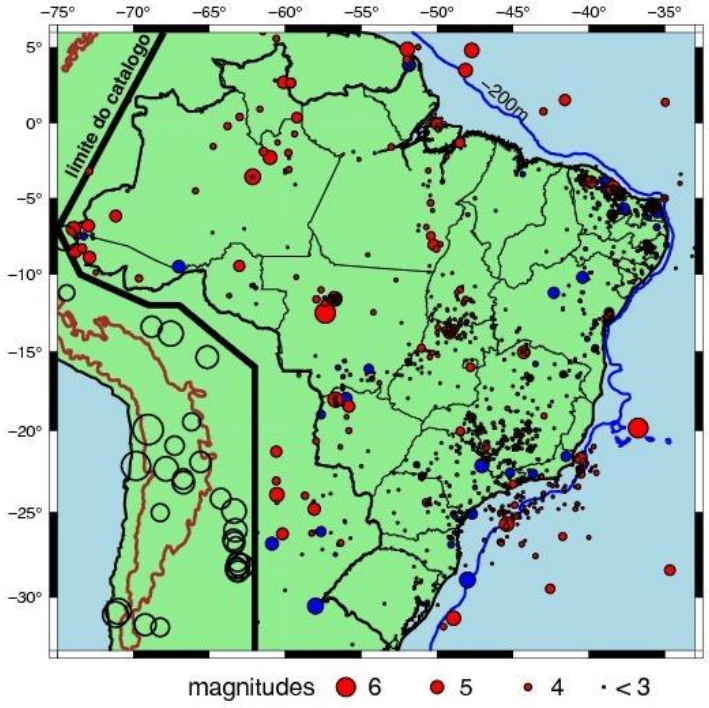


Figura 2: Atividade sísmica do território brasileiro no período de 1560 a 2012, registrada no catálogo sísmico brasileiro (http://www.moho.iag.usp.br/eq/bulletin/ - Centro de Sismologia da USP). Círculos vermelhos são eventos com magnitude Richter instrumental; círculos azuis são eventos mais antigos com magnitudes estimadas com dados macrossísmicos (área afetada ou intensidade máxima). Círculos vazios nos Andes são os sismos mais fortes sentidos no Brasil (geralmente nos andares superiores de prédios altos). Note que os dois eventos sísmicos de magnitude 6.0 na escala Richter (maiores círculos vermelhos) ocorrem, por sorte, em duas regiões desabitadas.

II. Como Ocorrem os Terremotos?

Do ponto de vista físico, um terremoto é definido como a liberação instantânea de energia sob a forma de *ondas mecânicas ou vibrações mecânicas ou ondas elásticas*. Em geral, o movimento de falhas geológicas é o mecanismo comumente usado para descrever a geração da maior parte dos terremotos ocorridos no planeta Terra (Figura 3). Outros mecanismos, tais como erupção vulcânica, desabamento de caverna, explosão subterrânea, testes nucleares, etc., também podem ser responsáveis por terremotos que vão desde microsismos (sismos de baixa magnitude) até tremores de grande magnitude como as explosões nucleares.

De acordo com a Figura 3a, uma falha geológica pode ser definida como uma fratura em repouso, num dado instante, entre dois grandes blocos de materiais

homogêneos (ou heterogêneos). Num instante posterior, considere a ação de forças externas (*tensão, compressão e cisalhamento, respectivamente*) neste sistema de modo que tais blocos possam se movimentar subitamente de acordo com as indicações das Figuras 3b-d. Estes modelos físicos explicam a grande maioria dos mecanismos de geração dos terremotos e, consequentemente, das forças envolvidas nos tremores de terra que ocorrem no planeta. Um exemplo de deslocamento cisalhante numa falha geológica (no caso, a falha de San Andreas – Califórnia, EUA) é aquele mostrado na Figura 4. Nesta, a cerca que delimita a propriedade na foto foi deslocada 3m após o grande terremoto de 1906. Aproveito a oportunidade para informar ao leitor que este evento sísmico, em particular, foi registrado pelo sismógrafo do Observatório Nacional, em operação na época, e a análise de seu registro (ou seja, os diferentes tipos de ondas observados) consta no Boletim Sismológico do Observatório Nacional (GAMA et al., 1946).

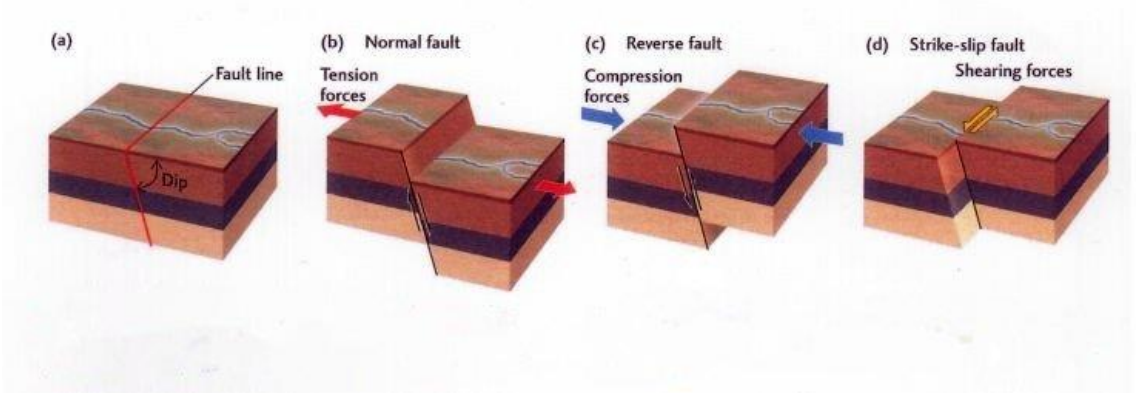


Figura 3: Diagrama mostrando três tipos de movimento de uma falha geológica (GROTZINGER et al., 2007). (a) A falha geológica totalmente em repouso, ou seja, sem esforços externos; (b) A falha geológica sob força de tensão (falha normal); (c) A falha geológica sob força de compressão (falha reversa); (d) A falha geológica sob força de cisalhamento (falha strike-slip e, neste caso, esquerda-lateral).

Figura 4: Foto do deslocamento lateral de 3m de uma cerca na região da falha de San Andreas (Califórnia – USA), durante o terremoto de 1906 em San Francisco (GROTZINGER al., 2007). Este tremor de terra foi registrado no Rio de Janeiro pelo sismógrafo do Observatório Nacional, em operação na época, e a análise de seu registro aparece no Boletim Sismológico do Observatório Nacional (GAMA et al., 1946).

III. Terremotos Geram Ondas Mecânicas ou Vibrações Mecânicas

Conforme definido na seção anterior, um terremoto produz *ondas mecânicas ou vibrações mecânicas ou ondas elásticas* e estas, sim, são as responsáveis por todos os transtornos e tragédias que ocorrem na superfície da Terra. Na região epicentral, ou seja, na superfície do planeta diretamente acima do *foco sísmico ou hipocentro* (onde acontecem os grandes deslocamentos do solo ou dos blocos apresentados na Figura 3, devido à liberação da energia total do sismo nas vizinhanças da falha geológica), estas ondas mecânicas são perigosas tanto para as construções produzidas pelo ser humano quanto para qualquer ser vivo. Em contrapartida, a grandes distâncias da região epicentral ou do foco sísmico, os deslocamentos do solo decaem consideravelmente (em consequência da atenuação da energia sísmica com o tempo e espaço) até se tornarem da ordem de microns (ou seja, da milésima parte do milímetro).

Vários tipos de ondas mecânicas são gerados quando da ocorrência de um tremor de terra. As mais usadas para as diferentes aplicações em Sismologia (ou seja, a ciência dos tremores de terra) são chamadas de *ondas de volume* e *ondas superficiais* (Figura 5). Cada tipo de vibração mecânica se propaga no meio elástico de uma forma particular, ou seja, ondas de volume se propagam através do interior do meio elástico enquanto ondas superficiais se propagam nas regiões próximas ao contato entre o meio elástico e o meio externo, o qual, comumente, é o ar ou a superfície do planeta. Conforme pode ser observado na Figura 5, estes tipos de ondas mecânicas produzem *movimentos verticais*, *horizontais* e *combinações de verticais com horizontais*. As ondas de volume do tipo P (Primária porque chega primeiro nos registros sísmicos) produzem movimentos de compressão e dilatação das partículas do meio elástico ao longo de suas trajetórias. Um exemplo clássico de onda do tipo P é a chamada onda sonora. As ondas de volume do tipo S (Secundária porque chega logo após as ondas P nos registros sísmicos) movimentam as partículas do meio elástico de forma perpendicular à direção de propagação e, neste caso, elas podem ser tanto verticais (ondas SV) quanto horizontais (ondas SH). Um caso clássico de combinação de movimentos verticais com horizontais acontece com as ondas superficiais do tipo Rayleigh. Estas ondas mecânicas são combinações de ondas SV com ondas P, as quais produzem um movimento elíptico retrógrado das partículas do meio elástico. O outro caso é aquele das ondas superficiais do tipo Love (ondas SH), onde as partículas do meio elástico se movimentam de forma puramente horizontal ao longo de suas trajetórias.

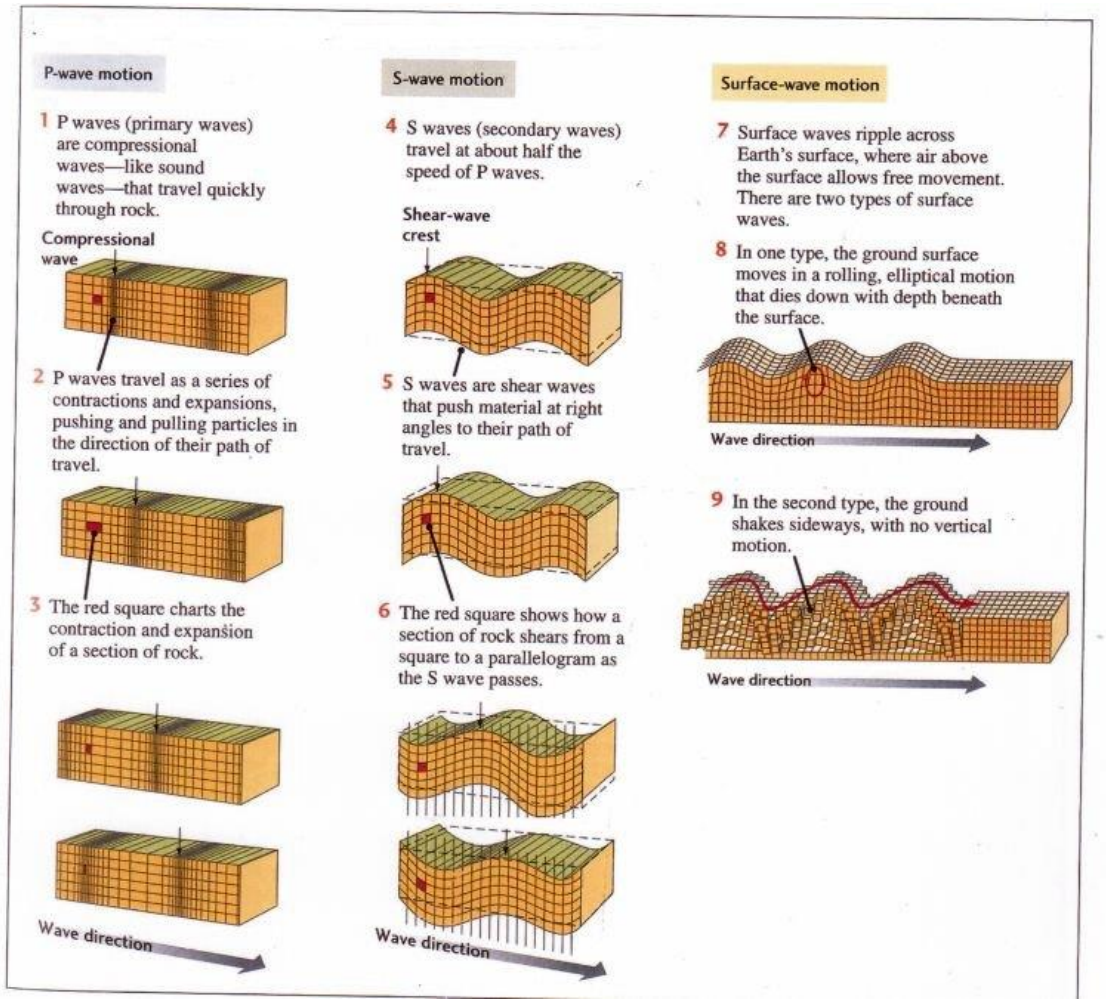


Figura 5: Vários tipos de ondas mecânicas são gerados quando da ocorrência de um tremor de terra (GROTZINGER et al., 2007). As mais comuns são as ondas P (itens 1-3), as ondas S (itens 4-6) e as ondas superficiais (itens 7-9). A onda P comprime e dilata as partículas do meio ao longo de sua propagação. A onda S faz as partículas do meio vibrar perpendicularmente à direção de propagação. A onda superficial Rayleigh (item 8) é uma combinação de onda P e onda SV (onda S vertical) e a onda superficial Love (item 9) é uma onda SH (onda S horizontal).

IV. Princípio Físico do Sensor Sísmico

A seção anterior descreveu os vários tipos de vibrações mecânicas geradas pelos movimentos das falhas geológicas e as diferentes formas de propagação da energia sísmica através de um meio elástico. A pergunta agora é a seguinte: como captar estes movimentos do solo, considerando que quando ocorre um terremoto tudo na superfície do planeta se movimenta? Em Física, a palavra *movimento* nos remete, imediatamente, ao conceito de *referencial*, pois o mesmo deve ser obrigatoriamente usado para as definições tanto de *movimento* quanto de *repouso*. Para o inventor de um detector de

vibrações mecânicas, o dispositivo físico que melhor se aproxima da condição descrita anteriormente é o *pêndulo simples*. No caso do tremor de terra, o *ponto fixo do pêndulo simples* deverá ser conectado ao *solo vibrante* de modo que a *massa (por inércia)* tenderá a ficar parada, tornando-se assim o *referencial desejado* para a descrição física do fenômeno sísmico. Na prática, este *sistema mecânico* deve ser visto como um *pêndulo simples invertido*, pois a massa ficará parada na posição de equilíbrio (*ponto fixo do pêndulo simples*) e o solo vibrante poderá se deslocar tanto na *vertical* (para cima e para baixo – *sensor vertical*) quanto na *horizontal* (direção Norte-Sul, direção Leste-Oeste ou qualquer outra direção particular – *sensor horizontal*), gerando assim os dois tipos de *sistemas mecânicos* responsáveis pela captação das vibrações mecânicas do solo (Figura 6). O grande problema na captação dos deslocamentos do solo nestes sistemas mecânicos, especialmente à grandes distâncias da fonte sísmica, é a pequena magnitude dos mesmos. No entanto, sabe-se que o deslocamento de uma bobina dentro de um campo magnético produz uma corrente elétrica proporcional a tal deslocamento (Lei de Lenz). Assim, uma bobina foi presa à massa do sistema mecânico de modo que a ela possa se deslocar livremente dentro de um imã e, portanto, produzir uma corrente elétrica a ser usada posteriormente. Baseado nos conceitos da eletrônica, a corrente elétrica gerada pelo sistema bobina-imã é, então, amplificada e registrada de forma analógica (em papel) ou digital (sequência numérica). Sendo assim, denomina-se *sismômetro* o transdutor que transforma vibração mecânica em corrente elétrica.

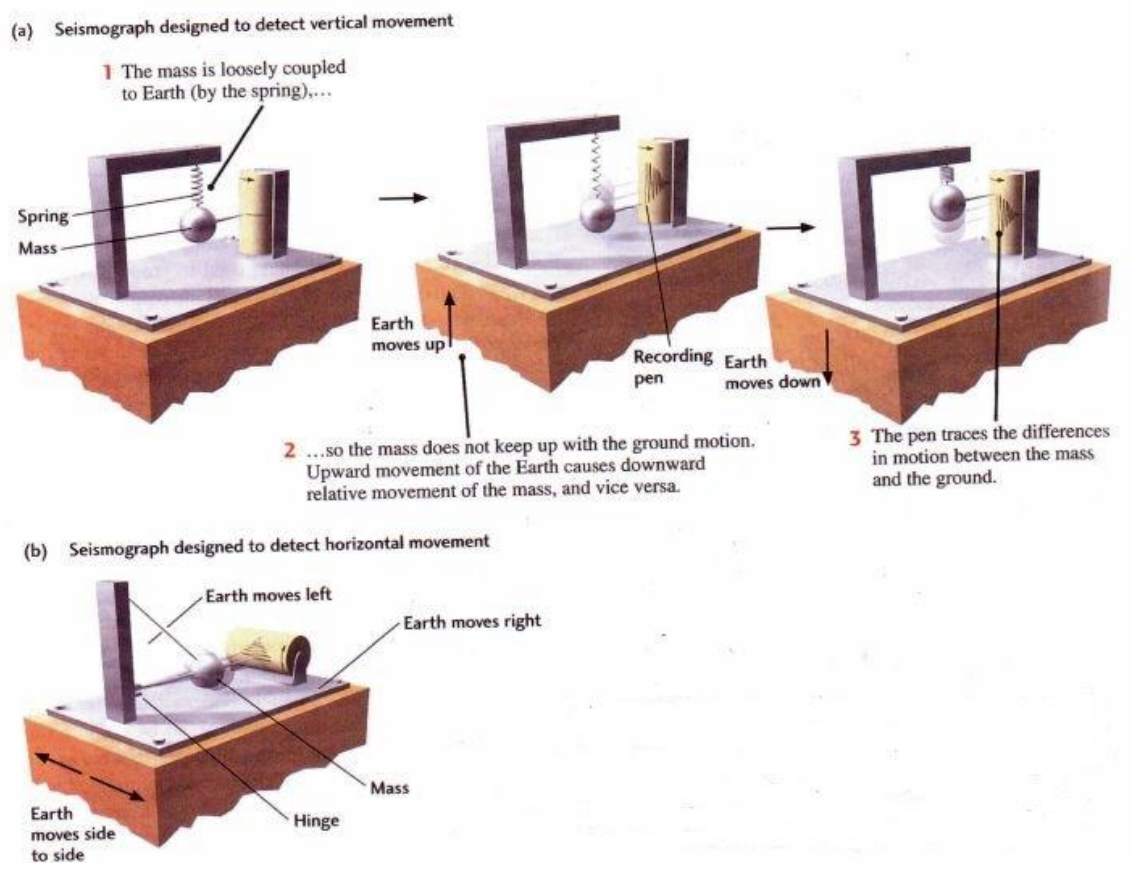


Figura 6: Diagrama representando o princípio físico do sensor sísmico (GROTZINGER et al., 2007). (a) Sistema massa-mola para mostrar o estado de repouso, bem como a detecção dos movimentos verticais do solo para cima e para baixo (itens 1-3). (b) Pêndulo disposto de forma horizontal para captar os movimentos horizontais do solo.

V. Os Registros Sísmicos Desvendando o Interior da Terra

A maior parte do conhecimento atual sobre o interior da terra é consequência dos estudos sismológicos desenvolvidos ao longo de mais de cem anos de dados instrumentais distribuídos pelo globo terrestre. Para se obter as características internas do planeta (parâmetros físicos e geométricos) de forma precisa é necessário trabalhar num sistema de *redes sísmicas*. Uma rede sísmica é formada por um conjunto de estações sísmicas cobrindo uma determinada área na superfície do planeta, visando a análise da energia sísmica nos diferentes locais da rede para a abordagem de um problema particular.

No caso do planeta Terra é possível afirmar que a rede sísmica responsável por grande parte do conhecimento atual a respeito do interior da terra foi, sem dúvida, a chamada *World-Wide Stardandized Seismograph Network* (WWSSN), implantada pelo

governo norte-americano durante a década de 1960 (Figura 7), a qual deve ser considerada como a segunda geração de instrumentação sismológica.

O monitoramento das trajetórias das várias ondas sísmicas, ao longo da distância e do tempo, através do interior do planeta Terra (Figura 8) e seus correspondentes registros possibilitaram as estimativas tanto da distribuição de parâmetros físicos com a profundidade (ou seja, velocidades de ondas P, S, densidade e a localização de suas principais descontinuidades - Figura 9) quanto da geometria das camadas que compõem o interior da terra. Além disso, a representação gráfica dos epicentros dos eventos sísmicos naturais permitiu o mapeamento da geometria superficial (assim como em profundidade) das regiões de contato entre as placas tectônicas que formam a superfície do planeta Terra (Figura 10).

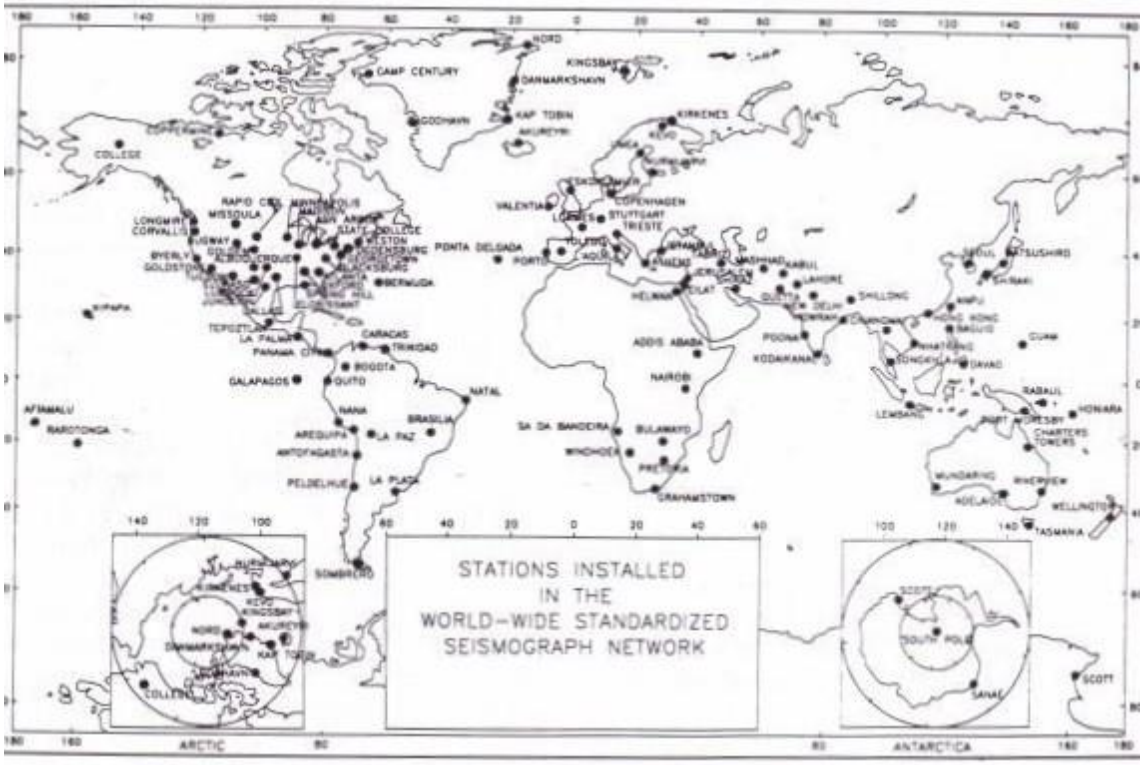


Figura 7: Mapa mostrando a localização geográfica das estações sísmicas da rede global *World Wide Standardized Seismograph Network* (WWSSN – LAY; WALLACE, 1995).

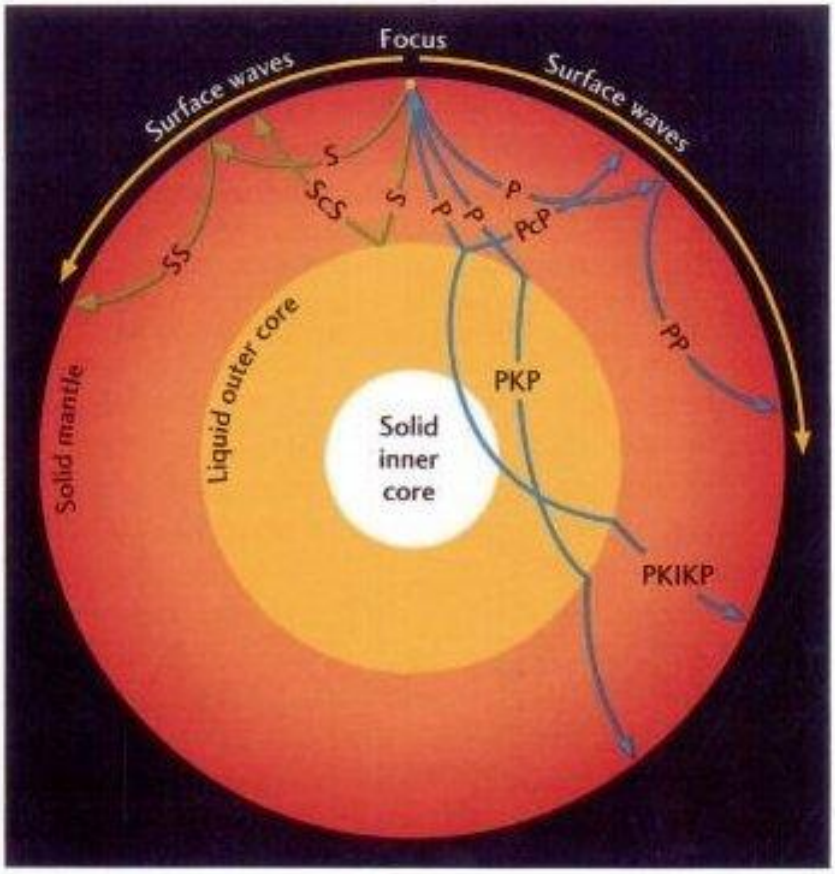


Figura 8: Diagrama representando uma seção transversal do planeta Terra (GROTZINGER et al., 2007) com as diferentes partes de seu interior (ou seja, crosta, manto, núcleo externo e núcleo interno). Do foco sísmico (ponto amarelo), partem os diferentes tipos de ondas sísmicas (ondas de volume – linhas verde e azul; ondas superficiais – linhas amarelas) em direção a vários pontos da superfície do planeta. As linhas indicam as trajetórias das ondas sísmicas no interior do planeta e cada trajetória recebe um código para identificação no registro de um dado evento sísmico. Várias trajetórias de ondas sísmicas são observadas na figura e cada trajetória gera uma ***fase sísmica*** no sismograma: as ondas P e S que refletem no núcleo externo recebem um *c* e, portanto, passam a ser denominadas de PcP e ScS; as ondas P e S que refletem uma vez na superfície do planeta são chamadas de PP e SS; as ondas P que se propagam através do núcleo externo recebem a letra *K* e são chamadas de PKP (ou seja, a interpretação do código é a seguinte: a onda sai da fonte sísmica, caminha pelo manto (letra P), caminha pelo núcleo externo (letra K), volta a caminhar pelo manto (letra P) e, finalmente, chega a uma determinada estação sísmica). As ondas de volume que se propagam no núcleo interno recebem a letra *I*, conforme mostrado na fase PKIKP. Finalmente, as ondas superficiais se propagam pelas camadas próximas à superfície de contato entre o ar e o manto superior, podendo chegar até o núcleo interno do planeta.

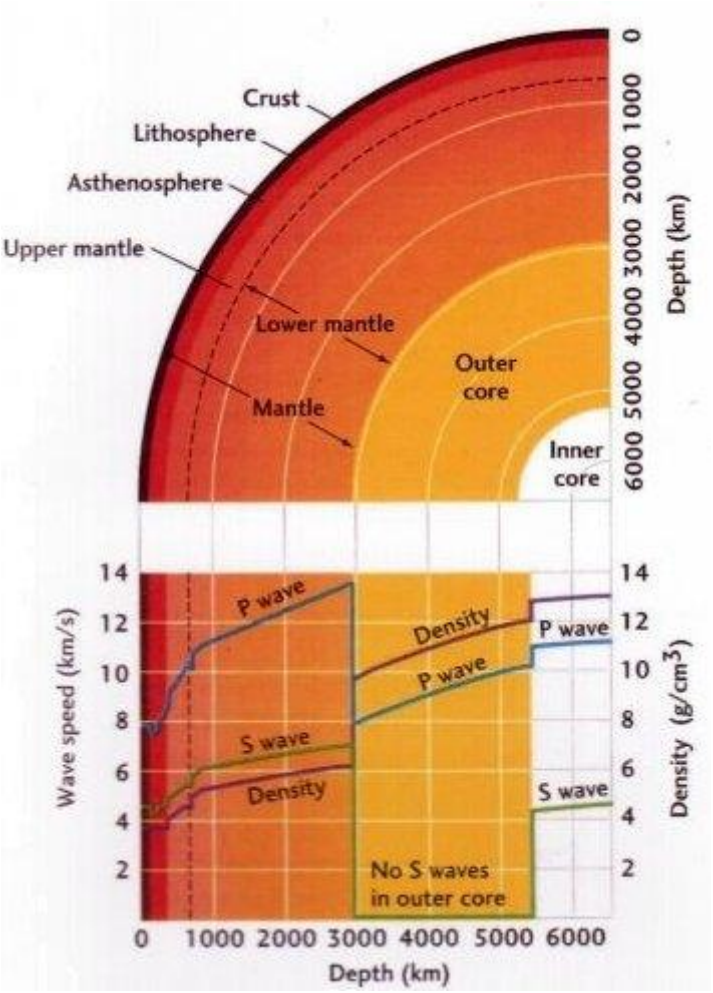


Figura 9: Modelo global de velocidades sísmicas e densidade no interior da Terra obtido a partir de estudos sismológicos (GROTZINGER et al., 2007) e outros tipos de estudos geofísicos e geológicos. A parte superior da figura (em igual escala de profundidade com a parte inferior) mostra uma seção transversal da Terra contendo as principais descontinuidades. Na parte inferior, observam-se as variações dos parâmetros físicos (velocidades e densidade) em função da profundidade. Note que, em geral, as velocidades sísmicas e densidade no interior da Terra aumentam com a profundidade e apresentam mudanças bruscas ao longo das principais descontinuidades.

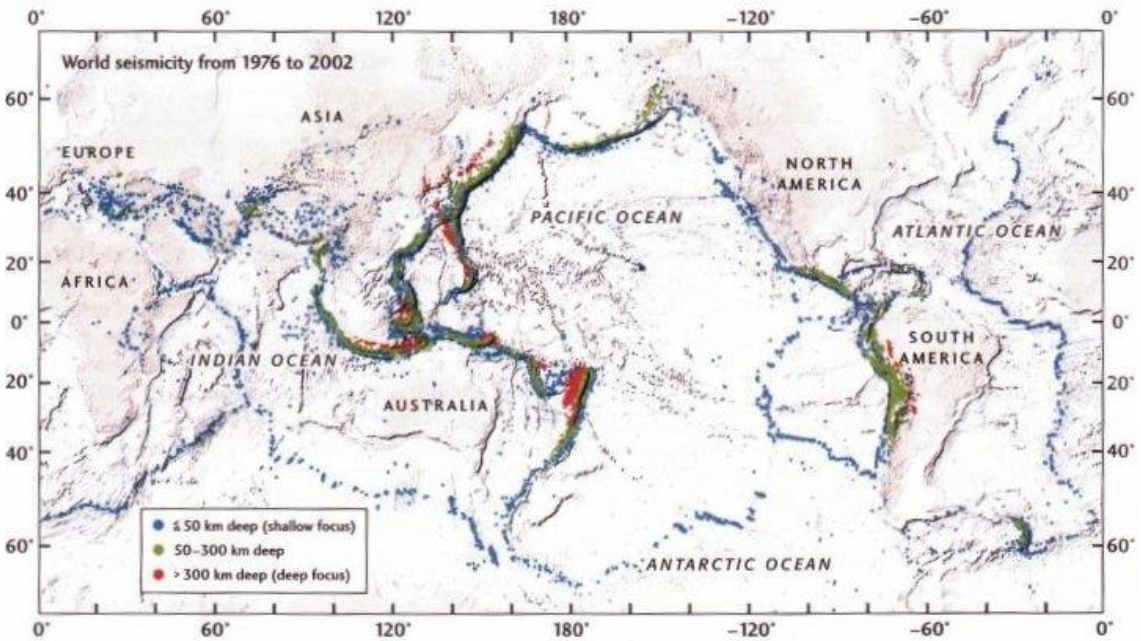


Figura 10: Atividade sísmica mundial no período de 1976 a 2002 (GROTZINGER et al., 2007). A localização geográfica dos epicentros dos tremores de terra mostra claramente os contornos das placas tectônicas que formam o planeta terra e as cores representam as diferentes profundidades dos sismos (azul: menor ou igual a 50km; verde: entre 50 e 300km; vermelho: profundidade maior que 300km).

VI. Sismologia no Observatório Nacional

O campus do Observatório Nacional (ON), localizado na cidade do Rio de Janeiro, tem uma longa tradição no monitoramento da atividade sísmica mundial. Os primeiros registros sísmicos datam de 1906 quando foi instalado o primeiro sismógrafo, ou seja, um equipamento composto por pêndulos horizontais de J. & A. Bosh de 15kg (componentes N-S e E-W – GAMA et al., 1946). Depois deste, vários instrumentos foram utilizados nas dependências do Observatório Nacional no Rio de Janeiro (GAMA et al., 1946) até a instalação dos sismômetros horizontais de período longo do tipo Press-Ewing (fabricados pela Lehner & Griffith, Inc.[45]) e dos sismômetros verticais de período longo do tipo Press-Ewing (fabricados pela Sprengnether, Inc.). Estes equipamentos foram instalados na estação sísmica do Observatório Nacional (Rio De Janeiro – RDJ – Figuras 11-17) em 1957, durante o chamado *Ano Internacional da Geofísica – de 1956 a 1960*, e produziram

[45] Nota das editoras: os referidos sismômetros hoje fazem parte da coleção do MAST. Em particular, no momento da palestra do Dr. Souza no MAST Colloquia 2017, um dos sismômetros horizontais Lehner & Griffith era o objeto que estava exposto na Sala de Leitura do MAST.

registros analógicos em papel fotográfico até 1989. Todos os registros analógicos produzidos na estação RDJ, nos primeiros vinte anos (ou seja, de 1957 a 1976), foram enviados para alguma instituição no exterior (*provavelmente para Lamont Geological Observatory of Columbia University, mas sem comprovação desta informação*). O restante do período, ou seja, de 1977 a 1989, o Observatório Nacional armazenou e, sobretudo, preservou os registros analógicos em boas condições e, desde a década de 1980, o grupo de Sismologia do ON vem utilizando esta base de dados em pesquisas, sempre com o objetivo de investigar a estrutura e composição do interior do planeta no território brasileiro. É importante ressaltar que os dados sísmicos obtidos no campus do Observatório Nacional, localizado na cidade do Rio de Janeiro, contribuíram de forma decisiva para o conhecimento atual sobre o interior do planeta.

Figura 11: Instalações da estação sísmica RDJ (Rio De Janeiro) do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. Os quatro sismômetros de período (*T*) longo sobre o pilar de concreto são do tipo Press-Ewing. Dois deles são verticais (tampas altas – T=14.4s – Seixas, 1987) e foram fabricados pela Sprengnether, Inc.; os outros dois são horizontais (tampas baixas – T=16.7s e 14.4s (norte-sul e leste-oeste, respectivamente) – Seixas, 1987) e foram fabricados pela Lehner & Griffith, Inc.. Um dos sismômetros horizontais está orientado na direção norte-sul e o outro na direção leste-oeste. Estes instrumentos funcionaram no período de 1957 a 1989, produzindo registros analógicos em papel fotográfico. As estantes, no fundo da imagem, guardam os registros analógicos referentes ao período de 1977 a 1989.

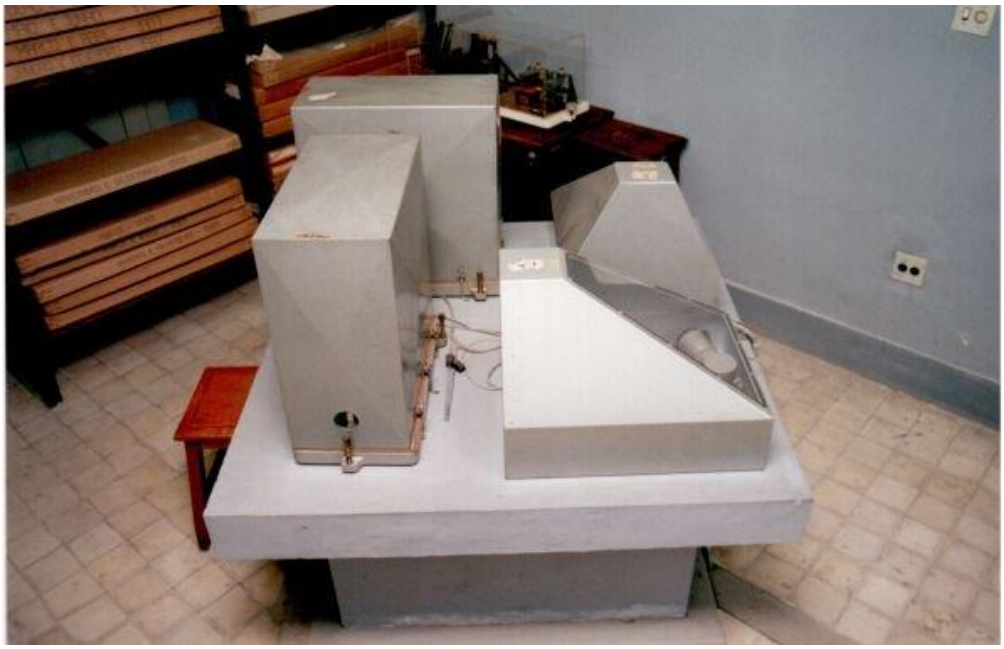


Figura 12: Instalações da estação sísmica RDJ do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. Vista de cima dos quatro sismômetros sobre o pilar de concreto.

Figura 13: Instalações da estação sísmica RDJ do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. No pilar do lado esquerdo estão os sismômetros de período longo e no pilar de concreto do lado direito estão três sismômetros de período curto (T=1.0s) do tipo Willmore MKIIIA da Sensonics sendo usados em teste de sistema de aquisição de dados digitais instalado posteriormente na estação RDJ.

Figura 14: Instalações da estação sísmica RDJ do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. Do lado esquerdo, duas estantes contendo a base de dados analógicos, em papel fotográfico, da estação RDJ no período de 1977 a 1989. Do lado direito, o pilar de concreto com os quatro sismômetros de período longo.

Figura 15: Instalações da estação sísmica RDJ do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. Imagem dos quatro sismômetros de período longo Press-Ewing sem as tampas de proteção. O sismômetro horizontal da esquerda vibra na direção norte-sul (N-S) e, portanto, registra a componente N-S do movimento do solo. Por outro lado, o sismômetro horizontal da direita oscila na direção leste-oeste (L-O), registrando assim a componente L-O do movimento do solo.

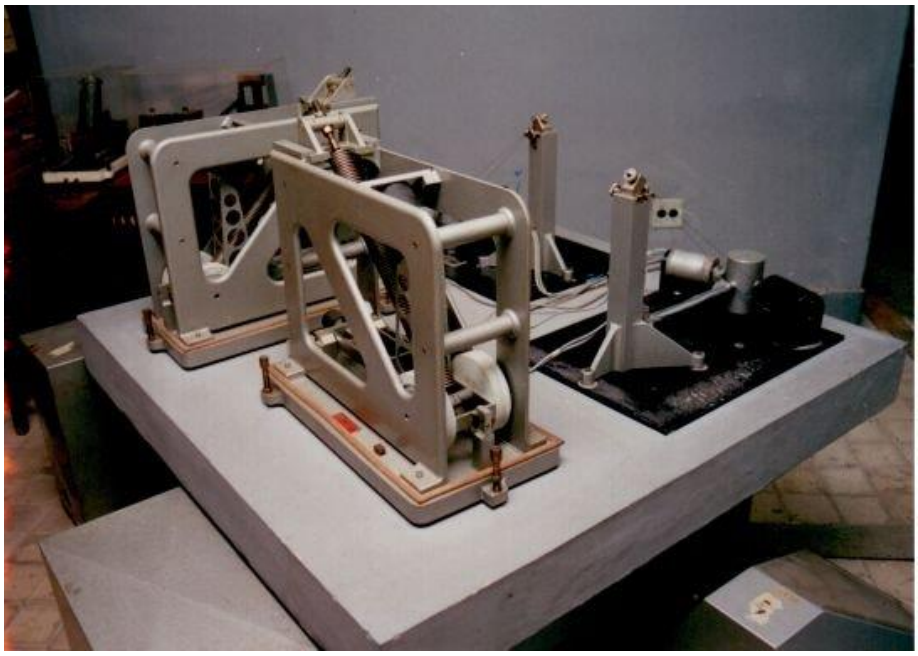


Figura 16: Instalações da estação sísmica RDJ do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. Imagem dos quatro sismômetros de período longo Press-Ewing sem as tampas de proteção. Do lado esquerdo, os dois sismômetros verticais mostrando claramente o pêndulo vertical e, do lado direito, os dois sismômetros horizontais com seus pêndulos horizontais. Note que o sensor horizontal da extremidade direita é o responsável por captar os movimentos do solo na direção norte-sul (N-S).

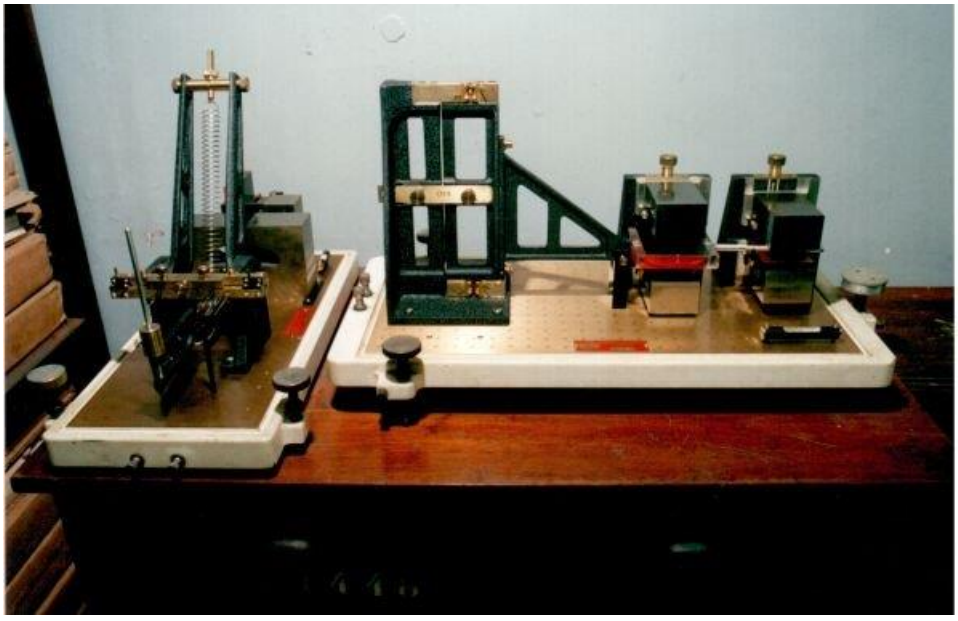


Figura 17: Instalações da estação sísmica RDJ do Observatório Nacional no campus de São Cristóvão (RJ), registrada em 6 de setembro de 2002 pelo Sr. Joelson Costa Moreira a pedido do autor deste artigo. Imagem de dois sismômetros de período curto que nunca funcionaram na estação sísmica RDJ. Ambos foram fabricados pela Sprengnether, Inc. e acredita-se que eles vieram para o Observatório Nacional junto com os períodos longos Press-Ewing durante o ano internacional da Geofísica (1956-1960). O sensor da esquerda é um vertical e o da direita um horizontal.

VII. Pesquisas em Sismologia no Observatório Nacional

Durante muitos anos, a atividade em Sismologia no Observatório Nacional foi apenas de análise dos registros analógicos obtidos em sua estação sísmica, ou seja, o ON era basicamente um ponto de observação do fenômeno sísmico (GAMA et al., 1946), conforme descrito na seção anterior.

Numa análise preliminar dos dados sísmicos catalogados no Boletim Sismológico do Observatório Nacional (GAMA et al., 1946) verificou-se a possibilidade da determinação da magnitude sísmica de uma quantidade expressiva de eventos sísmicos históricos registrados pela estação RDJ (PÉREZ, 1985).

A conclusão de uma dissertação de mestrado em Sismologia no ON (SOUZA, 1988), desenvolvida com os dados analógicos das estações RDJ (Rio de Janeiro, RJ) e BDFB (Brasília, DF), marcou, no passado recente, o início das atividades de pesquisa no âmbito do Observatório Nacional. O objetivo deste trabalho foi de estudar, de forma inédita, a estrutura da crosta terrestre e do manto superior, assim como parâmetros sobre atenuação sísmica, na região entre as estações sísmicas do Rio de Janeiro e Brasília. Informações importantes sobre espessura crustal e parâmetros físicos sobre o interior do planeta na região foram obtidos com tal estudo.

A partir daí, a base de dados analógicos da estação RDJ foi usada para vários estudos locais e regionais sobre o território brasileiro. De um modo geral, tais estudos podem ser agrupados nos seguintes itens: estudos sobre o interior da Terra na região costeira do Brasil, assim como na plataforma continental (SOUZA, 1991; SOUZA, 1995; SOUZA, 1996b; CARIO; SOUZA, 2006); estudos sobre a estrutura e composição da litosfera do oceano Atlântico Sul (SOUZA, 1996a); e estudos sobre a litosfera da parte leste do Brasil (SOUZA, 1996c).

Além dos artigos científicos publicados, citados anteriormente, recursos humanos altamente qualificados na área de Sismologia foram formados no âmbito do Observatório Nacional. Dentre eles podemos citar dois doutores, três mestres e nove estudantes de iniciação científica.

VIII. Agradecimentos

O autor agradece o convite do Museu de Astronomia e Ciências Afins para participar do MAST Colloquia. Um especial agradecimento ao Sr. Joelson Costa Moreira, colega da Coordenação de Geofísica do Observatório Nacional, pelo excelente trabalho de registro fotográfico (ocorrido no dia 06 de setembro de 2002, com equipamento próprio) dos instrumentos e das salas (Figuras 11 a 17) onde o sismógrafo do ON estava instalado e foi operado de 1957 a 1989. As referidas fotos foram fundamentais para o enriquecimento do presente artigo e, sobretudo, para o registro das atividades em Sismologia no Observatório Nacional no passado recente. O autor, também, agradece o apoio incondicional de sua querida família (Kátia, Juliana, Karine e Maiara).

IX. Bibliografia

CARIO, F. D.; SOUZA, J. L. de. Crustal thickness beneath Rio de Janeiro, Brazil, from spectra of SH waves at station RDJ. *Geofísica Internacional*, [*S. l.*], v. 45, n. 2, p. 115-128, 2006.

GAMA, S. da; LEMOS, A.; SOARES, G. de M. Boletim sismológico do Observatório Nacional 1906 a 1944. [Rio de Janeiro]: Observatório Nacional do Rio de Janeiro, 1946, p.1-79.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H.; PRESS, F.; SIEVER, R. *Understanding earth*. New York: W. H. Freeman and Company, 2007.

LAY, T.; WALLACE, T. C. *Modern global seismology*. California: Academic Press, 1995.

PÉREZ, A. A. B. *A estação sismológica do Rio de Janeiro*. [Rio de Janeiro]: Observatório Nacional, 1985. (Publicações do Observatório Nacional. Série Geofísica, n. 4).

SEIXAS, N. A. B. *Determinação da função de transferência do sismógrafo da estação RDJ*: aplicações à remoção do efeito instrumental e ao cálculo de magnitudes sísmicas. 1987. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Observatório Nacional, Conselho Nacional de Pesquisas, Observatório Nacional, Rio de Janeiro, 1987.

SOUZA, J. L. de. *Estrutura da crosta terrestre na região do escudo Atlântico brasileiro*. 1988. 211 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Observatório Nacional, Conselho Nacional de Pesquisas, Observatório Nacional, Rio de Janeiro, 1988.

SOUZA, J. L. de. Crustal and upper mantle structures of the Brazilian coast. Pure and *Applied Geophysics*, Suiça, v. 136, n. 2/3, p. 245-264, 1991.

SOUZA, J. L. de. Shear-wave velocity in the south-eastern Brazilian continental shelf. Geophysical Journal International, Inglaterra, v.122, p.691-702, 1995.

SOUZA, J. L. de. S wave velocity in the south Atlantic oceanic lithosphere. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro , v. 68. n. 1, p. 41-63, 1996a.

SOUZA, J. L. de. Crustal structure of the southeastern Brazilian continental margin from surface wave dispersion. *Geofísica Internacional*, México, v. 35, n. 3, p. 285-300, 1996b.

SOUZA, J. L. de. Shear wave velocities beneath the eastern part of Brazil. *Geofísica Internacional*, México, v. 35. n. 3, p. 301-314, 1996c

Espectroscópio Solar (1994/0145)
Fabricante: T. Cooke & Sons; século XIX

Nuvem de palavras constituída pela leitura feita pelos visitantes da Sala de Leitura de Objetos do MAST, durante o período de exposição do Espectroscópio Solar 1994/0145.

Espectroscopia - Luz e Cosmos de Estrelas e de Átomos

Nadja Paraense dos Santos

Nota biográfica

Nadja Paraense dos Santos é graduada em Engenharia Química e em Licenciatura em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, mestrado em Educação e doutorado em Engenharia de Produção - Área de História das Ciências pela UFRJ. Atualmente é professor associado no Instituto de Química da UFRJ. Tem experiência na área de História das Ciências, com ênfase em História das Ciências no Brasil, atuando principalmente nos seguintes temas: história da química no Brasil, ensino de química, história das ciências no Brasil, história da química e história das ciências. Atualmente é coordenadora nacional do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) do Instituto de Química da UFRJ.

I. Introdução

Uma pesquisa divulgada em 2016, no contexto de um projeto realizado utilizando um espectrógrafo – o *Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment* (APOGEE)[46], comprovou o que Carl Sagan[47] (1934-1996) já falava há tempos: os humanos realmente são feitos de poeira de estrela. Depois de analisar cerca de 150 mil estrelas, astrônomos chegaram à conclusão de que tanto os seres humanos quanto os astros brilhantes possuem 97% do mesmo tipo de átomos. Constataram ainda que os elementos essenciais para a vida como a conhecemos (hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre) são mais prevalecentes nas estrelas que estão no centro da galáxia[48].

A palavra espectroscopia origina-se do Latim (*spectron* – fantasma ou espírito) e do Grego (*skopein* – olhar, ver), e não apenas do verbo latino (*spectare* – olhar, observar). Pode ser definida como uma técnica exploratória, baseada em princípios físicos, para investigação de propriedades específicas da matéria. Nesse contexto, o espectrômetro (ou espectrógrafo) é o instrumento que realiza tais tarefas e o espectro é o registro das quantidades envolvidas na medida. Historicamente, a espectroscopia teve origem a partir do estudo da luz visível dispersa de acordo com o seu comprimento de onda, por um prisma. O conceito atualmente é ampliado para todo o espectro eletromagnético e não apenas para a luz visível.

A espectroscopia floresceu entre 1860 e 1870, em parte graças à intersecção entre químicos, físicos e astrônomos. Esta nova técnica científica

> (...) é um exemplo de uma realização para a qual contribuíram diversas disciplinas: a óptica e o espectroscópio de Fraunhofer, utilizado para testar a qualidade dos vidros, o estudo da irradiação térmica por Kirchhoff, os estudos das chamas e a utilização do bico de Bunsen,

[46] O *Apache Point ObservatoryGalactic Evolution Experiment* (APOGEE) é um levantamento espectroscópico de alta resolução no infravermelho próximo realizado em um observatório no Novo México (EUA). Espectros são obtidos para uma amostra uniforme de mais de 100.000 estrelas pertencentes a todas as populações estelares galácticas (bojo, disco, barra e halo). Um de seus objetivos é medir a abundância de 17 elementos químicos nas atmosferas de estrelas situadas em direções próximas ao plano do disco da Galáxia, a fim de vincular melhor os modelos de evolução química galáctica. Abundâncias são medidas para os seguintes elementos: C, N, O, Mg, Al, Si, Ca, Fe, Ni, Na, S, Ti, Mn, K, V, Cr e Co (http://www.linea.gov.br/010-ciencia/1-projetos/5-sdss-iii/apogee/). Acesso em outubro de 2017).

[47]No início dos anos 1980, o astrônomo Carl Sagan apresentou uma série de televisão chamada "Cosmos". No programa, Sagan explicou minuciosamente muitos temas relacionados à ciência, incluindo a história da Terra, a evolução, a origem da vida e do Sistema Solar. "Nós somos um meio para o universo conhecer a si mesmo. Uma parte do nosso ser sabe que essa é a nossa origem. Nós desejamos voltar. E podemos, porque o cosmos também está dentro de nós. Nós somos feitos de matéria estelar", declarou Sagan em um dos episódios de Cosmos.

[48]*The Elements of Life Mapped Across the Milky Way by* SDSS/APOGEE - https://www.sdss.org/press-releases/the-elements-of-life-mapped-across-the-milky-way-by-sdssapogee/. Acesso em junho de 2019.

> introduzido no laboratório de química no início dos anos 1860(STENGERS; BENSAUDE-VINCENTE,1992, p. 179).

Posteriormente, a espectroscopia parece ter seguido caminhos diferentes consoantes às áreas de estudo: Química Analítica, Astrofísica, Física Quântica ou Biologia, por exemplo. Disso resultou uma fragmentação na história da espectroscopia, que habitualmente só é tratada do ponto de vista de uma das áreas. Já neste trabalho serão destacados alguns aspectos da História das Ciências e da História dos Instrumentos Científicos na relação entre a luz e a composição da matéria, numa perspectiva interdisciplinar.

II. No Caminho da Luz

Desde os tempos mais antigos, a humanidade observa a luz como um elemento cheio de curiosidades. Os religiosos viam a luz como um elemento que era associado com o Sol e por isso era um presente dado pelos deuses.

O Sol é a principal fonte de energia da Terra. Seu calor aquece o planeta e promove a formação de padrões climáticos, o aquecimento dos mares, a formação de correntes oceânicas e o movimento da atmosfera. Ele já foi venerado como deus em várias culturas antigas, como nas civilizações egípcia, inca e asteca. Dá nome para um dos dias da semana nas línguas inglesa (*sunday*) e alemã (*sonntag*).

Até o início do século XVII, o entendimento humano sobre a luz tanto em relação à sua natureza como a explicação de fenômenos ópticos evoluiu muito lentamente. Desde o mundo antigo é entendido que a luz se propaga em linha reta, embora a ideia estivesse ligada a raios que saíam dos olhos em direção aos objetos de modo a "senti-los". Esta noção começou com Euclides (ca.325 a.C.-265 a. C.) que, no seu tratado *Optica*, descrevia a luz como raios que partiam dos olhos para os objetos. Ele foi também o primeiro a notar que a luz viajava em linha reta e descreveu a lei da reflexão. Heron de Alexandria (ca. 10 d.C.-70 d.C.), na sua obra *Catoptrica*, mostrou geometricamente que um raio de luz segue o caminho mais curto quando refletido por um espelho plano. Já Ptolomeu (ca. 90 d.C.-168 d.C.), que estudou a refração, sugeriu que o ângulo de refração era proporcional ao ângulo de incidência.

Abū ‘Alī al-Ḥasanibn al-Haytham (963–1039), conhecido na Europa como Alhazen, escreveu sete volumes do *Livro da Óptica*. Nesse tratado, Alhazen fala de seus experimentos sobre a natureza da luz — como a luz se divide nas várias cores que a compõem, como ela é refletida nos espelhos e como ela se desvia quando passa de um meio para outro. Ele também estudou a percepção visual, bem como a anatomia e os mecanismos da visão. Refutou a lei da refração de Ptolomeu, explicando que apenas se verificava para pequenos ângulos, discutiu a refração atmosférica, explicou o aumento aparente do Sole da Lua quando perto do horizonte.

O grande desenvolvimento do início do século XVII foi iniciado pela invenção de novos instrumentos ópticos. Naquele século ocorre a invenção tanto do microscópio como do telescópio. O desenvolvimento de ambos os instrumentos prosseguiu durante o século XVII e a notícia das invenções rapidamente se espalhou pela Europa. Galileu Galilei (1564–1642) construiu em 1609 o seu próprio telescópio, permitindo-lhe fazer significantes descobertas astronômicas. No final do século XVII, a óptica geométrica e o fabrico de lentes eram bem compreendidos, mas a natureza da luz era ainda um mistério (RIBEIRO et al., 2015).

Nesse período é que Isaac Newton (1642–1727) dá um contributo essencial ao descrever a dispersão da luz branca quando atravessa um prisma (1666) e concluir que a luz solar era constituída por luz de diferentes cores. Construiu também o primeiro telescópio refletor para solucionar o problema da aberração cromática exibida pelos telescópios refratores (1668)[49]. E em 1672 utilizou pela primeira vez a palavra latina *spectrum*, nos estudos que publicou nas *Philosophical Transactions* intitulados "Uma Nova Teoria sobre a Luz e as Cores"[50]. É que movendo o prisma, ainda que levemente, a luz branca era dispersa nas suas componentes coloridas e a imagem colorida saltava de um lugar para outro como se tratasse dum fantasma. Por referência a essa experiência de Newton, esses estudos apresentaram-se genericamente como estudos espectroscópicos (AMORIM DA COSTA, 2003).

Além das chamadas sete cores do arco-íris, o espectro solar também apresenta radiações invisíveis ao olho humano. Como é que podemos comprovar isso?

[49] O elemento óptico primário de telescópios refletores é um espelho enquanto que, em refratores, é uma lente.
[50] I. Newton, Phil. Trans., 80 8 (1672),3075-3087. Rep. in *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy* (Ed.I.B.Cohen, Harvard Univ. Press, Cambridge, MA, 1978), pp. 47-59.

III. O Nascimento da Espectroscopia Química

A ciência química começa então a contribuir com a espectroscopia. O cloreto de prata é um sólido branco que escurece por ação da luz. Este é o princípio da fotografia em preto e branco. A reação que ocorre é a redução dos íons de prata, promovida pela luz e pelo processo de revelação, originando o metal finamente dividido, que é preto.

Esta propriedade do cloreto de prata esteve na origem de várias experiências sobre a fotossensibilidade dos sais de prata[51]. Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), em 1777, no seu livro, *Chemische Abhandlung von der Luft unddem Feue* (SCHEELE, 1777), se refere à propriedade do cloreto de prata enegrecer quando exposto à luz do Sol. Scheele resolveu colocar amostras de cloreto de prata em cada uma das diferentes regiões coloridas do espectro solar obtido com um prisma. Percebeu, então, que o escurecimento do material se processava mais intensamente quanto mais próximo da extremidade violeta. Isto devia significar que a luz violeta era a mais energética do espectro, pois era a que mais acelerava a reação (PERES, 2013).

Em 1800, Willian Herschel, através de um experimento com um termômetro em cada extremidade do espectro solar, concluiu que a temperatura do mercúrio aumentava pela incidência da luz. Quanto mais próximo da extremidade vermelha, maior o calor. Ao testar a região não iluminada depois do vermelho, Herschel descobriu que a temperatura subia ainda mais rapidamente. A radiação invisível que provocava este efeito foi então denominada de infravermelho.

Em 1801, Johann W. Ritter (1776-1810) e Willian Hyde Wollaston (1766-1828) observaram, de forma independente, que a reação de redução de prata se dava com maior facilidade além da parte escura do violeta. A conclusão desse experimento é que existe no espectro solar uma radiação de energia mais alta que a luz violeta; a essa radiação, invisível a nossos olhos, chamou-se ultravioleta. Estava assim demonstrado que a luz continha componentes não detectáveis por nossos olhos em adição à porção visível.

[51]J. A. Bentes, no seu *Tratado theórico e prático de photographia*, se refere, em 1866, à contribuição de vários alquimistas no estudo da ação da luz sobre diversas substâncias, nomeadamente: Geber (c. 721-c. 815), Paracelso (1493-1591), Francis Bacon (1561-1626) e Joahnn Glauber (c. 1604-1670).

Muito mais de cem anos depois da experiência realizada por Newton, Wollaston, em 1802, e Joseph von Fraunhofer (1787-1826), em 1814, procederam experiências semelhantes usando, todavia, uma fenda muito estreita em vez de um orifício para admissão da luz a estudar. Essa fenda permitia a formação de linhas ou riscas espectrais, imagens da própria fenda de entrada formadas por luz de um só comprimento de onda. Usando instrumentos desenvolvidos por ele mesmo, Fraunhofer descreveu mais de 500 dessas linhas, as quais mais tarde foram finalmente utilizadas para estabelecer a composição química da atmosfera solar. Em poucos anos cresceu o interesse pela caracterização do mesmo tipo de riscas espectrais obtidas com um prisma a partir da luz resultante da combustão de um elemento ou de um composto. Desde muitos séculos se sabia que diversos materiais também podem emitir luz quando excitados. Este é o princípio dos fogos de artifício: para obter uma luz verde usam-se sais de bário; para uma luz vermelha, sais de estrôncio; amarela, de sódio, e assim por diante.

Outro aspecto interessante percebido por ele foi que o conjunto de linhas negras do espectro solar era idêntico ao do espectro da luz da Lua ou dos planetas, mas diferente das estrelas, cada uma da quais apresentava um espectro particular (FILGUEIRAS, 1996). Ora, a luz da Lua ou dos planetas é apenas um reflexo da luz solar, ao passo que as estrelas emitem luz própria. Será então que o espectro de cada estrela poderia ser uma impressão digital da estrela em termos de sua composição química?

Em 1826, William H. Fox Talbot (1800-1877) relata uma série de experiências com chamas coloridas, advogando as potencialidades do seu estudo no domínio da análise química. Reforçando a ideia, um ano depois, John Frederick William Herschel, (1792-1871), num ensaio sobre a luz escrito para a Enciclopédia Metropolitana[52], deixava claro que "...o espectro de cada uma das muitas estrelas e de cada chama, tem um sistema de bandas que lhe é peculiar e característico da sua luz (...) as cores que os diferentes elementos conferem a uma chama permitem em muitos casos detectar pronta e claramente a sua presença, mesmo que em quantidades extremamente pequenas".

Estava lançado o embrião de uma nova técnica de análise química fundamentada na análise das riscas espectrais observadas quando um composto ou elemento era submetido à ação de uma chama. A princípio o seu desenvolvimento foi moroso e foi com

[52] A *Encyclopaedia Metropolitana* foi publicada em Londres entre os anos de 1817 e 1845. Composta de 25 volumes de textos. Herschel escreveu os artigos: Luz, Som e Astronomia Física.

alguma dificuldade que os químicos descobriram as grandes potencialidades deste tipo de análise espectral como técnica corrente e de grande eficácia no domínio da análise química. No entanto, só a partir do início da década de 1860, com os trabalhos de Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) em colaboração com Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899), a análise espectroquímica se tornou num domínio específico de estudo e de grande interesse. Eles foram os primeiros a utilizar a luz para identificar novos elementos químicos. A partir desta década, começou-se a busca por elementos que, encontrados em quantidades muito pequenas, só podiam ser identificados por meio de instrumentos especializados como o espectroscópio.

Através da nova técnica, Bunsen e Kirchhoff observaram que cada elemento possuía sua própria banda espectral. Isto quer dizer que as cores do seu espectro estariam sempre na mesma posição, funcionando como uma espécie de impressão digital, auxiliando na caracterização e diferenciação dos elementos químicos que compõem a natureza. Eles descobriram cerca de dez novos elementos antes do final do século XIX. Por exemplo, ao estudar os sais provenientes de água mineral evaporada, detectaram uma linha espectral azul pertencente ao elemento que chamaram de *caesium* ou, como o chamamos, césio – o nome quer dizer "céu azul". Na análise do mineral lepidolita, em 1862, Bunsen detectou um metal alcalino ao qual deu o nome de *rubidium* (para nós, rubídio) – elemento cujo nome quer dizer "vermelho escuro".

Outra implicação fundamental do uso da espectroscopia para a análise dos elementos estava além dos limites do planeta: ao observar o espectro da luz solar, Kirchoff notou que certas linhas escuras – as linhas de Fraunhofer – coincidiam com as linhas amarelas do espectro da chama do sódio. Ao observar o espectro solar com a luz de uma chama de sódio, as linhas escuras ficavam mais escuras ainda: isso só poderia significar que a atmosfera do Sol continha sódio. Os resultados significativos obtidos por Kirchoff e Busen com a utilização de espectroscópios levou a utilização destes aparelhos para a astronomia.

William Huggins (1824 - 1910) aplicou o espectroscópio no seu telescópio e, durante 40 anos, ele e sua esposa dedicaram suas vidas e recursos financeiros para observarem o céu com o espectroscópio. Huggins conseguiu construir seu próprio prisma e implementou novas tecnologias através das quais conseguia produzir um espectro a partir de uma faísca elétrica e um feixe de luz (LARANJEIRAS, 2010).

O estudo do espectro solar ficava facilitado durante os eclipses, quando se podia observar apenas a borda do disco solar, sem os problemas normais de ofuscamento. Em agosto de 1868, ocorreu o eclipse solar de maior duração do século XIX. Visível na Índia e em países vizinhos, chegou a durar, em alguns lugares, mais de seis minutos. O astrônomo francês Pierre Jules César Janssen (1824 - 1907) deslocou-se até à Índia para observá-lo. Acoplando um espectroscópio a uma luneta, Janssen pôde observar o espectro das protuberâncias solares, jatos de gás que se projetam milhares de quilômetros acima da atmosfera solar. O espectro observado daquele material excitado das protuberâncias era um espectro de emissão, uma vez que não havia a possibilidade de absorção pela atmosfera solar (FILGUEIRAS, 1996).

Janssen descobriu que o mesmo tipo de observação também podia ser feito na ausência de um eclipse, bastando usar uma fenda bem estreita disposta tangencialmente ao disco solar, de forma a receber apenas a radiação das protuberâncias, eliminando assim o ofuscamento pelo disco solar. Dessa maneira identificou os espectros de emissão de vários elementos, sendo o hidrogênio o principal.

Na mesma época, em outubro de 1868, o astrônomo inglês Joseph Norman Lockyer (1836-1920) chegou independentemente ao mesmo método de observar as protuberâncias solares. Entre as linhas observadas por ele havia uma linha amarela próxima ao espectro do sódio, mas não coincidente com o espectro de nenhum elemento conhecido. Lockyer concluiu então que o Sol devia ter um novo elemento, desconhecido na Terra, que denominou hélio, em homenagem ao deus grego do Sol (*helios*). Esta proposição foi recebida com reservas, até que em 1895 o novo elemento foi descoberto na Terra pelo químico escocês William Ramsay (1852 - 1916).

IV. Os Instrumentos

O espectroscópio, vital para as análises químicas, foi criado com componentes simples: uma lente para focar a luz entrante e um prisma para dividir a luz pela refração. Daí surgiu um instrumento de enorme importância para a descoberta de novos elementos químicos. Além de fornecer um espectro único para cada elemento, o espectroscópio tem a vantagem de possibilitar a identificação das substâncias mesmo usando uma amostra mínima.

O século XIX foi o período de ouro para os fabricantes franceses de instrumentos de óptica, sendo que Jean-Baptiste François Soleil (1798–1878) originou uma família de fabricantes de instrumentos científicos que, através de relações matrimoniais, está na origem de Louis Jules Duboscq (1817–1886), cujo catálogo de 1870 é inteiramente dedicado à espectrometria. Nesse catálogo ele distinguia os aparelhos de acordo com sua utilidade: para uso em laboratórios de química, em gabinetes de física e em observatórios astronômicos. No século XIX foram vários os fabricantes de óptica que marcaram o desenvolvimento da análise espectral. Destacaram-se os fabricantes alemães: Carl von Steinheil, Carl Zeiss, Albert Dettloff e Warmbrunn, Quilitz & Co, bem como os fabricantes franceses Jules Duboscq e o seu sucessor Philibért Péllin (PERES, 2005).

Na Inglaterra, uma das empresas que mais se destacou foi a Adam Hilger Ltda. Fundada em 1875 e dedicada à instrumentação óptica, tornou-se uma referência internacional no que diz respeito aos espectroscópios. Esta empresa, fabricante especializada de materiais de óptica, vendia à astrônomos, físicos e químicos. Inicialmente os seus instrumentos eram demasiado caros para os acadêmicos (PERES, 2005), embora tenham sido feitas algumas tentativas para fabricar instrumentos para laboratórios de colégios. Desde cedo os catálogos da Hilger foram um exemplo para os fabricantes de instrumentos. Não especificavam a utilização dos seus produtos, mas neles eram referidos vários artigos dos seus utilizadores, chegando a apresentar extensas listas de bibliografia.

No início do século XX, a espectroscopia estava ausente dos livros de Química. Os fabricantes de instrumentos tiveram um papel importante no desenvolvimento da espectroscopia, através da persuasão da utilização e das vantagens. Em vários catálogos é possível encontrar ofertas diversas.

Somente a partir da década de 1920 pode-se perceber a diferenciação entre os instrumentos utilizados na Química e na Física. Enquanto que aversão da Química se transformava numa caixa preta, com os componentes ocultos e predefinidos, a versão da Física continuava a mostrar os componentes e permitir sua adaptação.

Desde cedo a espectroscopia seguiu diferentes desenvolvimentos, por isso pode-se falar hoje de várias espectroscopias, onde a teoria sempre teve forte ligação com o desenvolvimento dos instrumentos.

V. Bibliografia

AMORIM DA COSTA, A. M. Para que Serve a Espectroscopia? *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, [*S. l.*], n. 88, p. 73-77, 2003. Disponível em: www.ci.uc.pt/qfm/antonio-amorim-da-costa/. Acesso em: ago. 2017.

BENTES, J. A. *Tratado theórico e prático de photographia*. Lisboa: Livraria de A. M. Pereira, 1866.

FILGUEIRAS, C. A. L. A espectroscopia e a química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. *Química Nova na Escola*, [*S. l.*], v. 3, p. 22-25, 1996. Disponível em: qnesc.sbq.org.br/online/qnesc03/historia.pdf. Acesso em: ago. 2017.

LARANJEIRAS, C. C.; PORTO, C. S. *Espectroscopia*: investigando a estrutura íntima da matéria. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. Disponível em: http://www.experimentum.org/blog/?cat=67. Acesso em: ago. 2018.

RIBEIRO, A. R. et al. Luz: história, natureza e aplicações. *Gazeta de Física*, Lisboa, v. 39, n. 1-2, 2015. Disponível em: https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/pdf. Acesso em agosto de 2017.

STENGERS, I..; BENSAUDE-VINCENT, B. *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.

PERES, Isabel M. V. *Fotografia científica em Portugal, das origens ao séc. XX*: investigação e ensino em química e instrumentação. 2013. 969 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências, Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

PERES, I. M. V. *O ensino de análise química espectral*: um compromisso entre químicos, fabricantes de instrumentos científicos e professores. 2005. 330 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências, Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2005.

SCHEELE, C. W. *Chemische Abhandlung von der Luft unddem Feuer*. Uppsala, Leipzig: M. Swederus, 1777.

Compreendendo as estrelas com o espectroscópio

Daniel R. C. Mello

Nota biográfica

Daniel Rodrigues Costa Mello é graduado em Astronomia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e doutor em Astrofísica pelo Observatório Nacional (ON). Atualmente é astrônomo e coordenador de extensão universitária do Observatório do Valongo da UFRJ, atuando em projetos de ensino, pesquisa, divulgação e extensão em Astronomia. Possui ainda experiência em astrofísica estelar, investigando temas como geração de energia, composição química, nascimento, evolução e morte das estrelas.

I. Introdução

A Astronomia é possivelmente a mais antiga das ciências. Registros arqueológicos indicam interesse dos povos antigos pelas questões relacionadas ao Cosmos e da possível relação humana com os céus. Muito antes da aurora da moderna ciência, nossos antepassados utilizavam os astros para questões práticas como estabelecer atividades para agricultura, construir calendários, prever marés. Tais atividades tiveram gênese no caráter observador, contemplativo e transbordante de curiosidade do homem. Para tal, ele usou inicialmente apenas seus olhos e seu poder de imaginação. Pasmo com o céu noturno cravejado de astros, ele pôde, com o tempo, distinguir os pontos luminosos diversos, como o Sol, a Lua, as estrelas, os planetas e outros mistérios que guardava o firmamento.

Posteriormente, o homem desenvolveu tecnologias que o permitiram "se aproximar" dos astros tão distantes e aparentemente inalcançáveis. Quadrantes, sextantes, telescópios, lunetas, espectroscópios e, mais tarde, sondas interplanetárias, tornaram-se ferramentas importantes para a tarefa dos astrônomos, os dedicados profissionais que desbravam os céus para compreender a arquitetura do Universo, traçar um mapa mais preciso da natureza do Cosmos e de nossa própria existência.

Neste texto veremos como os astrônomos aprenderam, nos caminhos das estrelas, a natureza da luz e de seus detalhes minuciosos, as constelações, a geração de energia no Sol e a constituição da matéria. É uma jornada de mais de quatrocentos anos de história e muitos desafios.

II. Da Astronomia a olho nu à Astronomia com instrumentação

O progresso anterior de diversas vertentes da Astronomia oriental, aliado à matemática e à geometria, forneceram aos gregos antigos as bases mais sólidas para investigação dos céus de maneira sistemática. Surgiram as ideias cosmogônicas de Aristarco e Aristóteles, os registros escritos das primeiras constelações e os trabalhos de Hiparco de Nicea sobre as estrelas.

Hiparco de Nicea foi seguramente um dos maiores astrônomos da antiguidade. Entre seus feitos está invenção do astrolábio, a descoberta de um dos movimentos da Terra (a precessão dos equinócios) e de uma escala para se medir o brilho das estrelas. A

ele seguiram os trabalhos importantes de catalogação do firmamento como os de Eudoxo, Timocares, Ptolomeu e Arato, ainda na Antiguidade e Idade Média, e os de Plancius, Keyser, Houtmann e, principalmente, Brahe, no Renascimento. Na era da Astronomia moderna, os trabalhos de Bayer, Hevelius e Bode contribuíram decisivamente para um conhecimento mais apurado das estrelas e constelações. Todo esse conhecimento teve considerável importância para os navegadores europeus entre o século XV e as primeiras décadas do XX.

III. Vendo mais longe com Galileo Galilei

Em 1608, um inventor e fabricante de lentes teve a ideia de combinar duas lentes (uma côncava e uma convexa) com características distintas. Posicionando-as distantes uma da outra de modo correto, ele percebeu que poderia obter imagens ampliadas dos objetos direcionados para as lentes. O inventor patenteou a descoberta com o nome de telescópio (do grego *tele* "distante" e *skopein* "para ver"). Segundo consta na história, o pai do telescópio foi o holandês Hans Lippershey, alemão de nascimento, mas que vivia na cidade de Midelburgo, na Holanda. Interessado nas aplicações bélicas do instrumento, o governo holandês logo acolheu a nova invenção e em pouco tempo os telescópios começaram a ser conhecidos em toda Europa.

Na mesma época, um pouco mais ao sul da Europa, na cidade de Florença (Itália), o famoso matemático, físico e astrônomo italiano Galileo Galilei (1564-1642) soube da invenção de Lippershey, possivelmente alguns meses depois. Interessado na possibilidade de conhecer mais da natureza dos astros, Galileo construiu, um ano depois, seu primeiro telescópio. Mesmo modesto (gerava imagens ampliadas dos astros em apenas três vezes), o telescópio de Galileo permitiu um salto sem precedentes na maneira do ser humano ver e interpretar o Universo em que vive. Além de fazer descobertas inéditas, como das crateras lunares, satélites de Júpiter e manchas solares, Galileo contribuiu de forma efetiva para o sucesso do modelo heliocêntrico do Sistema Solar, que colocava o Sol como centro do sistema planetário, ao contrário do modelo geocêntrico, que colocava a Terra como astro central.

Figura 1: O aglomerado estelar das Plêiades (à direita) desenhado pelo astrônomo italiano Galileo Galilei (à esquerda) durante os primeiros anos das descobertas com o telescópio, que revolucionaram a Astronomia. Créditos: *Siderius Nuncius*, p. 60, à direita, e óleo sobre tela de Justus Sustermans (Galleria degli Uffizi – Florença, Itália), à esquerda.

Na época, Galileo também apontou seus telescópios para uma região no céu conhecida como Via Láctea, que hoje sabemos designar nossa galáxia. Ele mostrou, pela primeira vez, que aquela região da nossa galáxia era preenchida por um número incontável de estrelas. O trabalho de Galileo aumentou enormemente o número de estrelas conhecidas no céu. Antes era possível observar, a olho nu e em condições ideais, aproximadamente seis mil estrelas durante o transcorrer do ano. A Figura 1 mostra o aglomerado de estrelas Plêiades como registrado por Galileo em seu livro *Siderius Nuncius* e uma imagem do pioneiro italiano, feita pelo artista Justus Sustermans. Ao mirar os telescópios para as estrelas, Galileo e os astrônomos que o seguiram perceberam que o Universo possuía um número esmagador de estrelas, muito e muito mais que o olho humano conseguia captar. Nessa fase começava a nascer a astronomia estelar, dedicada exclusivamente ao estudo das estrelas.

A partir dos séculos XVIII, com novos e potentes telescópios, e no século XIX com o uso da fotografia, a astronomia estelar for vertiginosamente impulsionada. Foram descobertos e desenvolvidos métodos para inferir as distâncias das estrelas, a quantidade de luz emitida por elas e a composição química das mesmas. Entretanto, a compreensão das características físicas só pôde ser elucidada com o advento de novas teorias e descobertas na Física como o Eletromagnetismo, a Termodinâmica, a Relatividade e a Física Quântica.

IV. De Newton à Fraunhofer e o surgimento do espectroscópio

Muitas das culturas da Antiguidade tinham relações ritualísticas e religiosas importantes com algumas das estrelas mais brilhantes, como Sirius, Antares e obviamente, o Sol. Para todas essas culturas, no entanto, o funcionamento dessas estrelas seria governado por deuses ou deusas, ou mesmo pelo caos supremo, que imperava acima de qualquer capacidade humana de compreensão.

Os filósofos Epicuro e Demócrito, na Grécia Antiga, foram possivelmente os primeiros a propor que a natureza das estrelas noturnas era semelhante à do Sol, embora elas estivessem muito mais distantes. Nos séculos posteriores, novas ideias surgiram, novos fenômenos estelares foram observados, mas os astrônomos se contentaram em realizar apenas mapas mais precisos com as posições das estrelas, sem questionar de maneira mais criteriosa sobre o funcionamento das mesmas. O final do século XVI viu o pensador italiano Giordano Bruno ressurgir com as suposições gregas e defender que as estrelas eram como "sóis" distantes. Além disso, ele conjecturou que as mesmas estrelas deveriam também abrigar planetas, alguns, quiçá, semelhantes à Terra. Na aurora da ciência moderna, nossa compreensão da natureza do funcionamento das estrelas teve início no século XIX através da descoberta das linhas de Fraunhofer.

O alemão Joseph Ritter Von Fraunhofer não era astrônomo, mas um fabricante e polidor de lentes. Suas habilidades práticas fizeram dele um excelente construtor de equipamentos ópticos e lentes de qualidade, muitos deles utilizados por astrônomos de renome na época, como Otto Struve e Wilhelm Bessel. Em 1814, Fraunhofer desenvolveu um instrumento chamado espectroscópio, que iria revolucionar o estudo da natureza das estrelas no final daquele século, ainda, à época, infante. A Figura 2 ilustra Fraunhofer demonstrando sua invenção para especialistas em óptica, em bela fotogravura do artista Richard Wimmer.

Figura 2: Joseph Ritter Von Fraunhofer e seu espectroscópio estão no centro dessa bela fotogravura do artista Richard Wimmer. Embora a invenção do instrumento tenha ocorrido em 1814, a fotogravura foi realizada apenas em 1897, época em que a invenção de Fraunhofer difundia-se entre os astrônomos e ajudava na compreensão dos aspectos físicos das estrelas. Crédito: Richard Wimmer, "Fraunhofer Demonstrating the Spectroscope" (1897) in Essays on Astronomy, D. Appleton & company, 1900, p. 244 (LCCN 00004435).

Para entender a importância da invenção de Fraunhofer, vamos recuar na história até 1686. Naquele ano, o cientista inglês Isaac Newton pegou um pedaço de vidro inteiriço e fez um raio de luz passar por ele. Observou que o feixe de luz branca que vinha do Sol, ao passar pelo interior do vidro, produzia um feixe colorido. Esse feixe colorido é chamado de espectro da luz e é bem semelhante ao segmento colorido que vemos em um arco-íris. Newton entendeu, então, que havia uma espécie de interação entre a luz e o objeto de vidro (conhecido como prisma), que fazia com que a luz branca fosse separada nas cores violeta, azul, anil, verde, amarelo, laranja e vermelho. No caso do arco-íris essa interação se dá entre a luz solar e as gotículas de água em suspensão na atmosfera.

Depois de Newton, progressos importantes foram feitos nos séculos XVII e XVIII por nomes como Young, Herschel e Wollaston, que foi o primeiro a descrever o espectro da luz do Sol. No começo do século XIX, Fraunhofer desenvolveu novos materiais para a análise da luz, que proporcionavam a observação das cores com muito maior resolução e nitidez. Fraunhofer também isolou os prismas, permitindo que apenas uma quantidade

de luz passasse por eles, ao colocar uma fenda para que o raio de luz entrasse de forma direcionada. No feixe de saída, adicionou ainda outras lentes, que permitiam a ampliação do padrão de cores para visualização e análise do operador. Surgia o espectroscópio. A Figura 3 pode nos ajudar com essa descrição, mostrando o espectro formado por um prisma e a estrutura básica do espectroscópio.

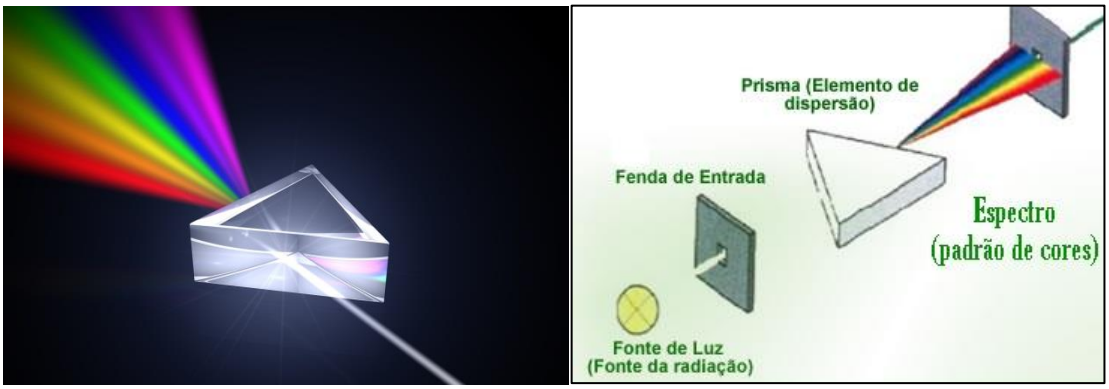


Figura 3: Essa figura mostra o processo de geração do espectro através de um prisma de vidro (esquerda), mostrando a separação da luz branca em suas cores constituintes e o esquema básico de um espectroscópio (direita), como construído por Fraunhofer em 1814. A figura expõe desde a coleta da luz através da fonte de radiação, passando pela fenda de entrada, pelo prisma, até produzir o espectro de cores. Créditos: imagens adaptadas de www.infoescola.com.br.

Mas o que isso tem a ver com o funcionamento das estrelas? Ao apontar sua invenção para o Sol, Fraunhofer notou que, além do padrão de cores, havia a presença de centenas de fracas linhas escuras, paralelas ao padrão de cores. Essas linhas estavam fixas contra o fundo das cores e Fraunhofer pôde contar 574 destas ao longo do espectro da luz solar. Ele também direcionou seu espectroscópio para outras seis estrelas brilhantes, incluindo Sirius, e descobriu que as linhas escuras também estavam presentes, embora o padrão fosse diferente do padrão solar. Com volume satisfatório de dados dos espectros, ele foi um dos primeiros a conjecturar que a presença das linhas escuras tinha relação direta com a natureza da fonte de radiação das estrelas, não importando a distância delas até a Terra. Em homenagem a ele, conhecemos hoje as linhas escuras do espectro solar como as linhas de Fraunhofer (Figura 4).

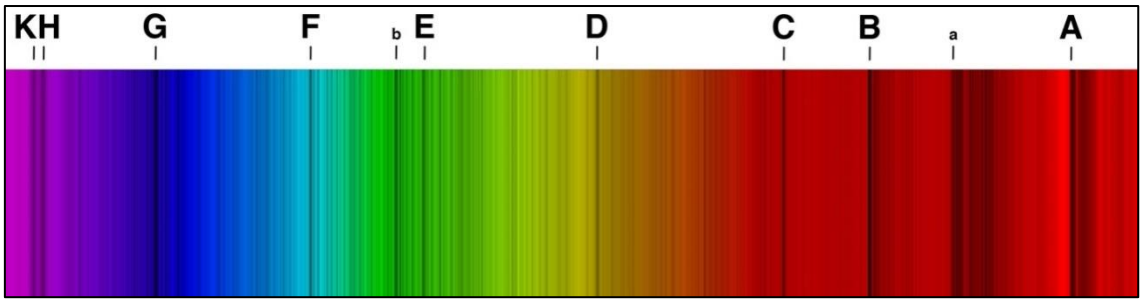


Figura 4: Essa figura mostra as inúmeras linhas de Fraunhofer (linhas escuras paralelas ao padrão de cores) contra o fundo de cores do espectro solar. A identificação de letras acima se refere à própria classificação de Fraunhofer. Repare que as linhas escuras aparecem em toda a extensão do espectro, mas suas intensidades e densidades variam. Créditos: Shenton Park Observatory e Paul Luckas, Australia.

Embora a invenção, as descobertas e as ideias de Fraunhofer representassem importantes avanços, ele não soube explicar de maneira satisfatória a presença do padrão de linhas escuras no Sol e em outras estrelas e, tampouco, a origem dessas linhas. Mas sejamos justos com Fraunhofer: era necessário esperar o surgimento de novas descobertas, invenções e principalmente novos desenvolvimentos na área da química e da física teórica e experimental.

A aurora da nova era de descobrimentos na ciência que explicaria as linhas dos espectros das estrelas e o funcionamento das próprias estrelas começou a surgir no final do século XIX através de duas vertentes, aparentemente divergentes, que se encontraram na revolução da física no começo do século XX: a química experimental e a termodinâmica.

V. Descobrindo, com a luz, do que as coisas são feitas

Trabalhando em laboratórios da Universidade de Heidelberg, Alemanha, os físicos Robert Bunsen e Gustav Kirchoff deram contribuições importantes à física e à química na segunda metade do século XIX. Uma delas foi a utilização da técnica da espectroscopia para análise das cores e linhas dos espectros que eram produzidos a partir do aquecimento de amostras químicas diversas. Esse processo de aquecimento era feito com uma chama de alta temperatura conhecida como bico de Bunsen, invenção do próprio Bunsen naquele mesmo período.

As amostras químicas submetidas a diversas condições físico-químicas permitiram a Kirchoff reconhecer padrões nas cores e linhas espectrais observadas e ele não tardou a perceber, também, que as linhas espectrais eram verdadeiras “assinaturas” das condições químicas e físicas da fonte emissora ou do meio que estava interagindo com a radiação. Em outras palavras, a presença das linhas espectrais, tais como as linhas escuras de Fraunhofer, tinha relação direta com a composição química do meio onde elas estavam sendo geradas.

Kirchoff conseguiu também, em partes, explicar o porquê da presença das linhas escuras no espectro das estrelas: segundo seu modelo teórico para explicar os espectros, as linhas escuras apareciam quando uma fonte de luz ou de calor muito intensa passava em frente a uma amostra gasosa mais fria. Neste caso, os componentes químicos da amostra de gás interagiam com a radiação da fonte de luz e produziam, na radiação emergente, as linhas escuras. Linhas essas que são, vale frisar novamente, como código de barras de cada elemento químico presente na amostra de gás (ou na estrela). Este tipo de espectro de linhas escuras é chamado de espectro de absorção, pois parte da radiação é bloqueada ou “absorvida” pelo meio, gerando um decréscimo de energia que aparece no espectro. A Figura 5 mostra o esquema de geração de um espectro de absorção, segundo a explicação de Kirchoff.

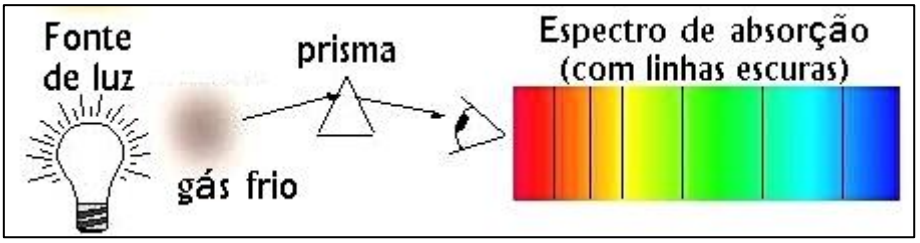


Figura 5: Esquema ilustrativo da geração de um espectro de absorção (espectro de linhas escuras): A fonte de luz interage com os componentes químicos do gás frio ao seu redor. Ao ser analisada por um prisma ou espectroscópio, essa radiação produz o espectro de linhas escuras (tais como as linhas de Fraunhofer) contra o fundo de cores. Imagem adaptada de https://www.physicsforums.com/threads/absorption-line-spectrum.748185/

Agora vamos fazer a “ponte” que vai nos levar finalmente a compreensão sobre o funcionamento das estrelas. Ao explicar os espectros obtidos das estrelas com as mesmas leis físicas que Kirchoff obteve em laboratório, foi amadurecendo entre os astrônomos,

tempos depois, a ideia de que as estrelas poderiam ser objetos gasosos com altas temperaturas nas regiões centrais, menores temperaturas nas regiões periféricas e que deveriam possuir constituição química passível de análise através da espectroscopia. Repare o quanto isso já representava de avanço frente às incipientes ideias sobre a natureza das estrelas, séculos atrás.

VI. Do laboratório para as estrelas

Diversos astrônomos de renome da segunda metade do século XIX como Huggins, Donati, Pickering e Draper começaram a utilizar a técnica da espectroscopia para estudo mais detalhado das estrelas. O astrônomo inglês William Huggins, estabelecendo um observatório particular nos arredores de Londres, foi um dos pioneiros do uso da espectroscopia para o estudo das estrelas. Coube a ele, entre outras descobertas, o aprimoramento para o registro fotográfico dos astros, a identificação dos espectros de nebulosas e a medição das velocidades das estrelas.

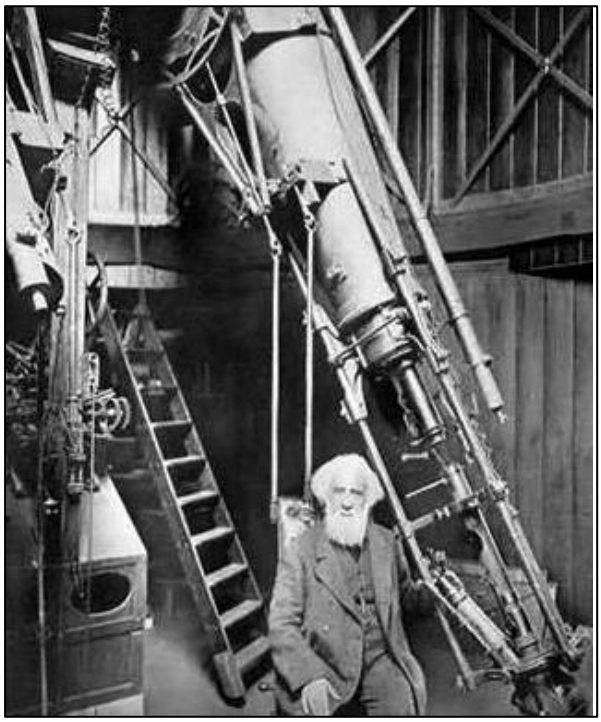


Figura 9: Esta imagem (ca. 1905) mostra William Huggins com o espectroscópio acoplado ao telescópio refrator de 15”no Observatório Tulse Hill. Imagem de domínio público: https://www.lindahall.org/william-huggins/.

Outro inglês que aderiu à técnica da espectroscopia para estudo estelar foi o astrônomo e físico Norman Lockyer. Juntamente com o francês Pierre Janssen, ele descobriu, surpreendentemente, um novo elemento químico no Sol em 1868. Tratava-se do hélio (símbolo químico He), que foi descoberto na Terra apenas em 1895, pelo químico William Ramsay.

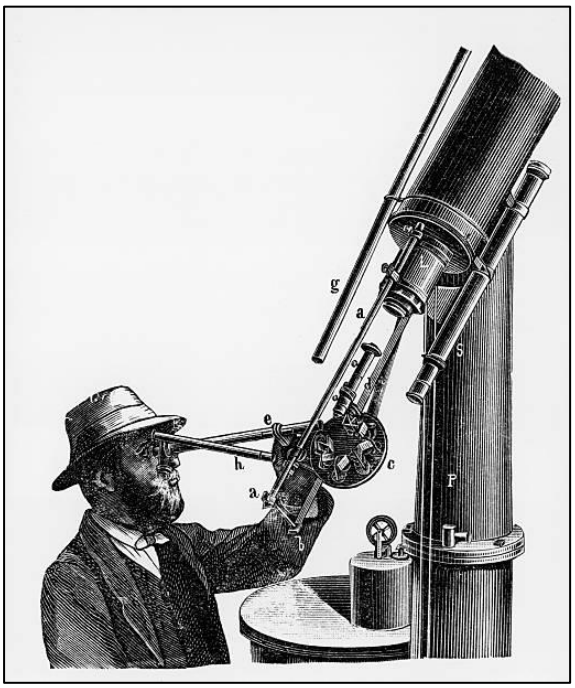


Figura 10: Modelo de espectroscópio solar utilizado por Norman Lockyer para a descoberta do elemento químico hélio em 1868. Créditos: Solar spectroscope, 19th century, United Kingdom (Photo by Science & Society Picture Library/SSPL/Getty Images).

Outros contemporâneos de Lockyer e Huggins, os astrônomos Angelo Secchi e Hermann Vogel coletaram um volume considerável de espectros estelares a partir da segunda metade do século XIX. Vogel e Secchi esboçaram uma primeira tentativa de se fazer uma classificação dos espectros estelares, mas esse trabalho foi aprimorado, bem mais tarde, pelo astrônomo estadunidense Henry Draper. Tendo falecido prematuramente em 1882, o trabalho de Draper foi alocado no Observatório de Harvard (Estados Unidos da América). Naquela instituição, uma equipe de astrônomas, encabeçadas por Williamina Fleming e Annie Jump Canon, dando continuidade ao trabalho de Draper, produziu o primeiro catálogo espectral das estrelas, classificando mais de duzentos mil objetos até o primeiro quarto do século passado. Ao observar os espectros das estrelas, a

equipe de Harvard notou que as linhas espectrais do elemento químico hidrogênio (símbolo químico H) eram as mais intensas e predominantes para a maioria das estrelas. Devido a este fato, a classificação original foi feita com base na presença e intensidade das linhas de hidrogênio. Com o tempo os astrônomos notaram que a presença de linhas de hidrogênio (e outras também) no espectro das estrelas estava relacionada com a temperatura superficial das mesmas, ou, em outras palavras, com suas cores espectrais.

A classificação estelar proposta pelo grupo de Harvard dividia as estrelas em sete grupos principais, designadas pelas letras O, B, A, F, G, K e M. Nessa classificação, as estrelas do tipo O são as estrelas com coloração levemente azulada e estão entre as mais quentes de todas as estrelas. As estrelas de tipo M são as mais frias, com coloração levemente avermelhada. Nossa estrela, o Sol, possui coloração levemente amarelada, possuindo uma temperatura de valor moderado. Cada uma das classes estelares possui características particulares como pode ser visto na Tabela 1.

Classe estelar	Cor espectral	Temperatura	Linhas espectrais observadas	Exemplo de estrela
O	Azul claro	> 30000º C	H (fraco) He, C, N, O, Si	Naos (Zetta Puppis)
B	Branco azulado	9800 – 30000º C	H, He, C, N, O, Mg, Si, S, Ne	Acrux (Alpha Crucis)
A	Branco	7300 – 9800º C	H (intenso), C, N, S, Fe, O, Al, Mg	Sírius (Alpha Canis Majoris)
F	Branco amarelado	5800 – 7300º C	H, C, Ca, Fe, Ti	Procyon (Alpha Canis Minoris)
G	Amarelo claro	5000 – 5800º C	H (fraco), Ca, Fe, Ti	Sol
K	Laranja amarelado	3500 – 5000ºC	H (muito fraco), Ti, Ca, TiO, CH	Aldebaran (Alpha Taurus)
M	Laranja avermelhado	> 3500º C	H(muito fraco), Ti, Ca, TiO, CH, linhas moleculares diversas	Betelgeuse (Alpha Orionis)

Tabela 1: Classificação espectral das estrelas indicando a cor, a temperatura superficial, as linhas espectrais observadas dos elementos químicos para cada tipo e um exemplo de estrela para cada classe. O Sol é classificado como uma estrela tipo G com temperatura moderada e presença de linhas metálicas como cálcio, ferro e titânio.

VII. Explicando as estrelas e o funcionamento do átomo

Além de conseguir estabelecer a relação da cor da estrela com sua temperatura superficial, os astrônomos começaram a identificar outras correlações de grandezas físicas com as propriedades espectrais, como a quantidade de luz que a estrela emite (conhecida como luminosidade da estrela) e o seu tamanho. Entre os anos 1910-1930, astrônomos e astrônomas, como Ejnar Hertzprung, Henri Russel, Cecília Payne, Arthur Eddington e George Gamow, forneceram as contribuições decisivas para que, no final da década de 1930, os alemães Hans Bethe e Carl Von Weizacker conseguissem descrever a fonte primordial de geração de energia das estrelas. Os antecedentes dessa conquista começaram a ser construídos no começo do século XX, quando a estrutura microscópica da matéria começava a ser revelada com a descoberta da radioatividade (no campo experimental) e da física quântica (no campo teórico).

Utilizando a hipótese do físico alemão Max Planck, o dinamarquês Niels Bohr conseguiu finalmente explicar a origem das linhas espectrais. Segundo Bohr, as linhas eram produzidas a partir da mudança da energia dos elétrons no interior do átomo. Essa mudança de energia, ocasionada por condições físicas diversas como mudanças de temperatura, colisões com partículas atômicas, campos magnéticos e interação com a própria radiação, implicava na emissão ou absorção de energia pelo átomo, que ficava "impressa" na radiação por ele detectada através da análise do espectro.

Repare atentamente na Figura 11, que mostra o funcionamento dos elétrons no átomo mais simples, o hidrogênio (H). Esse átomo possui um único próton central e um único elétron (e^-), que pode ocupar os cinco valores de energia (ou órbitas), indicadas pela letra n. Bohr mostrou que, dependendo das condições de energia, os elétrons "pulam" de uma órbita para outra (mudam de n) e nesse momento de "salto", uma linha espectral é gerada. Pulos ou saltos diferentes significam níveis de energia diferentes, o que irá gerar linhas espectrais diferentes, com frequências ou cores diferentes. A Figura 11 ilustra o caso do elétron na quinta, quarta e terceira órbita pulando para a segunda órbita. Cada pulo eletrônico, nesse caso, irá produzir uma linha espectral do átomo de hidrogênio diferente: quando ele pula da quinta para a segunda, gera uma linha no violeta. Quando o salto acontece da quarta para a segunda, uma linha na faixa verde e quando o pulo ocorre da terceira para a segunda, uma linha no vermelho.

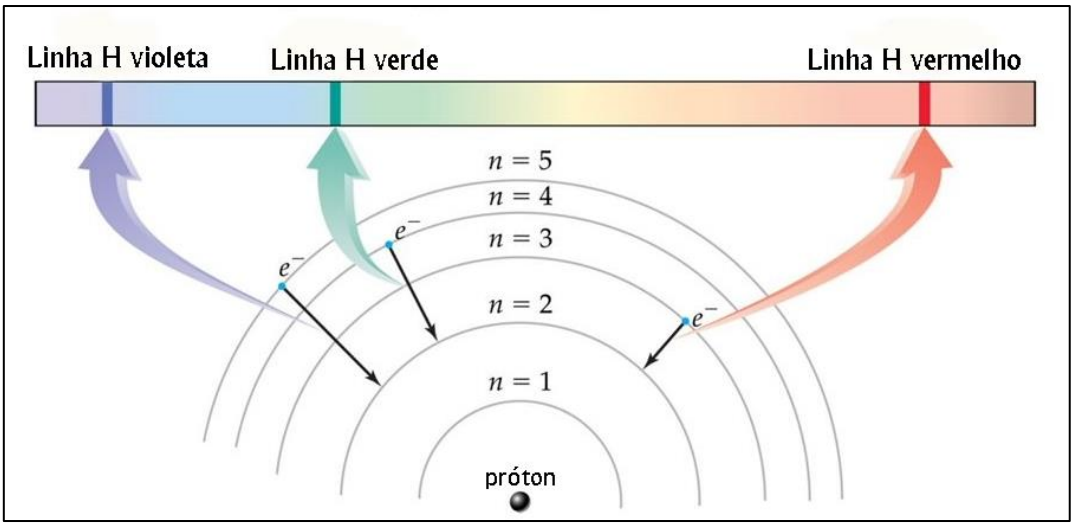


Figura 11: O modelo atômico proposto pelo dinamarquês Niels Bohr para explicar o funcionamento do átomo de hidrogênio e das linhas espectrais observadas em laboratório e nas estrelas. Crédito: Pearson Prentice Hall Educational, Inc.

Átomos mais complexos como os de carbono, alumínio ou ferro possuem configurações eletrônicas mais complicadas e suas interações com a radiação irão gerar linhas espectrais com padrões bem diferentes daqueles do hidrogênio. Quer saber quais foram os elementos que Fraunhofer detectou no Sol com seu espectroscópio? Na Figura 12 reproduzimos novamente a Figura 4, indicando os elementos químicos referentes à classificação de Fraunhofer (indicada na Figura 4) das principais linhas espectrais.

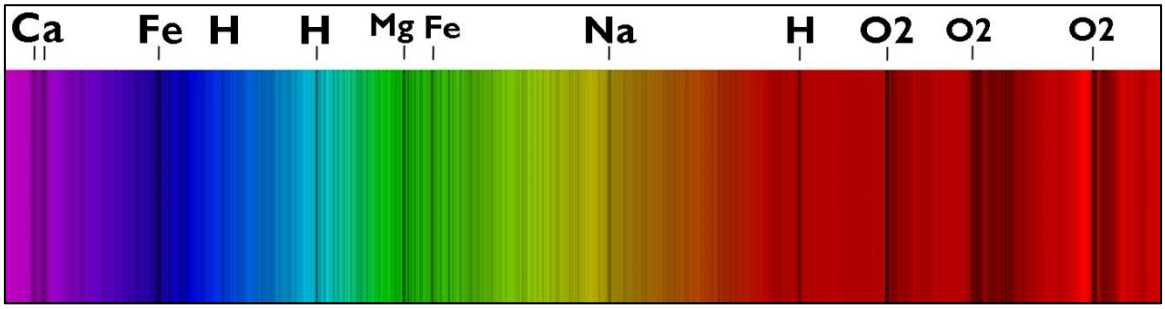


Figura 12: Linhas de Fraunhofer do espectro solar com a indicação dos elementos químicos: cálcio (Ca), ferro (Fe), hidrogênio (H), magnésio (Mg) e sódio (Na). As linhas de oxigênio (O2), presentes na região vermelha do espectro, ocorrem devido a absorção da radiação solar pelos átomos de oxigênio da atmosfera terrestre. Créditos: imagem adaptada de Shenton Park Observatory e Paul Luckas, Australia,

As manifestações da energia atômica, desconhecidas até então, fizeram os astrônomos conjecturar que nos interiores das estrelas as condições deveriam ser propícias para manifestação de tais formas de geração de energia. Antes, no final do século XIX, a ideia mais aceita para geração de energia das estrelas era a partir da energia gravitacional, sustentada apenas pela quantidade de massa da estrela. Para os físicos, que se apoiavam nas leis da termodinâmica, a contração da estrela pela gravidade converteria parte da energia em calor, fazendo a estrela brilhar. Apesar do raciocínio bem embasado, os cálculos indicavam que essa forma de geração de energia não poderia suprir o brilho das estrelas por longas escalas de tempo (milhões ou bilhões de anos).

O grande volume de dados espectroscópicos coletados das estrelas e o avanço teórico da física atômica até os anos 1930 contribuíram de forma crucial para os trabalhos de Bethe, Weizacker e colaboradores. Eles mostraram que os interiores estelares possuem condições adequadas para geração de uma nova forma de energia: a energia através da fusão nuclear. A fusão nuclear é a união de núcleos de átomos (prótons) para formar novos átomos e, a partir desse processo, gera energia. Embora já tivesse sido sugerido anteriormente que a fusão de átomos de hidrogênio, produzindo átomos de hélio, poderia ser a fonte primária de energia das estrelas, foram os cálculos detalhados de Bethe e Weizacker que mostraram que, *grosso modo*, a conversão de quatro núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio geraria uma quantidade de energia estupenda, capaz de fazer o Sol e as outras estrelas brilharem por longas escalas de tempo, solucionando assim as deficiências dos cálculos anteriores.

No caso do Sol, os cálculos indicam bilhões de anos de produção de energia, o que está em perfeito acordo com as indicações de idade da Terra a partir de estudos geológicos e da idade do Sistema Solar, a partir da análise de meteoritos.

Quais as condições adequadas para a geração dessa energia nas estrelas? A composição rica em hidrogênio, já revelada desde o século XIX através das análises dos espectros pela dupla Kirchoff e Bunsen, o grande volume de matéria das estrelas e condições duradouras de altas temperaturas, pressões e densidades para que as reações de fusão nuclear possam ocorrer. A Figura 13 ilustra o processo de geração de energia de uma estrela como o Sol.

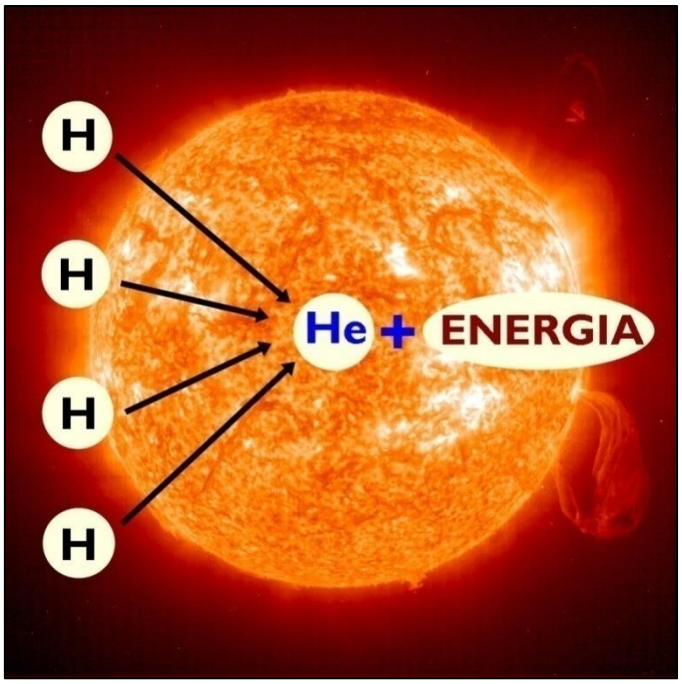


Figura 13: Esquema ilustrando o processo de geração de energia de uma estrela como o Sol: núcleos de átomos de hidrogênio (H) se fundem no interior da estrela para formar um núcleo do átomo de hélio (He) e liberar a energia responsável pelo brilho da estrela. Créditos: imagem adaptada de SOHO – EIT Consortium, ESA, NASA.

A partir da década de 1940, os astrônomos fizeram muitos progressos na compreensão do funcionamento das estrelas. Com o uso das teorias e descobertas da física e com os desenvolvimentos nas áreas de eletrônica, computação, engenharia aeroespacial e óptica, novos e potentes telescópios revelaram muito mais estrelas em nossa vizinhança solar e nas mais remotas galáxias.

Mas o que vem a ser de fato uma estrela? Hoje sabemos que as estrelas são, *grosso modo*, esferas gasosas com altíssimas temperaturas e pressões, capazes de gerar seu próprio brilho e calor a partir da fusão nuclear de elementos químicos em seu interior. Uma coisa muito interessante que os astrônomos descobriram é que a fusão nuclear nas estrelas é também o processo mais eficaz em gerar os elementos químicos que conhecemos e fazem parte do nosso planeta, das rochas, das plantas e da nossa própria constituição corporal. Tudo o que vemos em nosso mundo foi formado nas estrelas e depois processado e organizado no processo físico que formou o Sol e todo o Sistema Solar.

Mas será que a aventura dos astrônomos acabou com a descoberta do motor das estrelas no século passado? Certamente que não. Há muitos detalhes das estrelas e de outros astros (alguns bem minuciosos) que permanecem como desafios para cada geração de pesquisadores e curiosos exploradores do Cosmo. No futuro, novas tecnologias, como foi a espectroscopia, e interessantes descobertas possivelmente irão ocorrer, aumentando ainda mais o conhecimento humano sobre Universo e sobre nossa curta jornada de vida na Terra.

VIII. Inovação tecnológica e novas luzes para a compreensão do Universo

O aprimoramento na coleta e medidas dos espectros e das características da luz emitidas por estrelas, planetas ou mesmo para a análise das amostras químicas de laboratório foi auxiliado pela crescente evolução na manufatura e qualidade óptica dos espectroscópios. Diversos profissionais contribuíram para que o espectroscópio se tornasse ferramenta importante, a partir do final do século XIX, em diversos observatórios em todo o mundo. Os observatórios de Yerkes, Palomar, Monte Wilson(os três nos EUA) e Paris estão entre os grandes da época a agregar as novas tecnologias para estudo do Cosmos. Aliado a isso estão os desenvolvimentos no campo da óptica, com construção de prismas e redes de difração mais eficientes para geração dos espectros e o advento da fotografia para o registro e análise posterior.

O investimento em instrumentação científica floresceu em países como Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos da América. Empresas como Alvan Clark & Sons, Troughton & Simms, John Browning, John Brashear Company Ltd. e T. Cooke & Sons foram entre as muito requisitadas para construção de espectroscópios, acessórios e recursos para astrônomos que estavam fazendo descobertas de extrema relevância para o entendimento das estrelas e da natureza intrínseca da matéria. As Figuras 14 e 15 ilustram algumas das tecnologias produzidas para os espectroscópios nessa época.

Figura 14: Essa imagem mostra o astrônomo Frederick Slocum junto ao telescópio refrator de 12” do Observatório de Ladd, na cidade de Providence (EUA) em 1905. O espectroscópio, acoplado ao telescópio nessa mesma imagem, foi construído no final do século XIX pela empresa John A. Braschear Company Ltd. Créditos: Ladd Observatory, Brown University (EUA).

Figura 15: Espectroscópio de prisma (circa 1868) com divisão em semi-círculo construído por John Browning em Londres, Inglaterra. Créditos: Jensen-Thomas Aparatus Collection, University of Cincinnati (EUA).

A companhia T. Cooke & Sons foi fundada por Thomas Cooke, em 1837, na cidade de York, North Yorkshire, Inglaterra. Além da construção de relógios, a empresa disponibilizava telescópios, lunetas, teodolitos, montagens, espectroscópios e diversos outros acessórios científicos. Parte do instrumental da companhia ainda se encontra conservada em diversos locais do mundo, como o telescópio refrator de 8” do Observatório da Universidade de Londres, o restaurado refrator de 6”, de posse do Museu de Ciência e Tecnologia do Canadá, e o refrator do Observatório da Universidade de Odessa, Ucrânia.

O acervo de ciência e tecnologia (C&T) brasileiro também conta com instrumentação importante da companhia, incluindo os refratores Cooke & Sons de 46 cm, pertencente ao Observatório Nacional e o refrator de 30 cm, pertencente ao Observatório do Valongo (OV/UFRJ), todos alocados na cidade do Rio de Janeiro. O Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), situado na mesma cidade, conta com importante acervo de C&T, incluindo espectroscópios construídos pela firma Cooke & Sons no final do século XIX.

Figura16: Espectroscópio solar de prisma (circa 1880) produzido pela companhia Cooke& Sons. Créditos: acervo museológico de C&T do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), Rio de Janeiro.

A partir da segunda metade do século XX, recursos computacionais e eletrônicos vieram a incrementar a produção, qualidade e precisão dos instrumentos em espectroscopia. Com o advento da corrida espacial, sondas foram enviadas a outros planetas, telescópios espaciais foram lançados e novos e poderosos observatórios na superfície da Terra vieram a revelar um Universo completamente novo aos olhos do homem.

VIII. Bibliografia

ARANY-PRADO, L. I. *À luz das estrelas*. Rio de Janeiro: DP&A, 2006. 160 p.

OLIVEIRA FILHO, K. S., OLIVEIRA SARAIVA, M. F. *Astronomia e Astrofísica*. 3. ed., São Paulo: Livraria da Física, 2014. 640 p.

ALVES SILVA, G. *Constelações, origem, evolução e história*. Rio de Janeiro: Fábrica de livros do Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial, 2004. 159 p.

HEARNSHAW, J. *Astronomical spectrographs and their history*. New Zealand: University of Canterbury, 2009. 240 p.

HORVATH, J. E. *O ABCD da Astronomia e Astrofísica*. 2· ed. São Paulo: Livraria da Física, 2008. 232 p.

HOSKIN, M. (ed.). *The Cambridge concise History of Astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 361 p.

KAUFMANN, W. J. & COMINS, N. F. *Descobrindo o universo*. 8 ed. Porto Alegre: ArtMed, 2010. 624 p.

Magnetômetro (1997/0746)
Fabricante: Otto Toepfer & Sohn; século XX (atribuição)

Nuvem de palavras constituída pela leitura feita pelos visitantes da Sala de Leitura de Objetos do MAST, durante o período de exposição do Magnetômetro 1997/0746.

Medindo o campo magnético da Terra

Katia J. Pinheiro e Cristiano M. Martins

Notas biográficas

Katia J. Pinheiro é graduada em Oceanografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2001), mestrado em Geofísica pelo Observatório Nacional (2003) e doutorado no ETH Zurique (Suíça) em geomagnetismo, de 2004-2009. Trabalha desde 2009 como pesquisadora em geomagnetismo no Observatório Nacional. Realizou pós-doutorado na Universidade de Nantes (França), entre 09/2013 e 08/2014 e trabalhou como pesquisadora convidada na mesma universidade de 09/2015 a 08/2016. Em 2018 foi contemplada pelo Instituto Serrapilheira no seu projeto sobre a natureza dos impulsos geomagnéticos no núcleo terrestre. Tem experiência na área de geomagnetismo, atuando principalmente nos seguintes temas: variação secular geomagnética, observatórios magnéticos, processamento de dados magnéticos e modelagem da condutividade elétrica do manto.

Cristiano M. Martins é graduado em Física pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2002) e Doutorado em Geofísica pelo Observatório Nacional (2009), Pós-doutorado em gravimetria satelital pela Università degli studi di Trieste, Itália (2016). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geofísica Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: inversão gravimétrica, métodos potenciais, interpretação em bacias sedimentares, estimativa do relevo de bacias sedimentares e distribuição de densidade, geomagnetismo.

I. Introdução

O que imaginamos quando observamos o instrumento mostrado na Figura 1?

Figura 1: Instrumento clássico de geomagnetismo exibido na Sala de Leitura de Objetos do Museu de Astronomia e Ciências Afins - MAST/MCTIC.

Cada pessoa tem um olhar diferente quando se depara com um objeto em uma exposição. Neste caso, se observarmos com cuidado veremos que se trata de um objeto científico. Há algumas indicações para isso, como o nível de bolha, a escala na frente e os precisos pés que sustentam a estrutura. Mas o que será que este instrumento mede e como? De qual material ele é feito? Será que ele foi importante para pesquisas científicas no passado e/ou no presente? Por quais lugares este instrumento já passou?

Nós somos pesquisadores na área de geofísica, mais especificamente estudamos as variações do campo magnético da Terra no tempo. A primeira coisa que pensamos é

que esse instrumento se parece muito com os instrumentos clássicos[53] que mediam o campo magnético da Terra no passado. Ele difere um pouco dos instrumentos clássicos até então conhecidos pelos autores, principalmente pela presença da escala que nos fez pensar que seja o caso de um instrumento para medições absolutas, espaçadas no tempo, na qual uma pessoa deveria anotar a leitura que veria na escala. Será?

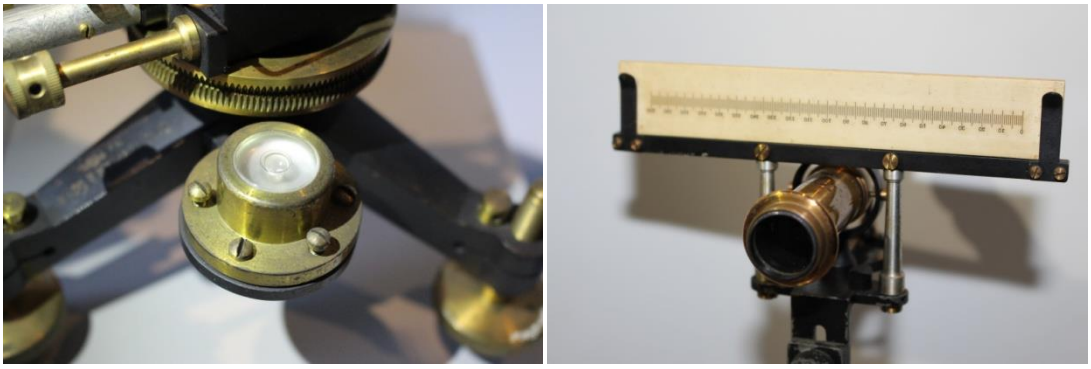


Figura 2: Detalhes do instrumento clássico mostrado na Figura 1: nível de bolha (esquerda) e escala (direita).

Mas antes de entrarmos neste nível de detalhes, gostaríamos de passar um pouco da nossa visão. Há dois fatos principais: este instrumento é antigo e tem a função de medir o campo magnético da Terra. Por isso na nossa imaginação viajamos brevemente na **história do geomagnetismo (seção II)**. Depois pensamos sobre o que instrumentos de geomagnetismo medem de forma geral. Eles medem em um determinado local o campo magnético que é a soma das contribuições de todas as fontes magnéticas sensíveis ao instrumento, dentre estas fontes está o campo do núcleo e da magnetosfera. Estas medições nos dão informações fundamentais sobre a **natureza do campo magnético da Terra (seção III)** e como ele varia no tempo e no espaço. Mas onde normalmente esses instrumentos realizam estas medidas? Os **observatórios magnéticos (seção IV)** são locais fixos onde o campo pode ser medido de forma precisa e livre de influências magnéticas artificiais. Isto porque para medirmos apenas o campo magnético natural com

[53]Um instrumento clássico é aquele que registra o campo magnético de forma analógica e não digital (como atualmente). O registro dos variômetros clássicos era em papel fotográfico que deveria ser trocado a cada 24 horas.

precisão é necessário que o instrumento não esteja nas proximidades de redes elétricas, carros e tubulações. Além disso nenhum objeto metálico deve estar perto do instrumento, mesmo uma simples caneta pode influenciar nas medições. Por isso, instrumentos que medem o campo magnético da Terra são cuidadosamente construídos de forma a não conter partes que causem alterações artificiais nas medidas magnéticas. **O que medem os instrumentos de geomagnetismo?** As características gerais desses instrumentos assim como **uma pesquisa sobre o instrumento em questão** serão apresentadas na **seção V**. Finalmente, são apresentados os **desafios (seção VI)** para o futuro.

II. Uma breve história do geomagnetismo

A história do geomagnetismo pode ser dividida em três fases principais (JONKERS, 2007). Na **primeira fase** (até o século XVI) foram desenvolvidos os primeiros conhecimentos sobre a existência de um campo magnético global. A descoberta da existência deste campo global ocorreu em 1600 quando um cientista chamado William Gilbert concluiu que o campo magnético da Terra era muito semelhante ao de um grande imã. Na **segunda fase**, de 1600 até o início do século XIX, com as grandes navegações, a quantidade de medidas da direção do campo magnético realizadas em diversas partes do planeta aumentou consideravelmente, especialmente usando-se instrumentos clássicos para medir ângulos do campo local com a direção norte, chamado de declinação, e com a vertical, ângulo conhecido como inclinação. Foi quando descobriram que o campo magnético da Terra varia lentamente no tempo - a chamada variação secular. Na **fase atual**, desde 1830, iniciaram-se as medições da intensidade do campo, além das medições de direção.

Carl Friedrich Gauss foi um dos cientistas que mais contribuiu com o geomagnetismo. As suas contribuições estão relacionadas às medidas absolutas do campo geomagnético, análise do campo em termos de harmônicos esféricos (formalismo matemático que permite descrever, modelar e prever o comportamento de campos físicos, inclusive o magnético) e a organização dos primeiros observatórios magnéticos (GARLAND, 1979). Em 1832, Gauss desenvolveu um experimento no qual foi capaz de medir a intensidade absoluta do campo. Junto com Wilhelm Weber organizou uma cooperação internacional para medições magnéticas em diferentes lugares do globo. Foi o início da fundação dos primeiros observatórios magnéticos. Além disso, Gauss desenvolveu uma importante

teoria matemática baseada nos harmônicos esféricos que permitiu separar fontes internas do planeta, geradas no núcleo e crosta, de fontes externas ao planeta, hoje interpretadas como sistemas de correntes na ionosfera e magnetosfera. A análise em harmônicos esféricos é utilizada intensamente até hoje em pesquisas de geomagnetismo.

O estudo do campo magnético da Terra sempre foi de grande importância histórica, tanto para a orientação nas navegações quanto para um melhor conhecimento sobre o interior do nosso planeta. Nos dias atuais há muita pesquisa sendo desenvolvida em geomagnetismo. Alguns tópicos ainda estão em pleno debate, como, por exemplo, os processos planetários que originam este campo magnético e as suas consequências para a Terra.

III. A Natureza do campo magnético da Terra

Medir as variações temporais do campo geomagnético é fundamental já que esse campo funciona como um escudo protetor para o vento solar e raios cósmicos (partículas com altas energias compostas de prótons e outros núcleos atômicos que vêm do espaço em direção à Terra). Esse escudo protetor, representado pelas linhas de campo na Figura 3, é gerado no interior da Terra, especificamente no núcleo externo a uma profundidade de cerca de 3000 km. O núcleo externo é composto de um líquido rico em ferro que está em constante movimento. No núcleo o movimento deste fluido altamente condutor gera correntes elétricas e, consequentemente, o campo magnético principal da Terra. Esse processo de geração do campo magnético no núcleo é chamado de geodínamo.

Além do campo do núcleo, há também o campo magnético proveniente da interação com as partículas que vêm do Sol (Figura 3) que afeta a ionosfera (parte ionizada da atmosfera entre 60 e 1000 km de altitude) e magnetosfera (área controlada pelo campo magnético terrestre, entre 6 a 10 raios da Terra no lado do dia e chegando até 1000 raios da Terra no lado da noite). As tempestades magnéticas ocorrem quando há fortes ejeções de plasma solar na direção da Terra. Essas tempestades podem afetar nossos sistemas de comunicação por satélite, como por exemplo o GPS, e consequentemente causar grandes prejuízos para a sociedade. Então, um estudo aprofundado do campo geomagnético é de grande importância tanto prática para a sociedade quanto para o desenvolvimento científico.

Figura 3: Ilustração das diferentes fontes do campo magnético medido na superfície terrestre: o campo interno gerado no núcleo terrestre e o campo gerado pela interação entre o vento solar e o campo interno.

IV. Observatórios Magnéticos

Os observatórios magnéticos são fundamentais para monitorar as variações temporais do campo geomagnético durante longos períodos, com grande precisão e de forma contínua. Quando medimos o campo em um observatório, registramos tanto o campo do núcleo quanto o campo externo. Métodos matemáticos foram desenvolvidos para conseguirmos separar essas duas fontes. Esses dados são usados para a elaboração de modelos globais do campo geomagnético, calibração dos dados de satélite e para estudos de prospecção mineral.

IV.1 Observatórios e Fenômenos Magnéticos no Brasil

O Brasil possui atualmente dois observatórios magnéticos: Vassouras (VSS), a 120 km do Rio de Janeiro, e Tatuoca (TTB), uma ilha localizada próxima a Belém (Pará). VSS opera quase sem interrupção desde 1915, sendo um dos mais antigos do mundo, e TTB funciona desde 1957. A longa série histórica de dados geomagnéticos coloca o Brasil em posição de destaque no cenário mundial. Os dados destes observatórios são usados em pesquisas de ponta de geomagnetismo no Brasil e em diversas instituições de pesquisa no mundo.

O Brasil é privilegiado em relação ao campo geomagnético. Há dois fenômenos que acontecem atualmente no território brasileiro de grande importância científica: Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e a proximidade do equador magnético (Figura 4). A AMAS é o local da superfície da Terra com menor intensidade do campo. Neste local, onde o campo é mais fraco, a Terra fica mais vulnerável à efeitos do vento solar e às tempestades magnéticas. Além disso, essa anomalia é muito importante para estudarmos a dinâmica dos processos que ocorrem no interior profundo da Terra onde o campo principal é gerado. A evolução da AMAS no tempo é consequência de processos dinâmicos que ocorrem no fluido condutor do núcleo externo. Lembre-se que não conseguimos atingir diretamente através de poços, nem 1% da profundidade da Terra, quanto mais atingir o núcleo. Desta forma, as observações do campo na superfície da Terra são fundamentais para entendermos o que ocorre no interior do nosso planeta.

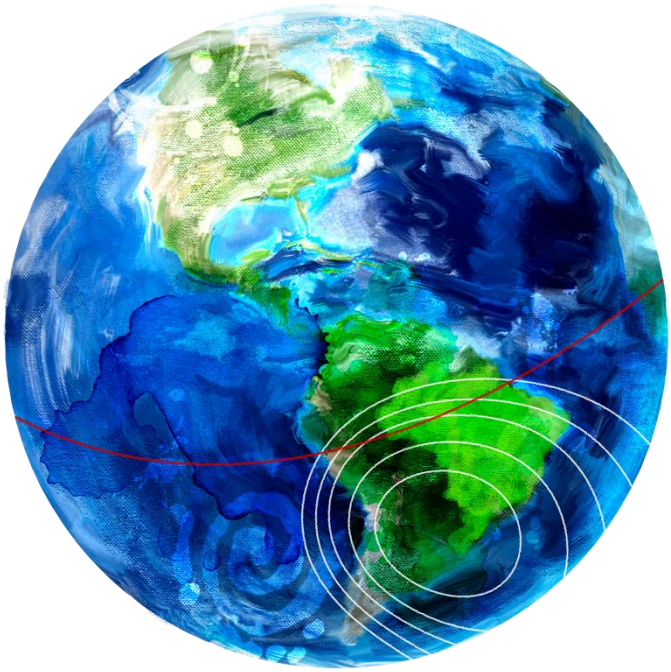


Figura 4: Ilustração da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (linhas brancas) e equador magnético (linha vermelha).

O equador magnético é a região na superfície terrestre onde o campo é completamente horizontal (veja na Figura 5, quando F=H), ao contrário do que ocorre nos pólos magnéticos, onde o campo é totalmente vertical (F=Z). Uma consequência desta horizontalidade do campo é a formação de intensas correntes elétricas na ionosfera a cerca

de 100 km de altitude, num fenômeno chamado de eletrojato equatorial cuja ocorrência pode se estender de + 3 a – 3 graus de latitude em relação ao equador magnético. O observatório de Tatuoca, próximo a Belém, é extremamente valioso justamente por registrar esse fenômeno tão de perto. Como um lembrete de que o campo magnético varia no espaço e com o tempo, foi registrado em 2012 a passagem do equador magnético e do seu associado, o eletrojato equatorial, sobre o observatório de Tatuoca. Hoje o equador magnético localiza-se ao norte de Tatuoca, mas a influência do eletrojato continua a ser observada nos dados. Este fenômeno é importante tanto para estudos da dinâmica da ionosfera quanto para pesquisas envolvendo a evolução do campo magnético principal no núcleo.

V. O que medem os instrumentos de geomagnetismo?

O campo magnético é uma grandeza vetorial, ou seja, em cada ponto do espaço possui uma intensidade e direção. Portanto, para caracterizar o campo magnético em um determinado local são necessários instrumentos que medem ambos: a intensidade e a direção. Normalmente a intensidade ou campo total é designado por "F", as componentes norte, leste e vertical por X, Y e Z, respectivamente (MERRIL et al., 1996). O ângulo de declinação (D) é aquele entre o norte verdadeiro e a projeção horizontal do campo (H), enquanto que o ângulo de inclinação (I) é entre a componente horizontal (H) e o campo total (F). Por simples relações trigonométricas é possível medir algumas componentes e calcular outras. Por exemplo, alguns observatórios magnéticos medem H, D e Z, enquanto outros X, Y e Z, sendo que todos realizam medidas de F.

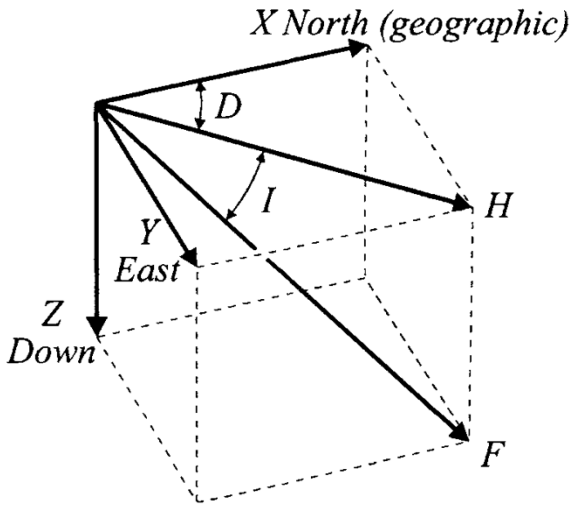


Figura 5: Componentes do campo magnético (MERRIL et al., 1998).

Para estudar fenômenos magnéticos como as tempestades e a evolução do campo no tempo, são necessárias medições. Atualmente, estas medições são feitas em observatórios magnéticos, estações e satélites. Os observatórios são locais fixos onde são instalados os variômetros[54] e os instrumentos de medição absoluta. Os variômetros foram os primeiros instrumentos com objetivo de monitorar as mudanças do campo magnético no tempo. As medições relativas[55] obtidas pelos variômetros são atualmente realizadas por instrumentos digitais e automáticos que medem o campo a cada segundo. Há também medições absolutas que são manuais e feitas duas vezes por semana por técnicos especializados. Atualmente todos esses dados gerados são transferidos dos equipamentos diretamente para computadores, onde são processados e usados em trabalhos científicos. Mas como essas medições eram feitas no passado?

Em 1832, Gauss introduziu um novo procedimento determinando o momento magnético, além do período de oscilação da agulha que fornecia valores relativos do

[54]Variômetro é o instrumento automático, como o fluxgate, que realiza a medida a cada segundo ou menos. No variômetro não há necessidade de intervenção (somente quando há ocorre algum problema). Magnetômetros são todos os instrumentos que medem o campo magnético da Terra, incluindo os absolutos e relativos.

[55]O instrumento que faz medida relativa é o fluxgate e ele mede três componentes do campo, pode ser por exemplo X, Y, Z ou H, D, Z. O fluxgate mede o campo magnético atualmente em uma resolução temporal de segundo ou menos. Já o instrumento que faz a observação absoluta é o DI-fluxgate teodolito que é um magnetômetro acoplado em um teodolito (sendo este livre de ferro para não afetar as observações). Os instrumentos relativos são automáticos, já os absolutos necessitam de um técnico treinado que realiza as observações duas vezes por semana.

campo. O registro contínuo dos componentes do campo era feito em um papel fotográfico que deveria ser trocado todos os dias. Esse registro é chamado de magnetograma (Figura 6).

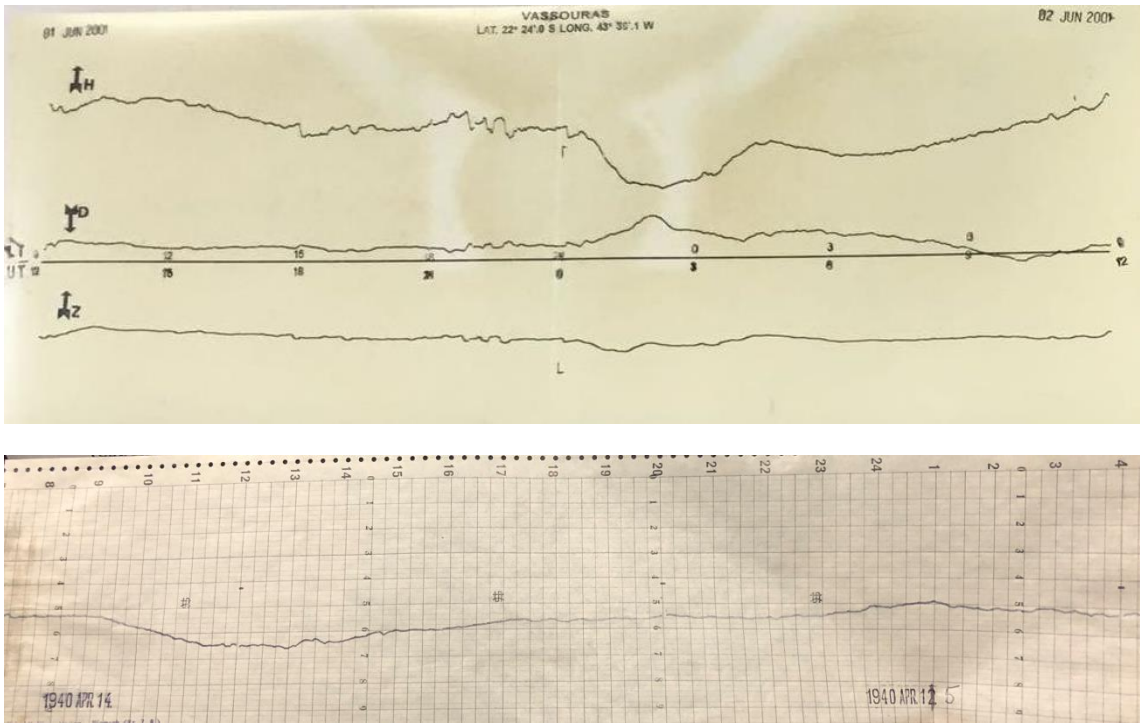


Figura 6: Registro de 24 horas do campo geomagnético em papel fotográfico (magnetograma) de VSS (acima) no dia 02 de junho de 2001 e do Observatório de Niemegk (GFZ- Alemanha) de 14 de abril de 1940.

V.1 Pesquisa sobre o instrumento em questão

O Observatório Nacional possui uma colaboração científica com o Instituto de Pesquisa da Alemanha GFZ (Potsdam). A colaboração inclui recuperação de dados magnéticos antigos, modernização dos observatórios do Brasil, instalação de novas estações magnéticas, processamento e modelagem dos dados. Durante uma visita ao Observatório Magnético de Niemegk (GFZ- Alemanha) houve a oportunidade de visitar um museu de instrumentos magnéticos clássicos (Figura 7a). Nenhum dos instrumentos da exposição de Niemegke do Observatório Nacional é similar ao instrumento exposto no MAST. O mais próximo que encontramos na exposição é mostrado na Figura 7c, por causa da régua que provavelmente era usada para medidas absolutas. O variômetro

encontrado na Figura 7d segue os padrões tradicionais dos instrumentos também expostos no ON (Figura 7b).

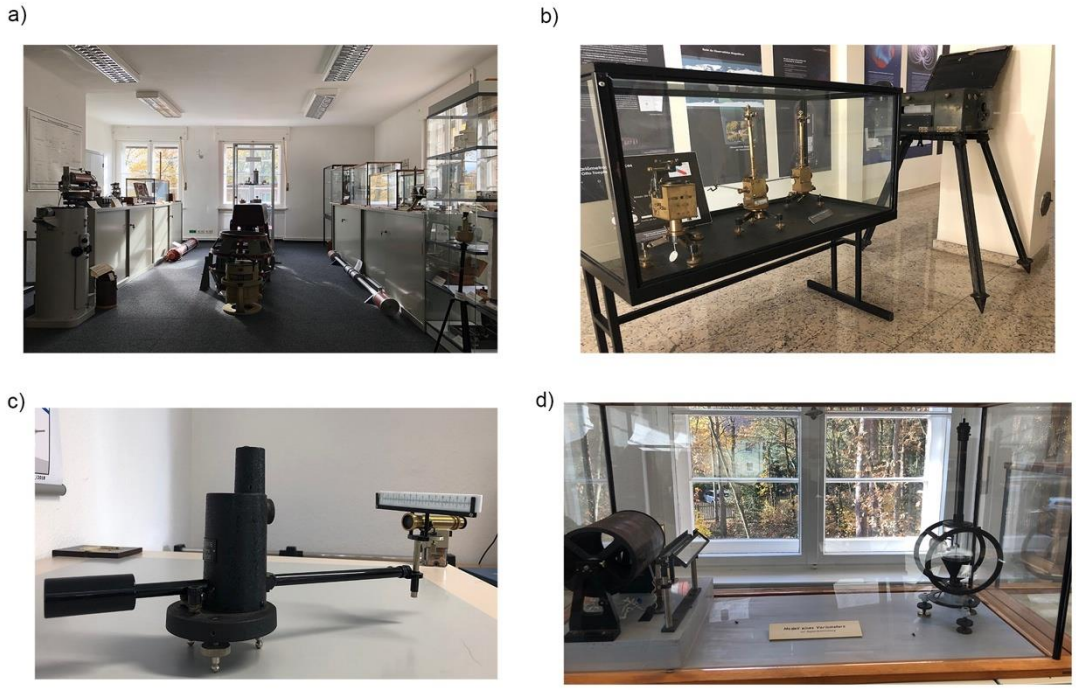


Figura7: (a) Exposição de instrumentos clássicos no Observatório de Niemegk; (b) no Observatório Nacional; (c e d) dois instrumentos expostos em Niemegk.

Concluímos que há algo de muito diferente no variômetro exposto no MAST, comparado aos outros que conhecemos... a presença da escala, afastada por uma haste do corpo central do instrumento. Claramente não se trata dos mesmos instrumentos que registravam o campo em papel fotográfico (Figura 7b e d). Imaginamos que a leitura do campo seria feita na escala, mas como?

Para pesquisar sobre o instrumento em questão nós primeiro o observamos, buscamos referências sobre instrumentos clássicos em geomagnetismo, realizamos a visita ao museu de instrumentos clássicos no observatório da Alemanha, onde foi possível conversar com um especialista em observatórios magnéticos.

Na primeira etapa de observação notamos o registro do seu fabricante: Otto Toepfer & Sohn (Figura 8). Otto Toepfer (1845-1914) fundou a empresa em 1873, especializada em engenharia de precisão e ótica. A empresa era localizada em Potsdam (Alemanha) e em 1919 foi adquirida pela empresa Carl Bamberg. O Observatório

Meteorológico Magnético Potsdam, fundado em 1891, logo se tornou um dos principais clientes Otto Toepfer & Sohn. O "US Coast and Geodetic Survey" adquiriu diversos variômetros Toepfer[56] em 1901 e os utilizou por muitos anos. Não sabemos quando e como o instrumento em questão chegou no Brasil, acreditamos que foi provavelmente para uso no Observatório Magnético de Vassouras em 1915. Observamos também a cor e material do instrumento. Não sabemos exatamente o material que constitui o instrumento, mas certamente não há peças contendo ferro, que influenciariam diretamente nas medidas do campo magnético natural da Terra. Instrumentos clássicos eram feitos principalmente de madeira, latão e cobre que são materiais não-magnéticos. Uma descrição histórica dos instrumentos clássicos pode ser obtida em GOOD (2007).

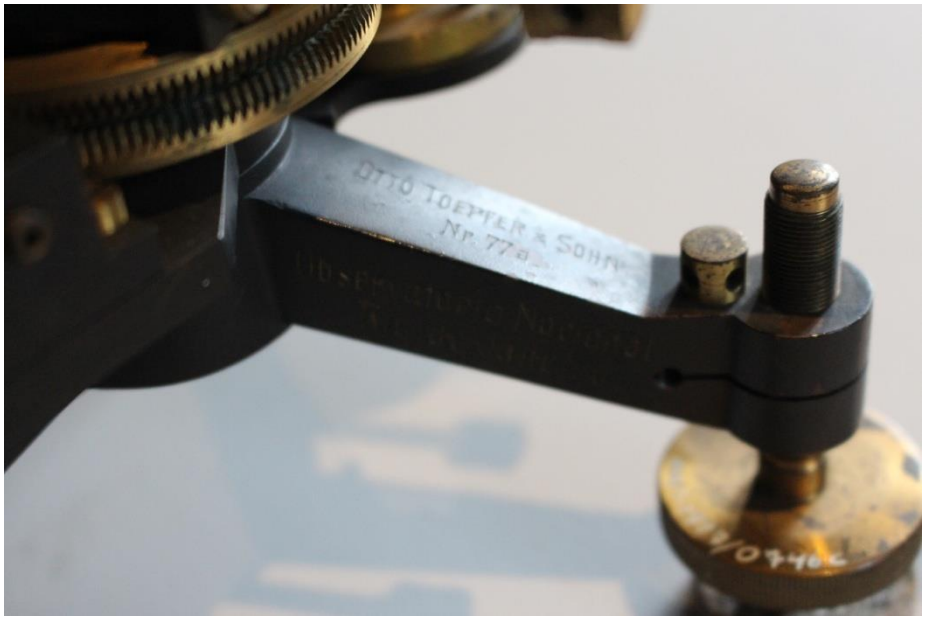


Figura 8: Detalhe do instrumento, mostrando o registro da marca Otto Toepfer & Sohn.

Conversamos com um especialista em observatórios magnéticos que cooperou conosco nos observatórios do Brasil. O Dr. Joachim Linthe é pesquisador aposentado do Observatório Magnético de Niemegk (Alemanha). Em 2017, um dos autores do presente texto teve a oportunidade de visitar aquele observatório, um dos mais antigos do mundo. Lá eles possuem uma exposição de instrumentos clássicos de geomagnetismo, já

[56] Por exemplo: https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_1029326. Acesso em novembro de 2019.

comentada anteriormente e mostrada na Figura 7a. Como verificamos que não havia um instrumento similar ao exposto pelo MAST na Sala de Leitura, mostramos a foto do misterioso instrumento para o Dr. Linthe, que forneceu a importante informação de que este tipo de variômetro foi usado antes mesmo daqueles que conhecemos – os que forneciam registro em papel fotográfico. Ele nos explicou que em algumas situações estes instrumentos foram usados em paralelo ao registro em papel fotográfico para assegurar o registro do campo magnético em caso de qualquer mal funcionamento do instrumento então mais "moderno". Este tipo de registro foi usado vários anos no Observatório de Potsdam, na Alemanha. Atualmente chamaríamos este tipo de instrumento de um "backup" para o sistema de medição principal. É uma prática muito comum nos observatórios magnéticos, onde há um instrumento principal e um secundário que é usado como um "backup" para assegurar a qualidade dos dados, ou o registro de algum dado se tudo mais falhar.

Além disso, Dr. Linthe nos assegurou que se trata de um variômetro que mede ou a componente horizontal do campo (H) ou a declinação (D). Nos explicou que usa o mesmo fundamento do "imã suspenso", comum aos variômetros clássicos da época. No cilindro superior existe um (no caso de D) ou dois (no caso de H) fios (provavelmente feitos de quartzo) para "suspender" o imã que estaria no cubóide (Figura 7b). O imã possui uma superfície de espelho que pode ser observada pelo telescópio que fica à esquerda do instrumento. Acima do telescópio existe a tal escala, para leitura manual da posição do imã.

VI. Desafios

Um dos maiores desafios da instrumentação em geomagnetismo é construir um instrumento que faça automaticamente as medições absolutas que são realizadas manualmente por técnicos treinados. Estas medições devem ser feitas duas vezes por semana em cada observatório magnético. A necessidade da presença de técnicos treinados restringe ou dificulta a distribuição global dos observatórios. Se todos os equipamentos fossem automáticos, poderíamos instalar observatórios em áreas remotas ou regiões com condições extremas. Enquanto isso não é possível, a presença humana nas medições do campo geomagnético continuará indispensável para a qualidade dos dados que obtemos desde os primeiros estudos sobre o campo magnético da Terra.

VII. Bibliografia

GARLAND, G. D. 1979. The contributions of Carl Friedrich Gauss to geomagnetism. *Historia Mathematica*, v. 6, n. 1, p. 5-29. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0315-0860(79)90100-9. Acesso em: 19 dez. 2019.

GOOD, G. A. History of Instrumentation. *In*: GUBBINS, D.; HERRERO-BERVARA, E. (ed.). *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*. [*S. l.*]: Springer, 2007. ISBN-13: 978-1-4020-3992-8.

MERRIL, R.; MCELHINNY, M.; MCFADDEN, P. *The magnetic field of the earth*: paleomagnetism, the core, and the deep mantle. San Diego: Academic Press, 1998.

JONKERS, A. R. T. 2007. History of Geomagnetism. *In*: *In*: GUBBINS, D.; HERRERO-BERVARA, E. (ed.). *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*. [*S. l.*]: Springer, 2007. ISBN-13: 978-1-4020-3992-8.

Cronômetro de Marinha (1994/0370)
Fabricante: James Poole & Co; século XIX

Nuvem de palavras constituída pela leitura feita pelos visitantes da Sala de Leitura de Objetos do MAST, durante o período de exposição do Cronômetro de Marinha 1994/0370.

A evolução da navegação no tempo

Hideo de Oliveira Miyoshi

Nota biográfica

O Capitão de Mar e Guerra (Refº) Hideo de Oliveira Miyoshi serve na Diretoria do Patrimônio Histórico e Documentação da Marinha (DPHDM), cuja sede localiza-se na Rua Dom Manuel 15, Praça XV, Rio de Janeiro.

I. Introdução

Durante a maior parte da existência da humanidade, a localização geográfica foi determinada pela posição das estrelas, inclusive nos mares e oceanos. Para entender a navegação astronômica é fundamental compreender alguns conceitos e características da astronomia de posição.

Nosso planeta possui três círculos máximos: o Equador, os meridianos e a Eclíptica, que representa a projeção do Sol na superfície da Terra, contido entre os Trópicos de Câncer e Capricórnio. O eixo do plano orbital do Sol faz com o eixo da Terra um ângulo de 23° 27`. É na Eclíptica onde se encontra, nos hemisférios Norte e Sul, os solstícios de verão e inverno, e os equinócios de outono e primavera (Figura 1).

A Figura 1 ilustra também a posição da estrela Polar, grande referência de localização para quem mora no hemisfério Norte. Ela fica situada no mesmo alinhamento do eixo da Terra e, com isto, no crepúsculo vespertino ou matutino pode-se obter a latitude local. O crepúsculo matutino inicia quando aparece o horizonte e termina quando a última estrela desaparece. E o vespertino é o contrário: quando começa você tem o horizonte, mas não tem estrela e termina quando o horizonte desaparece.

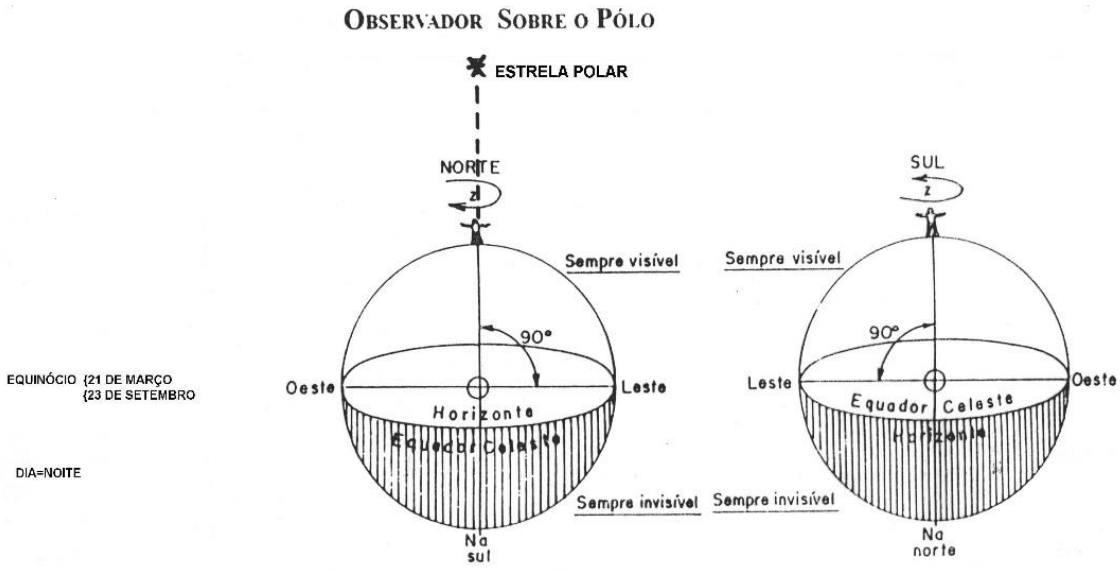


Figura 1: A esfera celeste para observadores nos polos Norte e Sul. Imagem do autor.

Logo, para calcular a posição na navegação astronômica, são necessários dois parâmetros: estrela e horizonte. O navegante do hemisfério Norte, observando a estrela Polar, tem no crepúsculo matutino ou vespertino a latitude local. Também na passagem meridiana é possível o cálculo da latitude: como o Sol nasce à Leste, sua altura vem aumentando com o tempo (entendida como o ângulo entre o horizonte e o astro) até o ponto de inflexão, onde o Sol não sobe mais e começa a descer. Esse momento em que ele começa a descer é a hora da passagem meridiana. Dela pode-se aferir a latitude local. Navegantes do hemisfério Norte já calculavam sua posição, latitude, pois detinham noções de astronomia, difundidos pelos astrônomos da época.

Na Figura 2, pode-se observar o eixo da Terra inclinado de 23° 27` em relação ao eixo do plano da Eclíptica com os dois solstícios, de verão e de inverno, e os equinócios, de primavera e de outono. Qualquer plano que corte o centro da Terra será um círculo máximo.

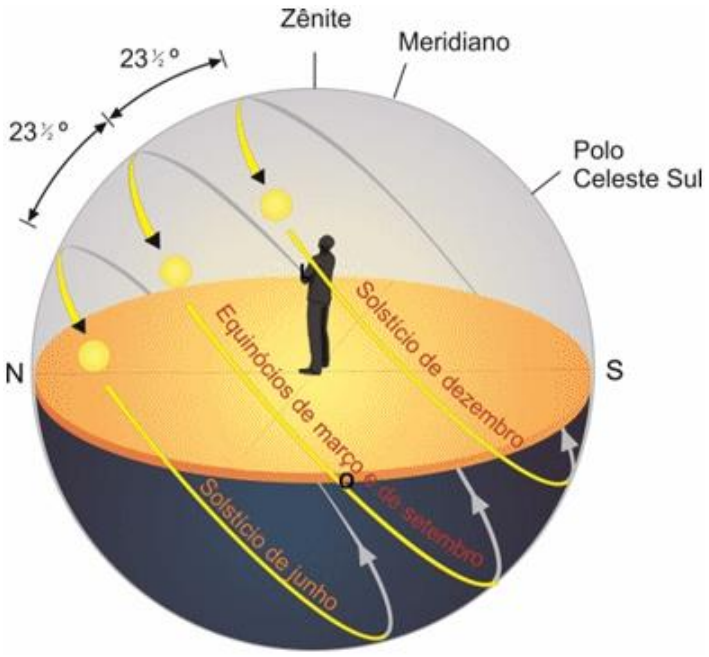


Figura 2: Ilustração da inclinação do eixo terrestre, linha da eclíptica, solstícios e equinócios. Crédito da imagem: Prof. Dra. Maria de Oliveira Fátima Saraiva[57].

[57] http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula3-141.pdf. Acesso em setembro de 2019.

Como dito anteriormente, para realizar navegação astronômica é necessário visualizar a estrela e o horizonte de forma simultânea. Neste caso, temos um cone, sendo a estrela o vértice do cone, e uma base circular que representa o "círculo de incerteza" (Figura 3). O navegador pode estar em qualquer ponto desse círculo se possuir horizonte e uma estrela. Se o navegante possuir duas estrelas, terá dois pontos de intersecção. Se possuir três estrelas, você terá um ponto de posição astronômica. O resto é matemática.

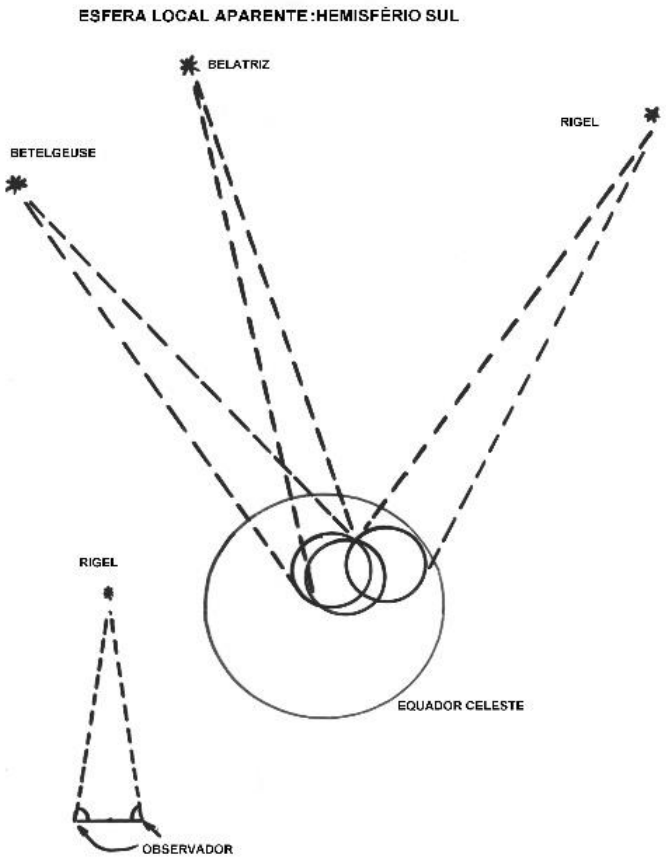


Figura 3: Círculo de incerteza da navegação astronômica. Imagem do autor.

E o que é a matemática? Você está dirigindo o seu carro, fura um dos pneus e para repará-lo precisa ter três ferramentas: um estepe, uma chave de roda e um macaco. Se não possuir uma das ferramentas a viagem será interrompida. A matemática é a investigação de estruturas abstratas definidas axiomaticamente, usando a lógica formal como estrutura comum, além de ser também uma ferramenta. Porém, você pode inquirir, por que fazer navegação astronômica se existe o GPS? No entanto, você possui o GPS até o momento

em que o gestor do GPS decide colocar um código de acesso. As estrelas, o Sol, o horizonte e as tabelas estão sempre disponíveis em bom tempo. Não necessita de nenhum equipamento de posição a não ser o sextante náutico. Na Escola Naval é exigida a consulta das tabelas, utilizar o sextante, fazer o preparo do céu, calcular a reta da manhã, a passagem meridiana, a reta da tarde e os dois crepúsculos, matutino e vespertino. Senão, o guarda marinha na sua viagem de instrução nunca será graduado Oficial. E tem que ser assim porque o aspirante e o guarda marinha ainda não possuem bagagem, e eles procuram o caminho mais fácil e não percebem que aqueles conhecimentos são muito importantes.

II. A agulha magnética

Para você navegar, é preciso possuir uma agulha apontando para o norte. O ideal seria apontar para o norte geográfico, mas até o século XIX, as agulhas eram magnéticas. No nosso planeta Terra nós possuímos três "nortes": o norte verdadeiro, o norte magnético e o norte da agulha. Por que a agulha magnética não pode apontar para o norte magnético? É porque os primeiros navios, apesar de serem construídos predominantemente de madeira, tem alguma parte de ferro na sua estrutura. E a presença do ferro vai influenciar na orientação da agulha. Assim, a agulha aponta para o norte da agulha e não para o norte magnético. E por que o norte verdadeiro não coincide com o norte magnético? Porque no centro da Terra existe ferro e este ferro não está uniformemente distribuído. Portanto, o norte magnético, não coincide com o norte verdadeiro. O ângulo entre o norte verdadeiro e o norte magnético é denominado de "declinação magnética" que, por sua vez, varia de ano para ano. Não deveria ser uma constante? Não é uma constante porque a crosta da Terra não é fixa ao centro do planeta, mas desliza sobre o magma líquido. Devido ao magma possuir muito mais massa que a crosta terrestre, sua inércia faz com que a velocidade angular do magma seja menor que a da crosta terrestre, resultando no deslizamento entre a crosta terrestre e o magma. O exemplo deste fato são as ilhas do Havaí originárias de um mesmo vulcão. Toda a vez que o material sai do magma e chega na crosta terrestre ela se deslocou mais que o magma, por isso são ilhas sequenciais.

Figura 4: Exemplo de agulha de marear de marinha. Objeto 1994/0220 da coleção do MAST. Crédito: NUDCAM/MAST.

Como eram imantadas as agulhas magnéticas? Com a pedra de cevar, que tem uma propriedade magnética. Com o navio jogando, pegava-se a agulha de marear, que era friccionada na pedra de cevar e posteriormente colocada na caixa da agulha para indicar o norte da agulha; a agulha perdia o magnetismo após algum tempo devido ser uma barra de ferro doce[58] e era preciso fazer tudo novamente.

III. O Astrolábio

O astrolábio (Figura 5) era um instrumento muito preciso, mas de difícil utilização, pois eram necessários três marinheiros para operar o instrumento. O primeiro marinheiro ficava segurando o instrumento - todo de bronze e, portanto, pesado; o segundo marinheiro girava o astrolábio para que houvesse o alinhamento do Sol entre as duas cânulas, para que a feixe luminoso do Sol fosse projetado no convés principal. Então,

[58] Metal com alto índice de pureza

com o navio jogando, o segundo marinheiro girava o astrolábio e o terceiro dava o "top" para a projeção final do Sol no convés. Neste momento, era lida a altura do Sol.

Figura 5: Astrolábio europeu do século XVI. Crédito: Science Museum of London[59].

IV. A Balestilha e o quadrante de Davis

A Balestilha (Figura 6) era um equipamento também muito útil, entretanto com um problema muito sério: quando o observador olhava para o Sol durante muito tempo ficava cego. Então quando o operador estava ávido para se fazer ao mar, para o cálculo da latitude, ele estava irremediavelmente cego. Isso foi resolvido com o quadrante de Davis (Figura 7). Engenhosamente foi colocado um prisma na Balestilha, de modo que o Sol ficava atrás do operador e com isto media-se a altura do Sol, sem precisar olhar diretamente para ele, pois o foco do feixe solar era projetado na ranhura do instrumento. Tudo é uma questão de, no momento, com o conhecimento e as ferramentas que se possuía na época, conseguir resolver o problema da cegueira do navegante.

[59] https://collection.sciencemuseum.org.uk/objects/co56822/european-astrolabe-1495-1505-astrolabe. Acesso em setembro de 2019.

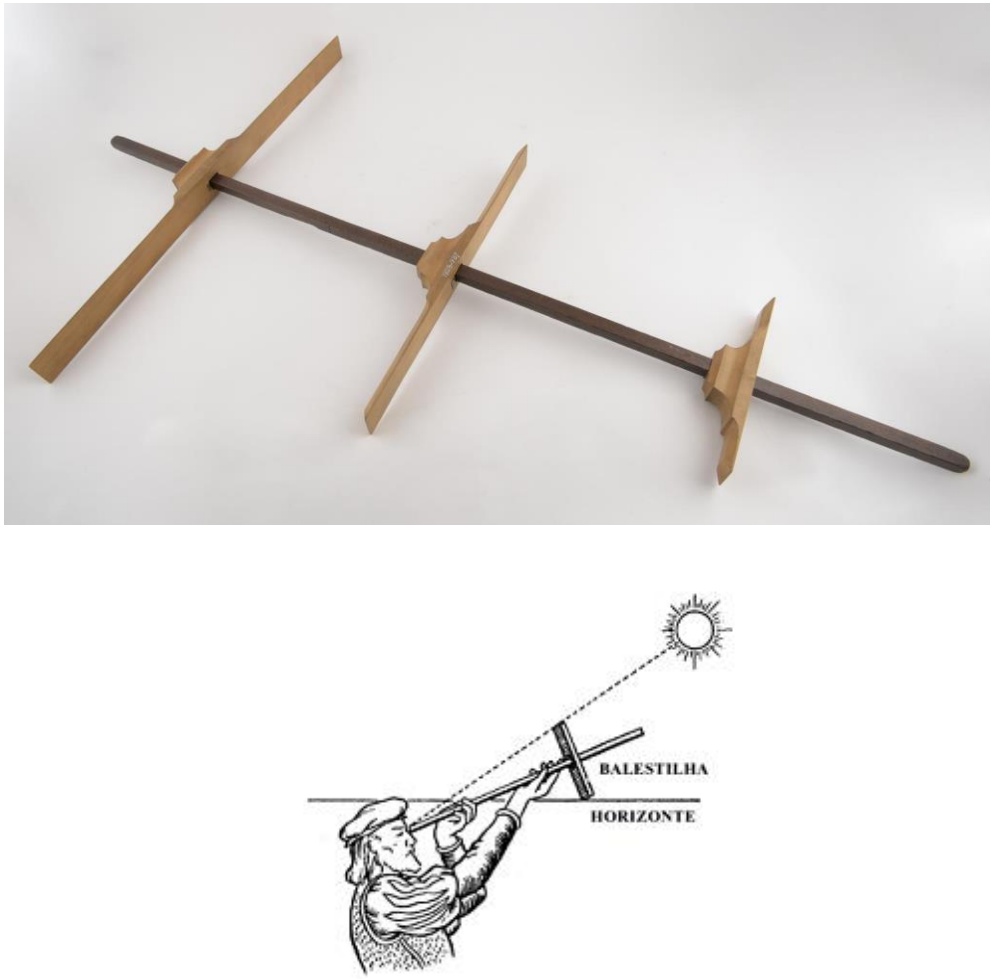


Figura 6: No topo: Balestrina do século XVII da coleção do Science Museum. Crédito da imagem: Science Museum of London[60]. Abaixo: Ilustração da utilização do instrumento. Crédito da imagem: Fábio Roberto Andrade[61].

[60] https://collection.sciencemuseum.org.uk/objects/co55537/wooden-cross-staff-cross-staff. Acesso em setembro de 2019.
[61] http://historiaemcartaz.blogspot.com/2015/01/historia-nas-estrelas-as-grandes.html. Acesso em setembro de 2019.

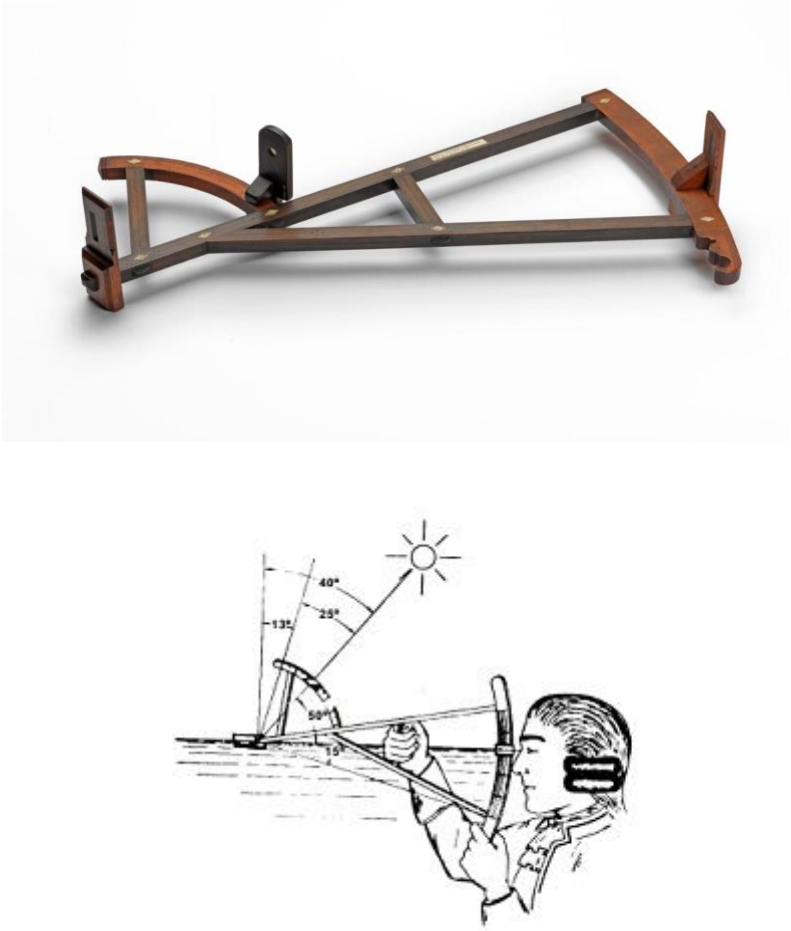


Figura 7: Acima: Quadrante de Davis Balestrina do século XVIII da coleção do Science Museum of London. Crédito da imagem: Science Museum of London[62]. Abaixo: Ilustração do uso do instrumento. Crédito da imagem: Fábio Roberto Andrade[63].

V. A medida do tempo

Para medir o tempo nós tínhamos o relógio de Sol (Figura 8). Acontece que o relógio de Sol é construído para uma determinada latitude. Como o navio varia de latitude constantemente, logo, este instrumento não possui nenhuma aplicação a bordo. O problema foi solucionado por John Harisson em 1776. Eu não sei se ele foi atrás das 20 mil libras esterlinas de prêmio para o controle do tempo no mar, mas acontece que o relógio da Figura 9 atendia à precisão exigida pelo concurso que daria as 20 mil libras esterlinas. Contudo ele não ganhou todo o prêmio, apenas uma parte. É uma opinião muito

[62] https://collection.sciencemuseum.org.uk/objects/co55422/wooden-backstaff-back-staff. Acesso em setembro de 2019.
[63] http://historiaemcartaz.blogspot.com/2015/01/historia-nas-estrelas-as-grandes.html. Acesso em setembro de 2019.

pessoal minha, mas eu acredito que quando organizaram aquele concurso eles estavam direcionando o prêmio para alguém específico. Mas John Harisson fez o melhor relógio e ainda fez o segundo relógio mais preciso. O relógio de John Harisson pesava bastante, não sendo de fácil instalação.

Figura 8: Relógio portátil com bússola de 1598. Crédito: The Metropolitan Museum[64].

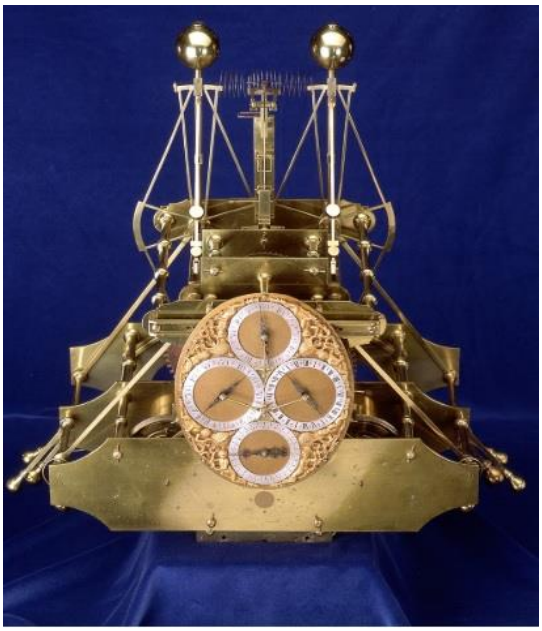


Figura 9: O relógio marítimo de John Harisson. Crédito da imagem: Royal Museums Greenwich[65].

[64] https://www.metmuseum.org/toah/works-of-art/03.21.38/. Acesso em setembro de 2019.
[65] https://collections.rmg.co.uk/collections/objects/79139.html. Acesso em setembro de 2019.

A bordo, o cronômetro naval fica no camarim de navegação. Ele fica em uma posição longe da trepidação da casa de máquinas e da vibração da artilharia, porque o navio de guerra atira projéteis e a onda de choque da artilharia é muito intensa. Um exemplo de Cronômetro de Marinha é o instrumento que ficou exposto na Sala de Leitura de Objetos do MAST e pode ser visto na Figura 10. Temos por hábito dar corda, nos relógios mecânicos, é claro, a cada 24 horas - sempre na mesma hora. E é muito interessante porque você tem três tipos de corda de relógio: uma menor, outra média e outra com maior capacidade. Mas, para cada tipo de cronômetro temos que dar tantas meias cordas para o relógio funcionar. Por que isto? A preocupação do construtor é que não seja dada a corda até o final. Há uma quantidade máxima de corda que pode ser introduzida no cronômetro. O cronômetro pode adiantar ou atrasar. Não se pode acertar no cronômetro. É necessário ver o erro dele, se tiver atrasado calcula-se um erro para mais, se tiver adiantado calcula-se um erro para menos. Não se mexe no cronômetro: é algo intocável.

Agora, para fazer a navegação astronômica o operador não vai poder levar o cronômetro para o local da observação da altura do astro, porque é isto impossível. Até porque há uma suspensão do tipo cardan para proteger o cronômetro contra o jogo e o caturro do navio. O jogo do navio é medido de borda a borda e o caturro é medido de proa a popa. Então o cronômetro fica no camarim de navegação e nós utilizamos o cronógrafo, que é um comparador. Então quando o cronômetro fornece o minuto inteiro, você dá a partida no cronógrafo. E aí os membros da equipe de navegação vão para o passadiço ou tijupá do navio, mais especificamente para as asas do passadiço e do tijupá (que fica em cima do passadiço), que são lugares mais abertos com menor interferência das antenas de rádio e do mastro, sendo assim os melhores lugares do navio para se fazer a navegação astronômica. E o marinheiro, de lanterna na mão, o oficial com o sextante a medir a altura da estrela: "Sirius!" e fala "Atenção!". Neste momento, o marinheiro com o cronógrafo já olha para o ponteiro dos segundos, uma vez que os minutos ele já sabe. Aí, com o sextante, a estrela era levada até o horizonte e o instrumento é movimentado de um lado para o outro, em círculos, até tangenciar a estrela no horizonte. No momento do "top" é dado o toque no cronógrafo para marcar o horário e assim se obtém a altura do astro no sextante. É simples, mas é preciso confiar na hora que o marinheiro vai anotar. A preocupação é se quando foi dada a partida no cronógrafo era um minuto inteiro do cronômetro e se quando o "top" foi dado no cronógrafo a estrela já tinha tangenciado o horizonte, senão comete-

se erro na navegação. Na coleção do MAST os cronógrafos são chamados de cronômetros de algibeira. Um exemplo pode ser visto na Figura 11.

Figura 10: Cronômetro de Marinha que foi exposto na Sala de Leitura de Objetos do MAST (1994/0370). Fonte da imagem: NUDCAM/MAST.

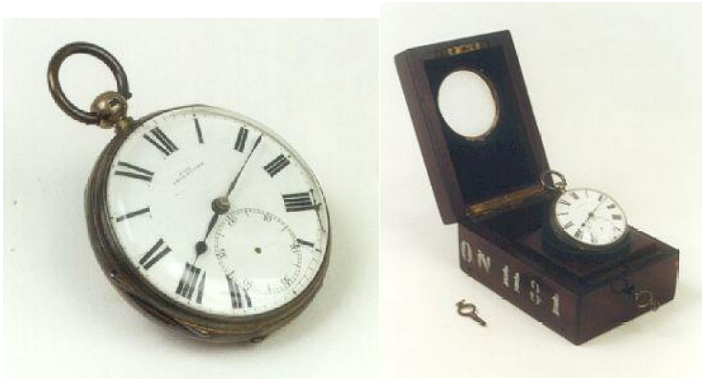


Figura 11: Cronômetro de Algibeira da coleção do MAST (1994/0396) equivalente ao cronógrafo citado no texto. Fonte da imagem: NUDCAM/MAST.

Os preparativos para iniciar as medidas astronômicas estão a seguir listados: Quando começa o crepúsculo, vespertino ou matutino, é preciso primeiro deixar as estrelas aparecerem e o horizonte. A observação necessita ser realizada de forma sequencial e sem interrupção devido o navio estar navegando e não parado esperando

você fazer o cálculo da posição geográfica da derrota. Então a sequência dos "topes" para o cronógrafo necessita ser em intervalos de tempo menores, senão você terá que transportar as retas anteriores. Além de traçar a reta do astro na carta será necessário também traçar a reta da de rota com o rumo e velocidade do navio que você estiver naquele momento. Se porventura o comandante mudar de rumo durante as observações, o anotador tem que ter atenção e colocar na anotação do cronógrafo qual a hora, o novo rumo e velocidade do navio naquele instante. Tudo é muito fácil, mas há que ter alguns cuidados fundamentais para não ficar sem a posição desejada. E aí depende de treinamento, tem que ter operadores que perguntem caso tenham dúvidas. O que não pode acontecer é chegar ao final da noite e não possuir a posição do navio. É um trabalho de equipe.

O Oficial de Marinha precisa ser organizado. Tem que saber o que precisa, quais são os instrumentos e tabelas disponíveis, os cuidados que precisa ter, saber escolher os ajudantes para fazer determinadas tarefas. O sucesso é consequência.

VI. As cartas de navegação históricas

Como resultados históricos das navegações astronômicas, vamos analisar algumas cartas. Colombo chega na América Central em 1492 e, a partir daí, os cartógrafos já foram construindo uma cartografia muito precisa. Em 1502, dois anos depois da chegada dos portugueses ao Brasil (1500), já é possível ver nas cartas de Cantino o desenho do contorno do Brasil (Figura 12). As cartas náuticas de Cantino estão entre as mais antigas representando os descobrimentos marítimos portugueses, e tudo o que vemos nestas cartas são pontos cartográficos obtidos com a técnica da navegação astronômica, observadas no crepúsculo matutino. Os europeus tinham a cartografia da Europa perfeita; do Mar Mediterrâneo perfeito; a costa ocidental da África, perfeita. A costa oriental já não é tão bem delineada, sendo que a Ilha de Madagascar ainda não estava desenhada. O oriente então, pior ainda. E era nesta direção que estavam navegando. No entanto, o contorno do Brasil já estava registrado com bastante precisão.

Figura 12: Carta de Cantino, de 1502. Fonte da imagem: Wikipedia[66].

Vamos olhar a carta do cartógrafo português Gaspar Viegas, produzida em 1534 e mostrada na Figura 13. Trinta e quatro anos após o descobrimento do Brasil, podemos ver o contorno do estuário do Amazonas ao estuário do Prata - muito preciso. Há um erro grosseiro nesta carta, com a escala de distância do Brasil diferente ao do continente africano. Também podemos observar os rios Uruguai, Paraná e Paraguai totalmente deformados, não apenas em sentido como em direção. Por que o cartógrafo português conseguiu fazer uma cartografia tão precisa do estuário do Amazonas ao do Prata e não conseguiu fazer a cartografia de rios interiores, como o Uruguai, Paraná e Paraguai? A resposta é simples: porque não havia horizonte! A navegação astronômica só precisa de dois parâmetros: estrela e horizonte de forma simultânea. Na época, a cartografia dos rios interiores era visual e não tem como ser precisa quando comparada àquela oriunda da navegação astronômica.

[66]https://pt.wikipedia.org/wiki/Planisf%C3%A9rio_de_Cantino#/media/File:Cantino_planisphere_(1502).jpg. Acesso em setembro de 2019.

VII. Considerações finais

O propósito deste texto é demonstrar aos leitores que o estudo e a pesquisa são de suma importância e necessitam ser trabalhados de forma ininterrupta, a fim de proporcionar à sociedade soluções para os grandes desafios que se apresentam.

E assim terminamos a nossa viagem. O nosso navio está chegando no porto de destino. Navegamos no tempo de 17 mil anos atrás até o século XX e espero que tenha sido uma agradável e significativa viagem para todos! O meu muito obrigado a todos e que os fatos aqui narrados sejam o grande incentivo para o investimento em ciência a fim de possibilitar futuras descobertas.

Figura 13: Carta náutica de Gaspar Viegas, de 1534. Fonte da imagem: Biblioteca Nacional da França[67].

[67] https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b52503224r/f1.item. Acesso em setembro de 2019.

Do Geral ao Individual: Um cronômetro de Marinha e sua rede de conceitos

Maria Lúcia de Niemeyer Matheus Loureiro

Nota biográfica

Maria Lúcia de Niemeyer Matheus Loureiro possui graduação em Museologia pelo Museu Histórico Nacional - atual Escola de Museologia da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (1976), Mestrado (1998) e Doutorado (2003) em Ciência da Informação pelo IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia / UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem experiência nas áreas de Museologia e Ciência da Informação. Atua no Museu de Astronomia e Ciências Afins - MAST/MCTIC, onde desenvolve pesquisas relacionadas a processos de musealização e é docente permanente do Mestrado Profissional em Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia - PPACT.

I. Introdução

O texto que se segue, originalmente apresentado na série de palestras Mast Colloquia, em novembro de 2017, aborda um Cronômetro de Marinha do acervo do Museu de Astronomia e Ciências Afins - Mast. Trata-se de um instrumento construído pelo fabricante inglês James Poole, procedente do Observatório Nacional e registrado no Mast sob o número 1994/0370. O objeto foi exposto pelo Museu de 26 de setembro a 30 de novembro de 2017 na Sala de Leitura de Objetos.

É necessário sublinhar que o cronômetro é aqui abordado na qualidade de objeto musealizado. Como já foi ressaltado por Ulpiano Bezerra de Meneses, o "eixo da musealização" é o "processo de transformação do objeto em documento" (MENESES, 1992, p. 111). O objeto será abordado, portanto, também em sua condição de documento, inerente à musealização, aqui entendida como:

> ... um conjunto de processos seletivos de caráter info-comunicacional baseados na agregação de valores a coisas de diferentes naturezas às quais é atribuída a **função de documento**, e que por esse motivo tornam-se objeto de preservação e divulgação. Tais processos, que têm no museu seu caso privilegiado**,** exprimem na prática a crença na possibilidade de constituição de uma síntese a partir da seleção, ordenação e classificação de elementos que, reunidos em um sistema coerente, representarão uma realidade necessariamente maior e mais complexa (LOUREIRO, 2012, p. 204-205).

Susan Pearce (1994) sublinha a natureza cultural dos museus e sua identificação com o mundo material, acrescentando que neles deve prevalecer o entendimento sobre "o que são as coisas materiais, sejam artefatos humanos ou espécimes naturais, como nos relacionamos com elas como curadores e públicos, e como elas nos influenciam"[68]. Museus, para a autora, "são lugares onde evidência material da história humana e natural é coletada, cuidada, interpretada e tornada disponível ao público em geral por meio da exposição ou de uma ampla variedade de outros projetos"[69] (PEARCE, 1994, p. 30, tradução nossa). Ao ingressar em um museu, objetos são retirados do mundo dos bens transitórios destinados ao descarte e à extinção e ingressam no domínio do patrimônio,

[68] "*At the heart of the museum enterprise […] must be an understanding of what material things, both human artefacts and natural specimens, are, how we relate to them as curators and public, and how they influence us".*

[69] *"Museums are places in which material evidence of human and natural history is collected, cared for, interpreted and made available to the general public through exhibition and a wide range of other projects".*

ou das coisas culturalmente selecionadas para serem duradouras, que serão protegidas como "a matéria prima a partir da qual valores culturais serão tecidos"[70] (PEARCE, 1994, p. 31, tradução nossa).

Ainda que possam ter sido produzidos em série, objetos musealizados são sempre tratados como únicos. Se por um lado representam uma categoria que os ultrapassa, por outro percorrem uma trajetória que é sempre singular e os distingue dos demais, o que tende a se acentuar após o ingresso em um museu. Como documento, o potencial conceitual de um objeto musealizado é virtualmente inesgotável, o que torna difícil apreendê-lo em sua totalidade. Estabelecer recortes e mapear sua rede conceitual a partir de contextos e situações específicas, entretanto, contribui para dar visibilidade a relações que um objeto (visto como um conceito) estabelece com outros conceitos - objetos, pessoas, eventos, lugares, instituições etc. Propomos, assim, aplicar aos objetos de museu a ferramenta do mapa conceitual.

II. Mapeando conceitos de objetos musealizados

Mapas conceituais são "ferramentas gráficas para a organização e representação do conhecimento" (NOVAK; CAÑAS, 2010, p. 10) que representam conceitos e suas relações. A técnica foi elaborada na década de 1970 por Joseph Novak com base na Teoria da Aprendizagem Significativa, desenvolvida na década anterior por David Ausubel. Segundo este autor, a "aquisição e a retenção de conhecimentos [...] são o produto de um processo ativo, integrador e interativo entre o material de instrução (matérias) e as ideias relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz, com as quais as novas ideias estão relacionadas de formas particulares" (AUSUBEL, 2003, p. xi). Originalmente criada para uso em situações relacionadas à aprendizagem, a ferramenta tem sido apropriada por outros campos que necessitam lidar com organização de conhecimentos em contextos os mais diversificados, mas não foi ainda explorada para o estudo de objetos.

> Um mapa conceitual consiste de uma representação gráfica de um grupo de conceitos, geralmente encerrados em ovais ou retângulos, e relações entre conceitos, indicadas por uma linha de conexão que liga dois conceitos, Palavras na linha, denominadas palavras de ligação ou frases de ligação, especificam a relação entre os dois conceitos. Os dois conceitos com as frases de ligação que os unem formam proposições. Proposições são enunciados sobre algum objeto ou evento no universo,

[70] "*the raw material from which cultural values will be spun*".

> de ocorrência natural ou construída. Proposições contêm dois ou mais conceitos conectados por palavras ou frases de ligação que formam enunciados significativos. Algumas vezes, são chamadas unidades semânticas, ou unidades de significado[71] (CAÑAS et al., 2015, p. 8).

Segundo Novak e Cañas, a elaboração de mapas conceituais deve partir de uma "questão focal" que se pretende responder e a "uma situação ou evento que tentamos compreender", para os quais o mapa fornece um contexto. Em um mapa conceitual, "conceito" é definido pelos autores como "uma regularidade percebida em eventos ou objetos, designada por um rótulo" (NOVAK; CAÑAS, 2010, p. 10).

O conceito, conforme Ingetraut Dahlberg (1978), "é constituído de elementos que se articulam numa unidade estruturada" (p. 102). A autora distingue os objetos gerais e os objetos individuais. Estes últimos se caracterizam pela "presença das formas do tempo e espaço. Os objetos individuais estão aqui e agora. Ex.: esta casa, esta mesa, este automóvel, esta partida de futebol, etc." (p.101). Os objetos gerais, ao contrário, "de certo modo prescindem das formas do tempo e do espaço" (p. 102), e correspondem aos conceitos gerais. (DAHLBERG, 1978, p. 101-102)

Esta distinção é de crucial importância para as análises de objetos, sobretudo quando se trata de atribuir assuntos a eles. Referindo-se à indexação de imagens, Sara S. Layne faz considerações que podemos estender aos objetos:

> Uma imagem é simultaneamente genérica e específica; ou seja, tudo o que é representado em uma imagem pode ser útil para sua identidade específica ou genérica. Por exemplo, uma imagem da Ponte de Brooklin pode, para um pesquisador, ser útil porque retrata aquela ponte específica, ou, para outro pesquisador, porque ela retrata, genericamente, uma ponte. De fato, vários termos genéricos podem ser aplicados a uma pessoa, objeto ou evento específico: a Ponte de Brooklin é uma ponte; ela é também uma ponte suspensa[72] (LAYNE, 1994, p. 584).

---

[71] *"A concept map consists of a graphical representation of a set of concepts, usually enclosed in ovals or rectangles of some type, and relationships between concepts indicated by a connecting line linking two concepts. Words on the line, referred to as linking words or linking phrases, specify the relationship between the two concepts. The two concepts with the linking phrases that join them form propositions. Propositions are statements about some object or event in the universe, either naturally occurring or constructed. Propositions contain two or more concepts connected using linking words or phrases to form a meaningful statement. Sometimes these are called semantic units, or units of meaning".*

[72] *"an image is simultaneously generic and specific; that is, whatever is depicted in an image may be useful for either its specific or its generic identity. For example, a picture of the Brooklyn Bridge might, to one searcher, be useful because it depicts that specific bridge, or, to another searcher, because it depicts, generically, a bridge. Of course, several generic terms may apply to a single specific person, object, or event: the Brooklyn Bridge is a bridge; it is also a suspension bridge."*

Podemos afirmar, em relação aos objetos em geral e, em particular, ao cronômetro de Marinha abordado neste texto que, tal como uma imagem, eles são simultaneamente genéricos e específicos: o cronômetro de Marinha individual, pertencente ao acervo do Mast e abordado neste trabalho, corresponde também ao conceito geral cronômetro de Marinha e, como tal, contempla sua identidade genérica e específica.

Com o objetivo de construir um mapa conceitual do objeto, é apresentada uma síntese do "Cronômetro de Marinha" (conceito geral) e, em seguida, a trajetória do exemplar integrante do acervo do Mast (objeto individual).

III. Sobre cronômetros de Marinha em geral

Cronômetros são instrumentos de medição de tempo extremamente precisos para uso em observações náuticas e astronômicas. Segundo o Thesaurus de Acervos Científicos em Língua Portuguesa[73] (ver Figura 1), um cronômetro de marinha é "utilizado para medir intervalos de tempo com exatidão e auxiliar na determinação da longitude de um ponto no mar".

Para a localização de qualquer ponto na superfície da Terra, é necessário recorrer às coordenadas geográficas – paralelos e meridianos -, linhas imaginárias traçadas em mapas e no globo terrestre que indicam a distância em graus do Equador (latitude) e do meridiano zero (longitude).

As linhas de latitude e longitude são conhecidas desde a Antiguidade, e foram assinaladas por Ptolomeu em seu Atlas. A determinação do Equador como a linha de latitude zero não foi opcional, ao contrário do meridiano principal, ou grau zero de longitude, que consiste em "uma decisão puramente política". Ptolomeu decidiu fixá-lo nas "Ilhas Fortunate (hoje chamadas Ilhas Canárias e da Madeira), situadas a noroeste da costa da África". Posteriormente, o meridiano zero moveu-se por diferentes pontos da

[73] Projeto desenvolvido desde 2006 por uma rede de instituições brasileiras e portuguesas coordenado pelo Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa e o Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), com o apoio da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia (Portugal) e do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Brasil). Trata-se de um instrumento de controle terminológico em constante atualização disponível para consulta no endereço http://thesaurusonline.museus.ul.pt/

Terra, como Roma, Copenhague, Jerusalém, Paris, entre outros, até se fixar em Londres (SOBEL, 2008, p. 12).

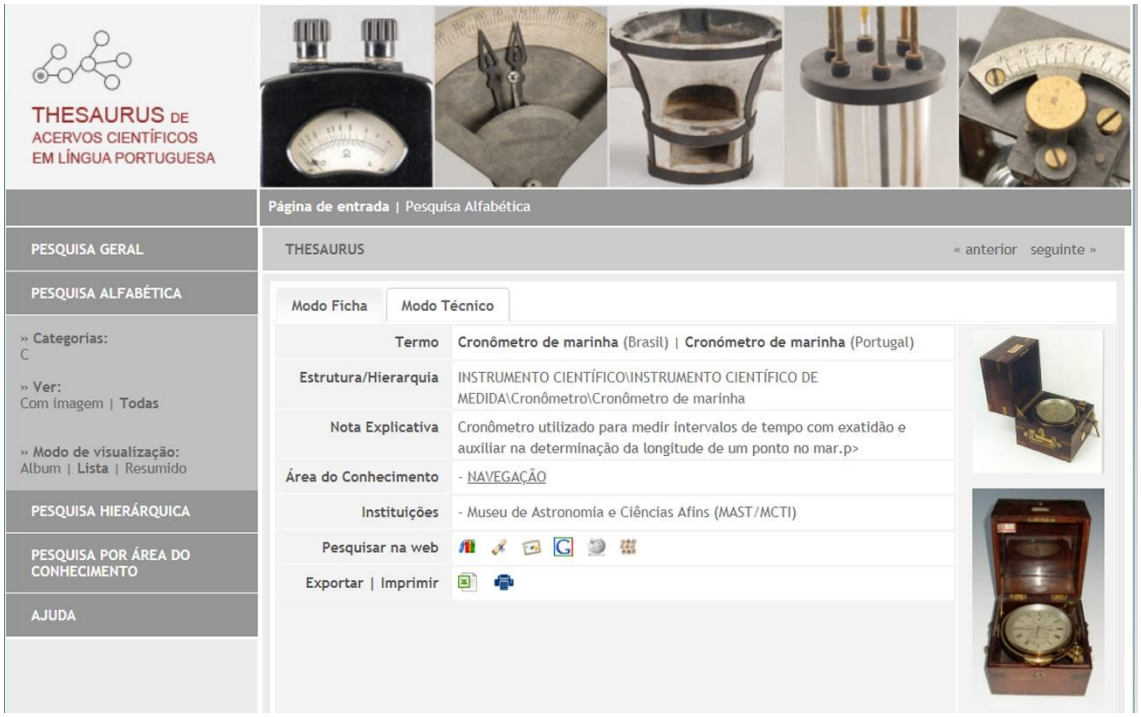


Figura 1: Registro do cronômetro de Marinha no Thesaurus de Acervos científicos em língua portuguesahttp://thesaurusonline.museus.ul.pt/ficha.aspx?t=o&id=181.

O cálculo da latitude é um problema de simples solução. “Qualquer marinheiro que merece o nome pode verificar a latitude em que se encontra através da duração do dia ou pela altura do sol no firmamento ou se guiando pelas estrelas do céu” (SOBEL, 2008, p. 12). A determinação da longitude no mar, entretanto, permaneceu por longo tempo um problema insolúvel.

No século XVI, os astrônomos já haviam apontado um caminho possível para o problema: como a Terra gira 360º em 24 horas, é possível verificar a distância percorrida por uma embarcação na direção leste ou oeste comparando a hora local verificada pela observação do céu com instrumentos e a hora informada por um relógio que guarde com precisão a hora do porto de partida. Até o século seguinte, contudo, os melhores relógios – capazes de marcar o tempo com relativa precisão em terra firme – tornavam-se instáveis e não confiáveis a bordo de um navio. Com a ação corrosiva do sal, a oscilação do mar e

das temperaturas, a maior parte dos relógios parava de funcionar, o que impedia uma navegação segura (cf. RICHEY, s.d.).

A segurança da navegação era de tal importância que motivou a criação de observatórios, incluindo o Observatório Real de Greenwich, fundado no século XVII. (cf. THE ROYAL..., 1921, p. 32)

> À medida que os europeus iam para os mares para explorar o mundo e comercializar com outros países, eram necessárias informações astronômicas de quantidade e precisão suficientes para auxiliar a navegação, a cartografia e a marcação do tempo, inclusive métodos para calcular a longitude. Foi contra esse pano de fundo que o rei Carlos II nomeou uma Comissão Real para deliberar sobre o investimento em astronomia[74] (ROYAL..., s.d.).

A urgência de uma solução para o problema da determinação da longitude no mar aumentava à medida que avançava a navegação oceânica. "Em 1598, Felipe III da Espanha ofereceu um prêmio de 100 mil coroas para qualquer um que concebesse um método pelo qual o capitão de um navio pudesse determinar sua posição quando em mar aberto, a Holanda ofereceu pouco depois a recompensa de 30 mil florins"[75] (cf. THE ROYAL..., 1921, p. 32).

Em 1714, o governo britânico, através do Comitê de Longitude, ofereceu o prêmio de vinte mil libras para quem solucionasse o grave problema. Em um estudo sobre tempo e temporalidade, Krzysztof Pomian também enfatiza o grande desafio representado pelo problema da determinação da longitude no mar, tarefa solucionada apenas em 1761 com a invenção de um cronômetro "insensível às variações de temperatura e oscilação" (POMIAN, 1993, p. 30).

O feito coube a John Harrison, inventor de "um relógio que, como uma chama eterna, podia registrar a hora verdadeira desde o porto de partida até qualquer ponto remoto do mundo" (SOBEL, 2008, p. 15). Sem qualquer formação acadêmica ou mesmo em relojoaria, concebeu e construiu relógios sem fricção, resistentes à corrosão e cujas partes conservavam seu equilíbrio e estabilidade, "independentemente de como o mundo se inclinasse ou se agitasse ao redor desses mecanismos" (SOBEL, 2008, p. 16).

---

[74] *"As Europeans took to the seas to explore the world and trade with other countries, astronomical information of sufficient quantity and accuracy to aid navigation, cartography and timekeeping was needed, including working out how to measure longitude. It was against this background that King Charles II appointed a Royal Commission to look into investing in astronomy".*

[75] *"In 1598, Philip III of Spain offered a prize of 100,000 crowns to anyone who would devise a method by which the captain of a vessel could determine his position when on the open ocean, and Holland followed very shortly after with the offer of the reward of 30,000 florins."*

> Todos esses fios, e outros mais, se emaranham com as linhas da longitude. Desembaraçá-los agora — para relembrar suas histórias em uma época de redes de satélites em órbita que podem indicar a posição do navio com precisão de algumas polegadas, em um ou dois segundos — é ver o globo com novos olhos (SOBEL, 2008, p.16).

Os mesmos fios enredados nas linhas de longitude ligam o cronômetro de Harrison ao objeto individual integrante do acervo do Mast.

IV. Sobre o cronômetro de Marinha do Mast como objeto individual

A consulta ao registro do objeto no Mast informa que o Cronômetro de Marinha 1994/0370 foi construído pelo fabricante James Poole & Co, de Londres, no século XIX. A inscrição "Medal Paris / 1875" no mostrador revela que se trata de um instrumento premiado.

Como já foi mencionado, o cronômetro a que se refere este trabalho é procedente do Observatório Nacional e integra o acervo do Mast desde 1985. A página do Museu informa que a coleção procedente do Observatório Nacional, à qual pertence o instrumento, foi tombada, em 1986, pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN - e, em 1987, pelo Instituto Estadual do Patrimônio Cultural - INEPAC[76].

O dossiê[77] do objeto informa alguns episódios que marcam a trajetória do objeto: em 1882, foi utilizado pela Comissão Astronômica chefiada por Luiz Cruls (então Diretor do Observatório) destinada a observar a Passagem de Vênus pelo disco solar. Em 1894, regressa do "Encouraçado Aquidabã", no qual esteve a serviço, danificado e sem o estojo. Em 1895, foi utilizado pela Comissão de Limites Brasil-Bolívia. No ano seguinte, foi enviado para reparos à firma *Maeder Du Bois*, representante da Casa F. Dent & Co, de Londres. Em 1900, foi encaminhado à Comissão de Linhas Telegráficas do Ministério da Guerra, em Mato Grosso.

A partir da trajetória constante no registro do objeto podem ser relacionados outros conceitos que colaboram para o desenho de um mapa conceitual para o objeto aqui analisado:

- No período em que esteve a serviço da Marinha, no Encouraçado Aquidabã, o cronômetro testemunhou "o contragolpe ao Governo do Marechal Deodoro da Fonseca, em 1891, e a Revolta da Armada, em 1893";

[76] http://www.mast.br/index.php/pt-br/2013-10-27-00-11-7/2-uncategorised/81-acervo-museologico.html
[77] Notas das Editoras: o dossiê do objeto é constituído por de fichas de registro e pesquisa sob a guarda do Núcleo de Documentação e Conservação do Acervo Museológico da Coordenação de Museologia do MAST.

- A Comissão de Linhas Telegráficas foi chefiada pelo Marechal Cândido Rondon. (LOUREIRO; SILVA; VIEIRA, 2013, p. 290).

Considerando, ainda, que a trajetória do objeto não se encerra quando é musealizado, podem ser ainda assinalados outros eventos: sua musealização em 1985, seu tombamento em 1986 e a participação nas exposições "Luiz Cruls, um cientista a serviço do Brasil" (2004 e 2009) e "Olhar o céu medir a Terra" (de 2011 até a presente data). Some-se, ainda, a exposição na Sala de Leitura de Objetos, em 2017, que foi objeto da Série de Palestras Mast Colloquia.

Além dos predicados que podem ser atribuídos exclusivamente ao cronômetro do acervo do Mast (objeto individual), devem ser considerados os atributos que se aplicam ao cronômetro de marinha como objeto geral, ou a exemplares de cronômetros construídos pelo mesmo fabricante e/ou pertencentes ao mesmo modelo.

V. Um cronômetro e suas relações: proposta de um mapa conceitual

Segundo Cañas, Novak e Reiska (2015), para elaborar um bom mapa conceitual é necessário, entre outras condições, limitar a quantidade de termos que descrevem os conceitos, assim como as palavras de ligação. Para os autores, é uma "condição estrutural" (CAÑAS et al., 2015, p. 8) não relacionar ao conceito principal mais do que três ou quatro subconceitos. Tal recomendação coloca em evidência o fato de que todo e qualquer mapa é um recorte entre muitos possíveis, e sua elaboração responde a questões previamente formuladas que o delimitam.

Entre os critérios para um bom mapa conceitual, os autores mencionam ainda a definição de um contexto, geralmente por meio da explicitação do que os autores chamam "questão focal"[78]; o uso de uma ou poucas palavras para representar conceitos específicos ou explicitar relações indicadas pelas linhas de conexão; a não inclusão de um mesmo conceito mais de uma vez em um mesmo mapa (CAÑAS et al., 2015, p. 8).

Tais recomendações foram consideradas na construção do mapa conceitual aqui proposto (Figura 2). Como já mencionado, o mapa inclui conexões relacionadas aos cronômetros de Marinha em geral, e outras exclusivas do instrumento pertencente ao Mast. Para distingui-las, estas últimas foram destacadas no mapa.

[78] "*focus question*".

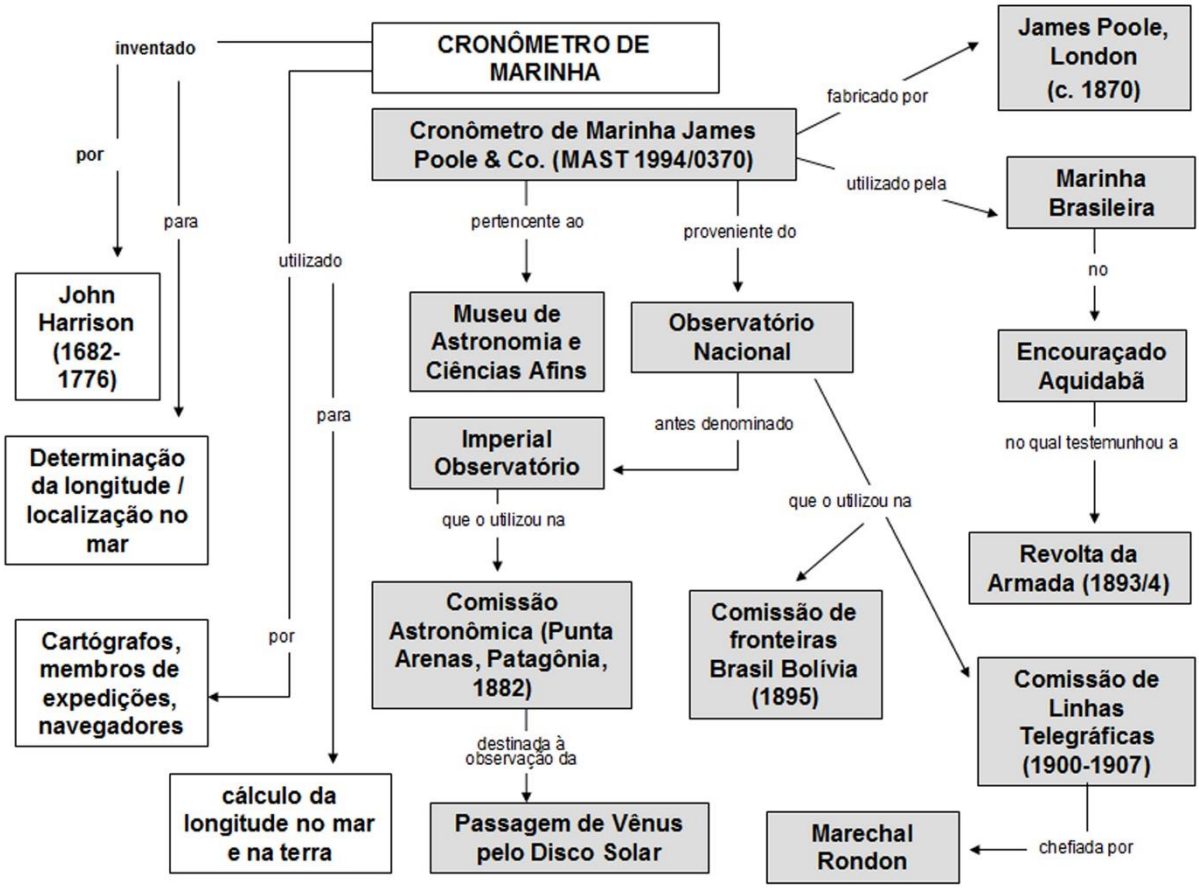


Figura 2: Mapa conceitual do Cronômetro de Marinha James Poole &Co. Acervo Mast - 1994/0370.

Originalmente proposta para situações de aprendizado, a ferramenta do mapa conceitual tem sido largamente utilizada em diferentes domínios de conhecimento para expressar e organizar conceitos e suas relações. O que propomos neste trabalho é que seja adotada pela Museologia, particularmente para a análise de objetos.

Na qualidade de documentos, objetos musealizados têm um potencial inesgotável a ser explorado, e seu mapeamento é capaz de jogar luz em relações inesperadas e até então invisíveis. Um cronômetro se revela, assim, capaz de conectar navegantes, cartógrafos e membros de expedições tentando se localizar no mar ou em terra firme, autoridades de dois países tentando resolver problemas de fronteiras, o Comitê da Longitude e um relojoeiro engenhoso, os Observatórios de Greenwich e do Rio de Janeiro, a Marinha Brasileira, a Revolta da Armada, um fabricante de instrumentos em Londres, o Marechal Rondon, a Longitude, a Terra, o Sol e o planeta Vênus.

VI. Bibliografia

AUSUBEL, D. *Aquisição e retenção de conhecimentos*: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BRITISH OPTICAL INSTRUMENT MANUFACTURERS' ASSOCIATION. *Dictionary of British scientific instruments*. London: Constable and Company, 1921.

CAÑAS, A. J.; NOVAK, J.; REISKA, P. How good is my concept map? Am I a good mapper? *Knowledge Management & E-Learning*, [*S. l.*], v. 7, n. 1, p. 6-19, 2015.

CRULS, L. Observação da passagem de Vênus em 1882. *In*: *Annaes do Imperial Observatório do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Typographia e Lithographia H. Lombaerts & C., 1887. v. 3.

DAHLBERG, I. Teoria do Conceito. *Ciência da Informação*, [*S. l.*], v. 7, n. 2, p. 101-107, 1978.

LAYNE, S. S. Some issues in the indexing of images. *Journal of the American Society of Information Science*, [*S. l.*], v. 45, n. 8, p. 583-588, 1994.

LOUREIRO, M. L. N. M. Preservação in situ X ex situ: reflexões sobre um falso dilema. In: ASENSIO, M.; MOREIRA, D.; ASENJO, E.; CASTRO, Y. (org.). *Criterios y Desarrollos de Musealización.* Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2012. p. 155-162.

LOUREIRO, M. L. N. M.; SILVA, F. B. A.; VIEIRA, M. A. N. Cronômetros, palmeiras e chimpanzés: o objeto musealizado como 'documento por atribuição'. *In*: GRANATO, Marcus; SCHEINER, Tereza C. M. (org.). *Museologia, Patrimônio, Interculturalidade*: museus inclusivos, desenvolvimento e diálogo intercultural. Rio de Janeiro: MAST, 2013. v. 2, p. 281-293. Obra elaborada a partir do Seminário de Pesquisa em Museologia dos Países de Língua Portuguesa e Espanhola, 4., 2013. Disponível em: http://www.youblisher.com/p/771560-Livro-IV-SIAM-2012/. Acesso em: 10 abr. 2018.

MENESES, UT. B. de. A exposição museológica: reflexões sobre pontos críticos na prática contemporânea. *Ciências em Museus*, [*S. l.*], v. 4, p. 103-120, 1992.

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. *Práxis Educativa*, [*S. l.*], v. 5, n. 1, p. 9-29, 2010. Disponível em: http://www.revistas2.uepg.br/ index.php/praxiseducativa/article/view/1298/944. Acesso em: 2 abr. 2018.

PEARCE, S. Studying museum material and collections. *International Journal of Heritage Studies*, [*S. l.*], v. 1, n. 1, 1994, p. 30-39.

POMIAN, K. Tempo/Temporalidade. *In*: ENCICLOPÉDIA Einaudi. Lisboa: Imprensa Nacional, Casa da Moeda, 1993. v. 29. p. 11-91.

RICHEY, M. W. Longitude measurements**.** In: ENCYCLOPAEDIA Britannica. [*S. l.*]: Encyclopedia Britannica, 2019. Disponível em: https://www.britannica.com/technology/navigation-technology#ref61187. Acesso em: 10 abr. 2018.

THE ROYAL OBSERVATORY. Greenwich. In: BRITISH OPTICAL INSTRUMENT MANUFACTURERS' ASSOCIATION. *Dictionary of British Scientific Instruments*. London: Constable and Company, 1921. p. 32-50.

THE ROYAL OBSERVATORY. *History of the Royal Observatory*. Disponível em: https://www.rmg.co.uk/royal-observatory/history. Acesso em: 10 abr. 2018.

SOBEL, D. *Longitude***:** a verdadeira história do gênio solitário que resolveu o maior problema científico do século XVIII. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

THESAURUS de acervos científicos em língua portuguesa. Lisboa**:** Museu Nacional de História Natural e da Ciência; Rio de Janeiro**:** Museu de Astronomia e Ciências Afins, [2013]. Disponível em**:** http://thesaurusonline.museus.ul.pt/. Acesso em: 16 abr. 2018.

Termógrafo Registrador Elétrico (1996/0582)
Fabricante: The Cambridge Scientific Instrument LTD; século XX

Nuvem de palavras constituída pela leitura feita pelos visitantes da Sala de Leitura de Objetos do MAST, durante o período de exposição do Termógrafo Registrador Elétrico (1996/0582).

Reflexões sobre a evolução de instrumentos para medição de temperatura

Almir Venancio

Nota biográfica

Almir Venancio possui graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1990), mestrado em Meteorologia pela Universidade Federal da Paraíba (1995) e doutorado em Meteorologia Aplicada pela Universidade Federal de Viçosa (2016). Atualmente é professor do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de condições ambientais, instrumentação e modelagem numérica do tempo.

I. Introdução

A meteorologia é compreendida como o estudo de meteoros, isto é, fenômenos que ocorrem desde a superfície do planeta até uma determinada altitude (60 km), fomentados pela a radiação solar, que é a principal fonte de energia para a Terra. Esta radiação chega ao topo da massa gasosa que é a nossa atmosfera e, a partir daí, viabiliza a vida no planeta.

Baseando-se na observação deste "mistério" denominado natureza, a humanidade modelou elementos para compreender os fenômenos naturais. Um dos elementos que a humanidade tentava modelar era justamente a condição de tempo atmosférico. Apesar de ter muito medo, a Humanidade queria compreender e dominar as condições de tempo. A partir daí, conseguiu formular alguns eventos e estabelecer monitoramentos que levaram ao entendimento de outros processos.

Um exemplo deste desenvolvimento é o aperfeiçoamento de instrumentos específicos para obtenção de dados e monitoramentos, que ajudariam na modelagem dos fenômenos observados. Um instrumento que certamente teria aplicações na meteorologia destinar-se-ia à medida de temperatura.

A temperatura, por sua vez, apresenta diversas definições como, por exemplo, a grandeza física que mensura a energia cinética média de cada grau de liberdade, e de cada uma das partículas de um sistema em equilíbrio térmico. Ou, em uma definição mais rústica, ela também pode ser definida como o resultado de uma sensação de quente ou frio.

II. Instrumentos para medição de temperatura

Existe uma cronologia da medição da temperatura, não atrelada à meteorologia. Em 1592, teria sido construído o primeiro equipamento para medir o grau de agitação das moléculas, ou seja, quente ou frio: Galileu Galilei constrói o termoscópio. Em 1612, Santorio Santorio dá um uso médico ao termômetro; em 1714, Daniel Gabriel Fahrenheit inventa o termômetro, tendo o mercúrio como elemento sensível. Em 1821, T.J. Seebeck inventa o termopar, um outro tipo de elemento sensível baseado na fundição de dois metais diferentes. Em 1885, Callendar van Dusen inventa o termômetro de sensor de resistência de platina. Este seria o elemento sensível do objeto sujeito à leitura no MAST

e que motivou o presente texto. Ou seja, é utilizada a parte elétrica para medição de temperatura, tendo como elemento sensível, a platina pura. Finalmente, em 1892, Henri Louis Le Chatelier constrói o primeiro pirômetro óptico. Nesse caso, tem-se um instrumento óptico através do qual vai sendo observado o aumento da temperatura, por meio da coloração do elemento de calibração (um filamento de metal, por exemplo), comparando simultaneamente com a cor do objeto, cuja temperatura precisa ser medida. Esta metodologia foi muito utilizada no meio industrial.

Alguns tipos de termômetros atuais são os termômetros bimetálicos e a gás (Figura 1); o termômetro infravermelho; o de máxima e mínima (Figura 2), sendo que neste último caso ambas as medidas podem obtidas em um único corpo em U com mercúrio.

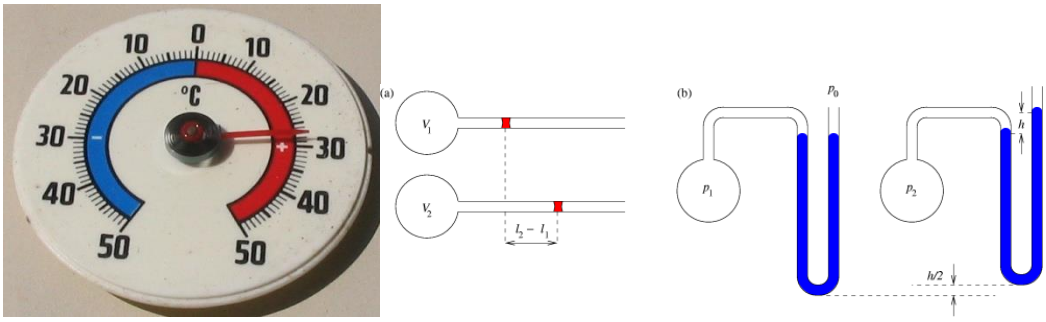


Figura 1: Termômetro bimetálico (direita) e esquema de funcionamento de um à gás (esquerda). Créditos das imagens: Wikipedia[79].

[79]https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:20050501_1315_2558-Bimetall-Zeigerthermometer.jpg; https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Plinski-termometer2.png. Acesso em fevereiro de 2019.

Figura 2: Termômetro infravermelho (esquerda) e o de máxima e mínima (direita). Créditos das imagens: Wikipedia[80].

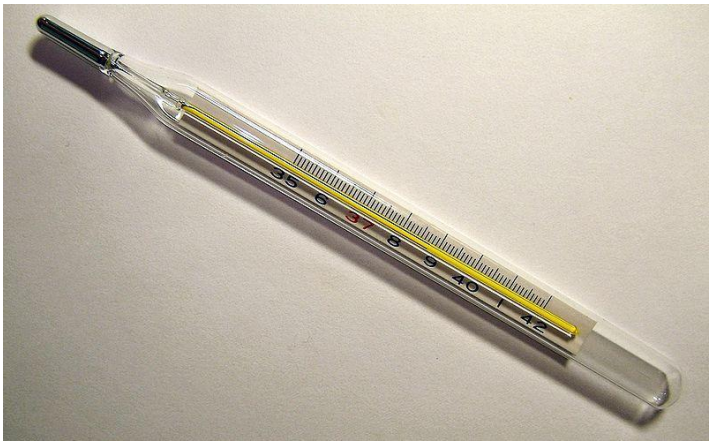


Figura 3: Termômetro de mercúrio. Crédito da imagem: Wikipedia[81].

Quando temos o termômetro de máxima separado, o princípio de funcionamento é muito semelhante ao dos antigos termômetros clínicos (os utilizados atualmente já são digitais). Nesse tipo de termômetro, observamos o bulbo, a haste do termômetro e, entre a haste e o bulbo, há um estrangulamento. Com o aumento da temperatura, o elemento sensível – nessa situação, o mercúrio - dilata, até chegar a uma determinada temperatura, a partir da qual ele não consegue retornar para o bulbo por causa do estrangulamento.

[80]https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:BodyPlus_Infrarot-Thermometer.png; https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Max_Min_Thermometer.JPG. Acesso em fevereiro de 2019.
[81]https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Clinical_thermometer_38.7.JPG. Acesso em fevereiro de 2019.

Para que o instrumento esteja em condições de uso novamente, devemos retirar o termômetro do suporte no qual ele fica com uma inclinação de 15°, e fazer movimento pendular para que o elemento sensível (mercúrio) vença o estrangulamento e retorne para o bulbo. Esse é o princípio de funcionamento do termômetro que foi utilizado pelo médico Santorio Santorio, no século XVII, para medidas da temperatura corporal humana, criando, assim, o termômetro clínico. Já o termômetro de mínima possui álcool como elemento sensível. Isso porque o ponto de congelamento do álcool ocorre em uma temperatura inferior em comparação com o mercúrio. A temperatura é indicada por um haltere móvel no interior da coluna transparente de álcool. Quando a temperatura sobe, o haltere fica retido indicando o valor mínimo atingido no período de tempo no qual a medida foi tomada.

Atualmente temos também o termômetro infravermelho. Companhias elétricas o utilizam para medir a temperatura do transformador. Antigamente era necessário subir no poste ou na torre com um termômetro infravermelho. Hoje em dia, o técnico utiliza um laser a partir do solo para apontar para o local desejado e, em seguida, o equipamento retorna com a temperatura, obtida através da medida da radiação infravermelha emitida pela área sob análise. O termômetro de mercúrio (Figura 3) que é popularmente conhecido, hoje não é mais utilizado nem recomendado pela Organização Meteorológica Mundial, por conta do elemento sensível: o mercúrio, que é altamente perigoso para a nossa saúde.

Adicionalmente, podemos citar o termômetro de resistência de platina. Trata-se de um instrumento que permite conhecer a temperatura do meio de interesse, recorrendo à relação entre a resistência, a parte elétrica de um material e sua temperatura. Então o princípio de funcionamento dele está ligado literalmente com a parte elétrica que é o elemento sensível do objeto sujeito à leitura.

III. O objeto da leitura: termógrafo registrador elétrico

Aqui temos o objeto de leitura, que é um termógrafo registrador elétrico (Figura 4), que pode ser visto como uma preciosidade, pois além de nos indicar a temperatura, oferece o registro dessa temperatura. Com um termômetro comum, só conseguimos a leitura se alguém fizer a observação. Já com esse instrumento, que é um registrador da

temperatura, podemos observar o perfil da temperatura, a leitura da temperatura ao longo do tempo. Então sabemos o horário em que a temperatura está mais baixa ou mais alta, assim como o horário em que ocorre a temperatura máxima e a temperatura mínima.

Com o instrumento sem o registro, seria preciso um observador ir ao local fazer a observação. Mas será que o horário da visita do observador seria o horário em que tinha ocorrido a temperatura mínima? Já teria ocorrido também a temperatura máxima? No caso das condições meteorológicas, qual o horário em que ocorreria a temperatura mínima ao longo de 24 horas? No intervalo entre zero e cinco horas da manhã. Mas será que é neste horário que ocorreria mesmo a temperatura mínima? Teoricamente sim, porque não haveria nenhum fenômeno meteorológico acontecendo naquele instante. Qual a implicação disso? É neste horário que ocorre a temperatura mínima e, uma vez que temos um balanço de radiação igual a zero, não está entrando nem saindo nenhuma energia. Então o balanço de radiação solar e terrestre é igual a zero, resultando temperatura mínima. Porém, quantas vezes, aqui na nossa cidade, saímos de manhã observando uma temperatura e num curto intervalo de tempo, por exemplo, no intervalo entre oito e doze, treze, quatorze horas, entra um sistema frontal (frente fria) que faz a temperatura diminuir bruscamente? Quando isso acontece, já não podemos dizer que ocorreu a temperatura mínima no horário entre zero e cinco horas da manhã, em condições normais da atmosfera. O mesmo ocorre com a temperatura máxima. Qual horário em que ocorre a temperatura máxima? No intervalo entre doze e dezesseis horas. Só que, em certo dia, havia um sistema meteorológico diferenciado, e em outro intervalo de tempo o Sol apareceu e o tempo abriu. Então a temperatura máxima ocorreu no outro horário e com um instrumento que registra automaticamente a temperatura conseguimos registrar o horário de ocorrência da máxima e da mínima em diferentes cenários.

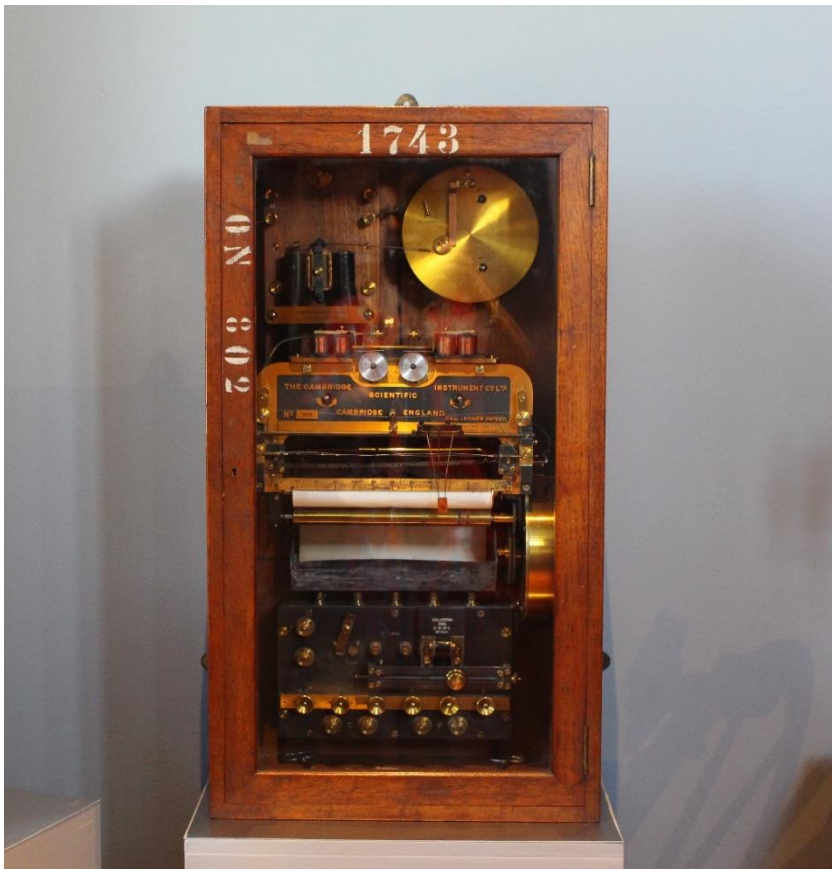


Figura 4: O Termógrafo Registrador Elétrico que esteve exposto para leitura no MAST. Crédito da imagem: MAST/MCTIC.

Voltando ao instrumento de leitura, são fascinantes os detalhes da construção. É extraordinário quando percebemos cada detalhe de um instrumento como esse, que, segundo informa o seu próprio nome, deve oferecer a medida e o registro da temperatura. Uma preciosidade! O cuidado para a construção não é para qualquer pessoa. Deve-se possuir habilidade e seguir um planejamento de construção da peça. Atualmente não a valorizamos muito: “ah, é uma peça de museu”. O que é uma peça de museu? É alguma coisa que já teve utilidade, venceu e em seguida passamos a guardar. Muito mais que todo o clichê, uma peça dessa é fantástica, extraordinária.

Atualmente, o que temos? Temos, hoje, uma peça maravilhosa como o termômetro infravermelho. Porém, qual a percepção da medida que temos com esse termômetro? Nenhuma. É um feixe, apontamos e temos a medida; é um mecanismo muito frio. Agora, quando pegamos um equipamento como o exposto à leitura, chegamos bem perto dele e damos uma baforada, a reação é imediata. Diferente de quando temos o equipamento eletrônico e temos só o resultado. Nada contra a tecnologia, mas precisamos valorizar o

que nós tínhamos no passado e observar sua evolução. Hoje nós temos a possibilidade de ter um instrumento que nos fornece a informação de maneira mais direta, no entanto sem necessitar da percepção e sensibilidade do operador e que é considerado esteticamente mais feio.

No CEFET temos alguns equipamentos registradores de temperatura, umidade, pressão, vento. Os colegas mais novos costumam se referir a eles como “peça de museu”, "nem vai para museu", "dá logo um descarte, nisso aí", "se alguém quiser pega", etc. Devemos nos lembrar que se trata da história! Por que isso é história? O aluno que tiver contato com um equipamento desses aprende a ter sensibilidade para a medida. Quando pegamos e ajustamos um equipamento é importante ter essa sensibilidade. Quando colocamos um equipamento desses dentro de uma câmera, uma câmera barométrica, termométrica, vamos fazendo os ajustes e percebendo a pena do equipamento subindo e descendo. Agora, quando utilizamos um equipamento atual de medição de temperatura, a única coisa que conseguimos ver é se ela aumentou ou diminuiu. Mais nada. Descartamos toda a construção, por trás, para chegar ao resultado - não percebendo a sensibilidade do uso do instrumento.

No CEFET, mesmo com a tecnologia de hoje, é necessário mostrar para o aluno o que é pegar um termômetro de vidro, segurar no bulbo, perceber a dilatação, a variação do elemento sensível, o aumento da temperatura, porque ele está passando energia, passando calor para o instrumento. E o instrumento respondendo de forma sensível a essa troca de energia. Do mesmo modo, pega-se um instrumento de pressão, “ah, em que andar a gente está”? “Estamos no térreo”. Pega-se um instrumento de pressão e vamos até o décimo andar. O aluno percebe a variação da pressão, que a pressão cresce pra baixo e diminui para cima. A mesma coisa, quando ligamos o ar-condicionado e tem um instrumento de sensor de umidade. Ligar e observar que a umidade estava em um valor e que vai diminuindo. É diferente de quando o aluno pega um instrumento digital e observa “ah, legal a umidade está assim”, daqui a pouco, “a umidade está diferente”. Com um instrumento não digital, o aluno vai acompanhando, desenvolve essa percepção seguindo a evolução da medida.

Então, quando fazemos a leitura de um equipamento, como o termógrafo registrador elétrico, nos chama a atenção não só a maestria da construção do equipamento e as condições para inserir o elemento sensível dentro de uma caixa como essa, mas

também a oportunidade de registrar a variação do elemento sensível. Uma resistência de platina pura, até hoje, é um dos sensores mais precisos que existem para medir a temperatura. Quando olhamos atentamente para um equipamento desses percebemos o quanto a humanidade evoluiu em relação ao passado; o quanto ela foi aperfeiçoando os equipamentos para medição de temperatura que hoje têm uma precisão enorme. Mas não esqueçamos que foi com um equipamento desse que a evolução começou.

A importância de equipamentos como esse se evidencia, por exemplo, em debates em relação ao aquecimento global, já sabemos que o aquecimento global existe através da comparação da situação atual com o passado do Planeta. Isso é possível levando-se em conta a existência um equipamento como esse, que registrava a temperatura e, assim, temos um registro de temperatura hoje! Como saber se o mês de dezembro de 2017, foi tão quente quanto o de 2016? Ou o de mil oitocentos e alguma coisa? Como afirmar que a pessoa que fazia a leitura do termômetro, no passado, estava lendo corretamente? Estava cometendo algum erro de leitura? Então, quando falamos em aquecimento global e a comparação da temperatura medida hoje, com muita precisão e a leitura no passado, é preciso considerar como tornar os diferentes conjuntos de dados compatíveis. O observador tinha um instrumento como o termógrafo registrador elétrico, estudou o equipamento e viu quais erros comprometiam a medida, corrigiu esses erros e hoje conseguimos comparar a temperatura do passado com a temperatura atual. E, assim, observa-se que a temperatura do Planeta tem tido um aumento significativo.

Como leitura de um objeto, devemos partir da relevância em relação ao seu início, ao registro de sua história passada. Não podemos abrir mão, uma vez que o passado nos diz tudo. Antigamente o banco de dados era a memória de alguém, hoje não, temos um registro. Não só o registro como um backup. Caso falhe, temos a cópia. O extraordinário de fazer a leitura de um equipamento dessa grandeza é que parece complicado somente pelo fato de requerer de nós algo que, atualmente, não faz parte do nosso dia a dia: a paciência. Paciência que é necessária para fazermos a leitura dele, com calma e fazê-lo funcionar, literalmente. Mas hoje temos muita pressa, mesmo que a pressa não nos leve a nenhum lugar ou, se nos levar, o faça para um lugar errado.

IV. Comentários finais

Foi apresentada aqui a minha leitura do Termógrafo Registrador Elétrico. O instrumento é uma preciosidade e o MAST deve se orgulhar do trabalho de conservação executado.

Como reflexão final, suponha que temos um copo e começamos a encher com água. A água vai chegar no limite do copo e transbordar. Todos serão favorecidos já que o copo vai transbordar por igual. Agora suponha que estamos enchendo um copo e acontece uma perturbação, como alguém esbarrando no copo fazendo espirrar água pra cá e pra lá. Pense na água como sendo a história, então podemos perturbar a história, alterando a forma como ela chega às pessoas. Observamos muito isso no Brasil, em relação à forma como lidamos com nossa história, assim como a dos nossos equipamentos. Portanto, devemos louvar a preocupação do MAST em relação à iniciativa de promover a leitura de um equipamento como o que discutimos aqui. Mesmo sendo incerta a continuação do projeto, creio que para os meus alunos seria uma oportunidade ímpar participar de forma ativa desse momento extraordinário que é a leitura de um equipamento científico.

Termógrafo Registrador Elétrico

Rita Gama Silva

Nota biográfica

Rita Gama Silva é museóloga formada pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) em 2002 e mestre em sociologia e antropologia pelo Programa de Pós-Graduação em Sociologia e Antropologia (PPGSA/IFCS/UFRJ) em 2008, com dissertação publicada. Atua como pesquisadora nos temas museus, cultura brasileira e patrimônio cultural. Atuou em instituições como a Fundação Casa de Rui Barbosa e o Centro Nacional de Folclore e Cultura Popular (IPHAN) entre outras. Atuou na ONG Redes de Desenvolvimento da Maré como educadora, e coordenou o Programa Educativo do Museu das Telecomunicações/Oi Futuro. Pesquisou o acervo de meteorologia do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), desenvolvendo textos para a base de dados da instituição. Coordenou o Projeto Bagagem Cultural Itaboraí. Atualmente é bolsista PCI/CNPq no Museu de Astronomia e Ciências Afins, pesquisando sobre base de dados e disponibilização de dados museológicos na internet.

I. Introdução

Eu quase nada sei, mas desconfio de muita coisa.

Guimarães Rosa

O principal objetivo desse texto é compartilhar dúvidas e fontes de pesquisa sobre o Termógrafo Registrador Elétrico (Figura 1, à direita). Esse texto é um desdobramento da pesquisa realizada entre 2015 e 2017, quando investigamos 150 objetos de meteorologia do acervo do Museu de Astronomia e Ciências Afins, entre eles esse instrumento[82].

A pesquisa seguiu metodologia desenvolvida previamente, e sugeria como roteiro a investigação (1) da história técnica, ou seja, das evoluções técnicas com finalidades científicas ao longo das décadas e que possibilitaram o desenvolvimento daquele instrumento específico com suas finalidades, e (2) a história daquele objeto especificamente - seu fabricante, inscrições, a quem pertencera, como fora utilizado e de que maneira se tornara obsoleto e musealizado, por exemplo. Em poucos casos conseguimos informações recentes conclusivas sobre os objetos. Apesar disso, o Termógrafo Registrador Elétrico, objeto desse artigo, foi um dos instrumentos sobre os quais mais se descobriu ao longo da pesquisa, e ao mesmo tempo o que mais suscitou perguntas e questionamentos que permaneceram sem solução. A intenção desse artigo, portanto, é compartilhar os caminhos de pesquisa que trilhamos, que nos levaram a algumas respostas e a muitas novas perguntas que seguem não respondidas, à espera de pesquisas futuras.

A experiência da *Sala de Leitura de Objetos* - que originou essa publicação - dialoga, portanto, com a experiência que culminou nessas linhas: do objeto de museu como gerador de perguntas, de trocas, de leituras, de saberes e suposições. Sentamos em torno do objeto para observar, através dele, inscrições e vestígios de sua biografia (KOPYTOFF, 2008) - suscitadas pela sua presença musealizada. Na certeza da importância das perguntas, e no seu potencial de manter vivos os objetos que estão preservados no museu, é que apresento esse artigo. Com algumas pistas, indicações de

[82]Agradeço ao CNPq pela bolsa de Pesquisa que possibilitou essa investigação (Projeto Coleções Científicas no MCTI: consolidação, expansão e integração – processo 384614/2015-9).

referências para quem quiser buscar respostas e, principalmente, para compartilhar dúvidas que mantém viva minha curiosidade sobre esse objeto.

II. O Termógrafo registrador elétrico: primeiras impressões

Da etimologia da palavra, podemos apreender que *TERMO* – é referente a *temperatura*, e *GRAFO* – a escrita, registro. Portanto, Termógrafo seria o instrumento que registra a temperatura ao longo do tempo, tendo como modo de funcionamento a eletricidade. Chegamos a esse objeto de pesquisa através da coleção de meteorologia do Mast, mas termos dúvidas se a classificação nessa área de conhecimento estaria correta. Segundo a etimologia da palavra, *meteoros*, do grego, significa "elevado no ar", e *logos*, estudo, portanto, estudos atmosféricos. Essa é a definição dada pela maior parte dos dicionários, e está ligada, geralmente, à previsão do tempo.

Com essas informações fomos até o instrumento pela primeira vez, e registramos as muitas inscrições que ele contém, a fim de descobrir traços de sua história e uso. As linhas que seguem abaixo compartilham as trilhas que seguimos a partir dessas descrições, e onde elas nos levaram.

III. Medindo a temperatura com sólidos: o efeito termoelétrico e os termopares

Reconstruindo a trajetória dos instrumentos científicos destinados à medição de temperatura, observamos que as primeiras experiências realizavam a medição através da expansão do ar, como os termoscópios, de Galileu Galilei e outros (HAGART-ALEXANDER, 2003, p. 239; MIDDLETON, 1969, p.36). Posteriormente, a medição de temperatura se dava através da expansão de líquidos (por ex.: termômetros a álcool, mercúrio e "espírito do vinho", entre outros) e, finalmente, chegamos às experiências de medição de temperatura através da expansão de sólidos (MIDDLETON, 1969, p. 38) – e foi através delas que se desenvolveram os caminhos para as investigações sobre condutividade elétrica em materiais sólidos e para o desenvolvimento das tecnologias utilizadas nesse termógrafo registrador elétrico.

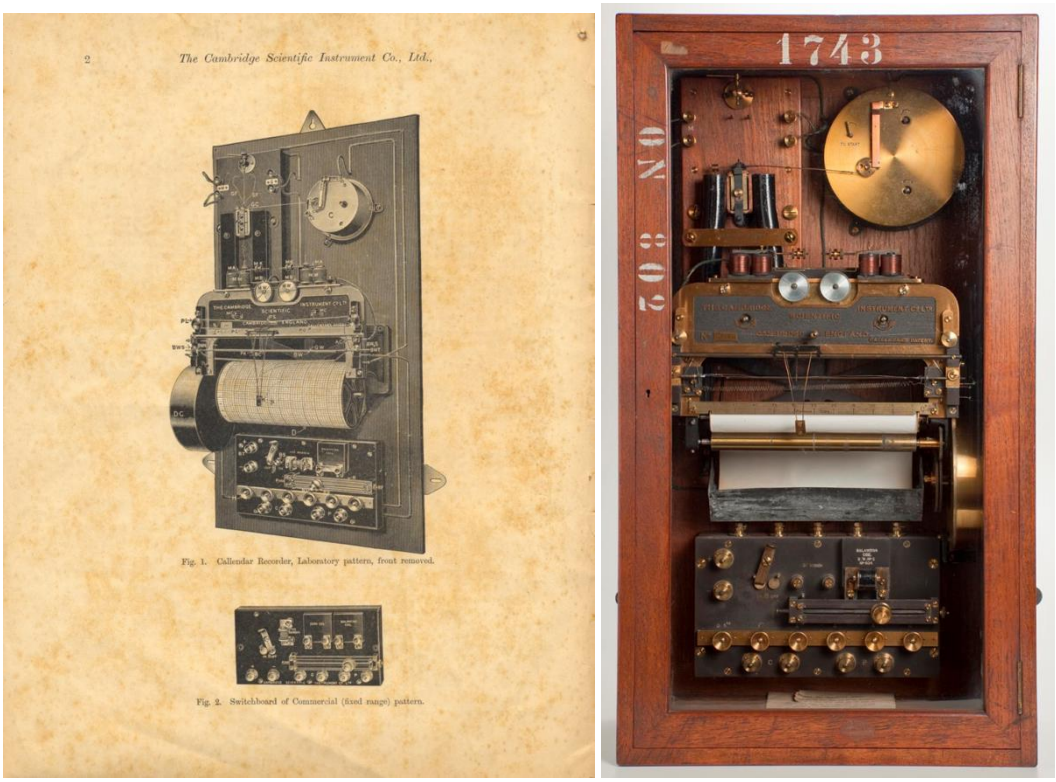


Figura 1: à esquerda: Catálogo da *The Cambridge Scientific Instrument Company, Ltd.* com Termógrafo Registrador Elétrico bastante semelhante ao integrante da coleção de Meteorologia do Mast (Catálogo disponível no site do museu)[83]. À direita: Termógrafo Registrador Elétrico da Coleção do Mast. Foto: Jaime Acioli.

A maior parte dos instrumentos registradores encontrados no Mast (do fabricante Richard Frères[84], de que falaremos adiante), possuem um tubo de Bourdon[85] - um tubo curvo e achatado de metal flexível, hermeticamente fechado, contendo álcool. Uma das extremidades do tubo de Bourdon é fixa nos chassis do aparelho, e a outra está presa ao sistema de alavancas com uma ponta de lápis ou tinta (pena registradora). Variações da temperatura ambiente alteram o volume do álcool dentro do tubo que se expande ou contrai, movendo a pena registradora do instrumento que, com tinta, registra a temperatura no papel colado ao tambor giratório (MIDDLETON, 1969, p. 40). O tubo de

[83] Disponível em: <http://site.mast.br/catalogo/pag_thumbs.asp?id_catalogo=22&qtd=27>. Acesso em 09. dez. 19.

[84] Para mais informações sobre esse fabricante, ver BRENNI, 1996, e LE SYNDICAT DES CONSTRUCTEURS D1OPTIQUE E DE PRECISION, 1901/1902.

[85] O tubo de Bourdon foi inventado e patenteado por Eugène Bourdon, em 1849. Bourdon vendeu a concessão exclusiva de sua patente ao fabricante Felix Richard (posteriormente chamado Jules Richard/Richard Frères) em 1850 – e são desse fabricante todos os termógrafos atualmente presentes na coleção do Mast. Para mais informações sobre o tubo de Bourdon e as informações acima, ver MIDLETON, 1969, p. 50-51.

Bourdon[86] e os termômetros bimetálicos[87] são experiências de medição de temperatura através da expansão de sólidos submetidos ao calor.

L. B. Hunt (1980) enumera as diversas contribuições que permitiram o desenvolvimento da escala de Platina: os efeitos do calor sobre condutores, iniciados por Thomas Seebeck[88], e a descoberta de que, através da variação de corrente elétrica nos metais, a temperatura também poderia ser medida. Ainda segundo Hunt (1980), a precisão do termômetro baseado na variação de resistência elétrica da platina alteraria todos os paradigmas da termometria na década de 1860, colocando a medição de temperatura sobre novas bases e possibilidades (uma adaptação da *Wheatstone bridge*, com a função de medir a temperatura a partir da mudança na resistência num fio de platina[89]).

Analisando os Inventários de Material Permanente do Observatório Nacional[90] tivemos uma grata surpresa: descobrimos que o Termógrafo Registrador elétrico trabalhava junto com dois termômetros termopares, que acreditamos, compõem, atualmente a coleção. Há indícios de que os termômetros termoelétricos 1997/0970 e 1997/0971[91] sejam os mesmos citados no inventário de 1924. No de 1922 estão registrados "dois termômetros de termo-elétrico de resistência Platina e Platina – Ródio, n^{os} 3338 e 3347, do registrador *Callendar The Cambridge S. I. C. Ltd*, a 62$000 (sessenta e dois mil réis) cada". Os termômetros possuem entre as suas inscrições os mesmos números (3338 e 3347), e são do mesmo fabricante, "C*ambridge Scientific Instrument Company Ltd*". Essa nomenclatura permite estimar um corte temporal de produção desses

[86] Jules Richard patenteou barógrafos e termógrafos utilizando essa tecnologia na França em 1880, e nos EUA em 1886 (Patente número 334,613). Nos primeiros termógrafos de Richard, o Tubo de Bourdon se encontrava dentro da caixa de madeira (como no objeto 1995/0450). Reconhecendo que esse "case" protegeria o tubo de Bourdon das alterações rápidas de temperatura, Richard passou a produzir os tubos externamente à caixa dos termógrafos, para maior precisão nos registros de temperatura. Para saber mais sobre o fabricante Jules Richard/Richard Family ver BRENNI (1996) e LE SYNDICAT DES CONSTRUCTEURS D1OPTIQUE E DE PRECISION (1901/1902).

[87] Não há termômetros bimetálicos na coleção de meteorologia do Mast, mas trouxemos essa informação por acreditar que é importante para o entendimento da escala de platina e dos termopares que compõem o termógrafo aqui em questão. Para mais informações sobre os termômetros bimetálicos, ver MIDLETON (1969, p. 49).

[88] Num circuito formado por duas tiras de metal, ele aqueceu uma das extremidades da junção, observando um movimento de bússola entre as tiras. A corrente elétrica é gerada quando as junções estão com temperaturas diferentes, e o campo magnético produzido pela corrente desvia a agulha da bússola que marca a medição.

[89] Esses estudos tiveram também impacto na comunicação à distância, permitindo a tecnologia dos cabos submarinos (HUNT, 1980)

[90] Instituição de onde provém a maior parte dos instrumentos do Acervo do Mast., incluindo o termógrafo Registrador elétrico aqui analisado. Os inventários são inéditos, sobre a Guarda do NUDCAM – Núcleo de Documentação e Conservação do Acervo Museológico do Mast.

[91]Vale à pena registrar que esse termômetro tem sinais de uso, com sua parte de porcelana quebrada. O dano permite visualizar a junção metálica que o compõe.

instrumentos: entre 1895 - quando o fabricante se torna "Ltd." e 1919 - quando altera seu nome para "*The Cambridge and Paul Instrument Company*"[92], (quando da fusão com a *Robert W. Paul Instrument Company*)[93].

Figura 2: Detalhe de inscrição no termômetro termoelétrico 1997/0970, indicando platina e ródio como os metais que o compõem. Foto da autora.

O termômetro termoelétrico 1997/0970 contém a inscrição "Pt Rh" (Figura 2), associada à dupla de metais que o compõem - platina (Pt) e ródio (Rh). A tensão elétrica entre diferentes pares de metais utilizados nesse tipo de termômetro determina a extensão de temperaturas que ele pode medir. Num catálogo desse fabricante, de 2006, consta entre as vantagens dos termômetros termoelétricos a medição de temperaturas altas (até 1600ºC[94]) e que o instrumento se dedicaria a medições em laboratório. De acordo com a Figura 1, que reconhece o termógrafo aqui tratado como modelo de laboratório (parte inferior o modelo do padrão de laboratório, semelhante ao termógrafo musealizado) passamos a ter então três possibilidades de uso não confirmadas para esse instrumento no Observatório Nacional (instituição de onde provém): (1) medição de altíssimas temperaturas em uso laboratorial (que é o diferencial dos termopares), (2) meteorologia (pela classificação na coleção e de acordo com a escala que há no instrumento, que vai

[92] Para mais informações sobre esse fabricante, ver ALLOT (2003).
[93] Essa alteração pode ser verificada nos catálogos do fabricante, ao longo dos anos, e também em duas bases de dados que disponibilizam esses materiais: The Grace's Guide to British Industrial History, disponível em https://www.gracesguide.co.uk/Cambridge_Instrument_Co; e no History of Science Museum, disponível em:
http://www.mhs.ox.ac.uk/collections/imu-search-page/narratives/?irn=15904&index=1. Acesso em 13. dez. 19.
[94] The Cambridge Scientific Instrument Company. Technical Thermometry. Cambridge: University Press, 1906. p. 32. Disponível em:
<https://archive.org/stream/technicalthermom00cambrich#page/n1/mode/2up>. Acesso em 12 dez.19.

de 0 a 50ºC, e (3) para calibragem de termômetros citado como uso possível por Hunt (1980, p. 111).

No inventário de 1924 esses três instrumentos – o termógrafo e dois termopares - aparecem novamente relacionados e sob o mesmo número de registro, "61.270". Na página 53 do inventário lê-se "*Registador Calender elétrico com 2 termômetros de resistência números 3338 e 3347*", e aparece também o número de série "404", todos os três idênticos aos dos instrumentos musealizados[95]. Nesse inventário há ainda a informação "carga: 1913", e imaginamos que possa ser a data em que o instrumento adentrou a instituição ou o país, mas essa hipótese segue sem confirmação.

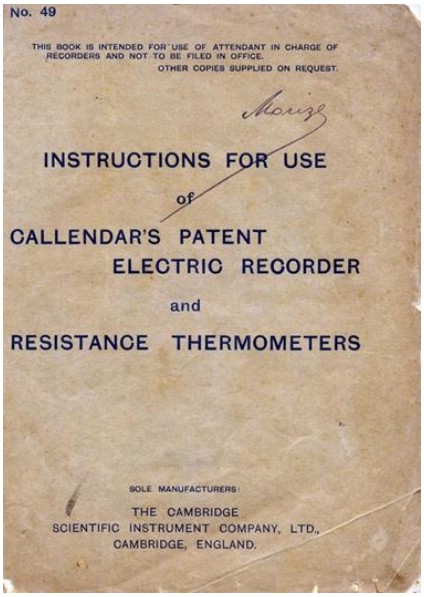


Figura 3: Capa do catálogo que acreditamos ser referente ao objeto desse estudo (disponível on-line no site do Mast)[96].

Conforme já dito, esse instrumento tem o padrão dos usados em laboratório, segundo catálogo de instruções desse fabricante para esse instrumento. Na capa desse catálogo (Figura 3) consta a assinatura do antigo Diretor do Observatório Nacional, Henrique Morize. Ele assume a direção entre 1908 e 1929. O catálogo data de 1907, e

[95] Há, à caneta, um *2*, incluído posteriormente, então também pode se ler "404 *2*".
[96] Disponível em http://site.mast.br/catalogo/pag_thumbs.asp?id_catalogo=22&qtd=27. Acesso em 13. dez.17.

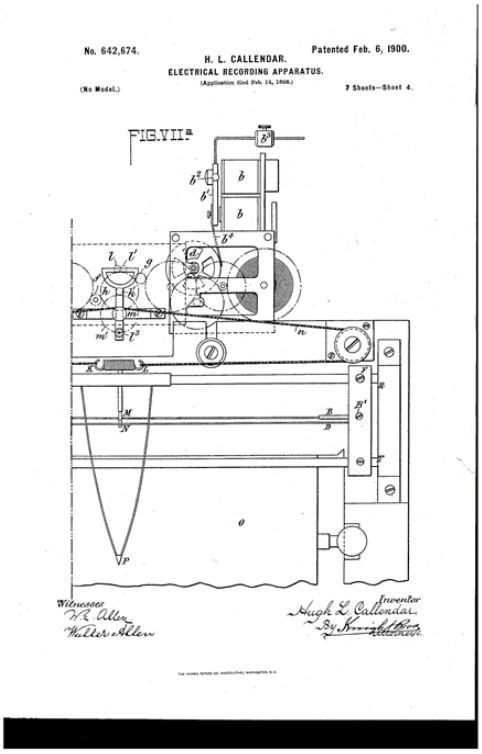
podemos então estimar a produção desse instrumento como sendo no início do século XX. Há catálogos de 1901 disponíveis na internet, mas são outros modelos[97].

IV. Funcionamento e comparação com outros instrumentos registradores da coleção MAST

De um modo geral os instrumentos registradores são constituídos por uma unidade sensível que, sob variações da temperatura ambiente, aciona um sistema de alavancas. Esse sistema desloca uma haste em cuja extremidade está a pena registradora. O deslocamento da pena fica registrado em um diagrama de papel (o termograma), fixado no tambor rotativo que se move graças a um sistema de relojoaria. Observando o Termógrafo (Figura 1) podemos observar essas estruturas, também presentes em outros termógrafos da coleção, como os do fabricante Jules Richard, que poderiam ser considerados alguns dos antecessores tecnológicos do objeto em questão do ponto de vista do registro dos dados ao longo do tempo num papel fixado em tambor cilíndrico.

Termógrafos e Barógrafos presentes na coleção do Mast usam sistema de alavanca e registro semelhantes aos presentes nesse instrumento. Os instrumentos registradores não eram mais novidade no início do século XX. Mas os aparatos de Richard representavam uma nova geração de instrumentos industriais, simples, eficientes e fáceis de reparar. Eram montados sob uma base de madeira e protegidos por uma caixa de metal e vidro - um padrão eficiente que passou a ser copiado por outros fabricantes - e também seguido nesse Termógrafo Registrador Elétrico. Há alguns desses exemplares no museu, como termógrafos, barógrafos, e um contador totalizador produzidos por Richard Frères/Jules Richard – dependendo da época, já que ele mudou de nome ao longo de sua história (Figura 5).

[97] Há diversos catálogos desse fabricante disponíveis no site do Smithsonian Libraries. Para acessar, veja : <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51607/imagepages/image27.htm>.


No. 642,674. Patented Feb. 6, 1900.

H. L. CALLENDAR.

ELECTRICAL RECORDING APPARATUS.

(No Model.) 7 Sheets—Sheet 4.

FIG. VII.

Witnesses: W. E. Allen, Walter Allen

Inventor: Hugh L. Callendar, By ... Attorney.

Figura 4: página do processo de patente da tecnologia/modelo do Termógrafo Registrador elétrico, registrando o funcionamento da Pena Registradora[98].

Figura 5: À esquerda: Termógrafo 1995/0452 (coleção Mast). À direita: termógrafo 1995/450 (coleção Mast). Fotos: Jaime Acioli

[98] UNITED STATES PATENT OFFICE. Official Gazette of the United States Patent Office. Madison: P. 1004-1005. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=LGQbAQAAMAAJ&pg=PA1005&lpg=PA1005&dq=%22United+States+Patent+Office%22++1900+%22Electrical+recording+Apparatus%22&source=bl&ots=g6PblMWFyN&sig=ACfU3U2QYVEOUbrplPpJe-jXnEGvMp2A0g&hl=pt-BR&sa=X&ved=2ahUKEwiKh5zlnLPmAhXHILkGHaioDrEQ6AEwAXoECAYQAQ#v=onepage&q=%22United%20States%20Patent%20Office%22%20%201900%20%22Electrical%20recording%20Apparatus%22&f=false. Acesso em 13 dez. 19.

São do fabricante Jules Richard/Richard Frères todos os termógrafos atualmente presentes na coleção do Mast. Jules Richard patenteou barógrafos e termógrafos utilizando essa tecnologia na França em 1880, e nos EUA em 1886 (Patente número 334,613). Nos primeiros termógrafos de Richard, o Tubo de Bourdon se encontrava dentro da caixa de madeira (como no objeto 1995/0450, Conforme Figuras 4 e 5 desse artigo). Reconhecendo que esse estojo protegeria o tubo de Bourdon das alterações rápidas de temperatura, Richard passou a produzir os tubos externamente à caixa dos termógrafos, para maior precisão nos registros de temperatura[99].

Figura 6: Termômetro termoelétrico 1997/0970 da Coleção do Mast.

V. A escala de Platina, o fabricante e a Patente

Há, no objeto, a inscrição "*platinum scale*", escala de platina. Desde o início do século XX os termômetros de resistência de Platina são a mais conveniente forma de medida de temperatura e controle em aplicações industriais e laboratoriais, e sua precisão

[99] ver MIDLETON (1969, p. 50) e BRENNI (1996).

contribuiu largamente para a definição da Escala internacional de temperatura (HUNT, 1980).

Ainda segundo Hunt (1980), a escala de Platina foi transformadora na termometria. Em 1821, Humphry Davy, da Royal Institution, parece ter sido o primeiro a descobrir que a resistência elétrica de um metal varia de acordo com sua temperatura. Em 1826, Seebeck descobre que um circuito elétrico é criado quando uma diferença de temperatura é mantida entre a junções de 2 diferentes metais. Ele listou uma série de 35 metais, entre eles platina e ródio que, acreditamos, compõem os termômetros termoelétricos que funcionavam associados a esse Termógrafo (conforme inscrição nos objetos).

Segundo Hunt (1980), o termômetro de resistência de platina estava sendo desenvolvido por pesquisadores diferentes em Cambridge (Reino Unido), sem que um conhecesse a experiência do outro. Hernest Howard Griffiths (1851-1932) estava pesquisando o mesmo tema que H. L. Callendar, sem que esse soubesse. Em 1886, H. L. Callendar descreveu um termômetro preciso baseado na variação de resistência elétrica da platina e em seguida, em 1889, Griffiths e Callendar unem suas pesquisas a fim de fixar pontos de calibragem para o *platinum resistance thermometer* (HUNT, 1980, p. 111).

Com esses valores determinados, Callendar e Grifiths procuram Horace Darwin, responsável pela "Cambridge Instrument Company", e ele concorda em apoiar a produção comercial dos Termógrafos Registradores Elétricos, disponibilizando equipamentos para essa empreitada. Os primeiros instrumentos registradores de Callendar foram desenvolvidos em 1897 (HUNT, 1980).

Esse instrumento musealizado do Mast tem a inscrição "642 676 Feb.6, 1900". Encontramos a possível patente de H. L. Callendar para um instrumento semelhante a esse nos Estados Unidos, porém ela leva o número "642,674". Acreditamos que o instrumento sob a guarda do Mast seja um modelo semelhante, posterior. As investigações para o uso comercial dessa tecnologia começaram em torno de 1850, quando a firma de William Siemens estava bem estabelecida em Londres, no ramo do telégrafo elétrico (HUNT, 1980). Em 1860, Siemens inventou o primeiro "termômetro de resistência" utilizando fio de cobre para verificar a temperatura de bobinas em cabos submarinos - o que prevenia a destruição, por reação espontânea, de caríssimos cabos

submarinos telegráficos. Em 1872, Siemens escreve o texto "*On measuring temperature by eletricity*", onde descreve a dupla função dos termômetros termoelétricos: (1) medição de altas temperaturas e (2) medição precisa de temperatura em lugares inacessíveis ou distantes (HUNT, 1980, p. 107).

Em 1903, no encontro da *British Association*, o termômetro de resistência de Platina foi confirmado pelo Comitê *Platinum Thermometry* como instrumento sensível e estável para temperaturas industriais e controle de precisão em trabalho de laboratório, o que colocou a medição industrial, em laboratórios e motores em bases totalmente novas (HUNT, 1980, p. 110).

Concluímos a partir desse estudo que o Termógrafo operava em conjunto com termômetros termoelétricos que também compõem a coleção do Mast, e que a escala de platina, embora tenha como inovação medir temperaturas extremas e à distância com grande precisão, podem ter sido usadas apenas para registro de medição meteorológica no Observatório Nacional, sua instituição de origem, tendo em vista que a graduação inscrita no instrumento vai de 0 a 50º C. É um empasse que segue, até este momento, sem resposta. Sobre o uso laboratorial do instrumento, indicado pelo catálogo também oriundo do Observatório Nacional (Figuras 1, à esquerda, e 3) seguimos com as perguntas sobre que laboratório seria esse, e com que finalidades. As dúvidas sobre o uso desse instrumento em instituições meteorológicas vêm sendo feitas também por outros pesquisadores da área. Há uma carta no *Bulletin of the Scientific Instrument Society* (VERMEULEN, 2006) sobre um termógrafo bastante semelhante ao do Acervo Mast, que teria pertencido ao Departamento Meteorológico de Johannesburgo (África do Sul) no início do século XX. Ele retoma a presença de dois desses instrumentos através da documentação - pois os objetos não existem mais - e tenta entender de que maneira era seu funcionamento. Seguimos, fazendo coro com esse pesquisador do Instituto de Engenharia Elétrica da África do Sul, movidos pelas perguntas ainda provocadas pelo termógrafo registrador elétrico. Avante!

VI. Bibliografia

AGRICULTURA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Inventário de Material Permanente do Observatório Nacional. Responsável: Alfredo de Castro Almeida, assinado também por Henrique Morize. 1922. p. 35.

AGRICULTURA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO. Inventário de Material Permanente do Observatório Nacional. (capa ilegível). 1924.

ALLOT, S. The Cambridge technology scene: past, present and future. *The Ring Issue II*, Londres, Jan. 2003. The Newsletter of the University of Cambridge Computer Laboratory Graduate Association.

BOYES, W. *Instrumentation reference book*. 3. ed. [*S. l.*]: Elsevier Science, 2003. p. 239-302. Disponível em: https://ia801303.us.archive.org/10/items/InstrumentationReferenceBook/Instrumentation%20Reference%20Book.pdf. Acesso em 21 fev.17.

BRENNI, P. 19th century french scientific instrument makers: X : The Richard Family. *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, London, n. 48, 1996, p. 10-14.

CROWTHER, J. G. *The Cavendish Laboratoire*. In: British Scientists of the twentieth Century. London, New York: Routledge Library, 1952. p. 27.

GRIFFITHS, E. A. *Engineering instruments and meters*. London: George Rotledge and son, 1920. p. 347. Disponível em: https://www.ibiblio.org/kuphaldt/socratic/sinst/ebooks/Engineering_instruments.pdf. Acesso em: 26 maio 2017.

HAGART-ALEXANDER, C. Temperature measurement. In: BOYES, W. BOYES, W. *Instrumentation reference book*. 4. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2010. Disponível em: http://sarvniroo.ir/wp-content/uploads/Instrumentation%20Reference%20Book_%20Fourth%20Edition.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

HUNT, L. B. The Origin of the Platinum Resistance Thermometer. *Platinum Metals Rev*., [*S. l.*], v. 24, n. 3, p. 104-112, 1980, 24. Disponível em: http://www.technology.matthey.com/article/24/3/104-112/>. Acesso em: 17 mar. 2018.

L'INDUSTRIE française des instruments de précision. Paris: Le Syndicat des Constructeurs en Instruments d'ptique de Precision.1901-1902. p. 231-239.

KOPYTOFF, I. A biografia cultural das coisas: a mercantilização como processo. *In*: APPADURAI, A. *A vida social das coisas*: as mercadorias sob uma perspectiva cultural. Niterói: Editora da Universidade Federal Fluminense, 2008.

MIDDLETON, W. E. K. *Catalog of meteorological Instruments in the Museum of History and Technology*. Washington: Smithsonian Institution Press, 1969. p. 105. Disponível em: https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/2402/SSHT-0002_Lo_res.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 07 mar. 2017.

MULTHAUF, R. P. The introduction of self-registering meteorological instruments. *United States National Museum Bulletin*, n. 28, paper 23, p. 95-116, 2010. Disponível em: http://www.gutenberg.org/files/32482/32482-h/32482-h.htm. Acesso em: 23 maio 2017.

NARRATIVES. Manufacturer details: Cambridge Scientific Instrument Company. In: HISTORY OF SIENCE MUSEUM. *Collection database search*. [*S. l.*: *s. n*., 2019]

Disponível em: http://www.mhs.ox.ac.uk/collections/imu-search-page/narratives/?irn=15904&index=1. Acesso em: 13 dez. 2019.

TECHNICAL thermometry. Cambridge: The Cambridge Scientific Instrument, 1906. Disponível em: http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51702/. Acesso em: 08 set. 2018.

CALLENDAR electric recorders, platinum thermometers and apparatus for the mesurement of small resistances. Cambridge: The Cambridge Scientific Instrument, 1901. Disponível em: http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/trade-literature/scientific-instruments/files/51607/imagepages/image27.htm. Acesso em: 11 dez. 2019.

INSTRUMENTS de physique et d'électricité construits et fournis par the Cambridge Scientific Instruments Company, Ltd., Cambridge : The Cambridge Scientific Instrument, 1913. Disponível em: http://cerere.astropa.unipa.it/biblioteca/Strumenti/e-catalogues/Cambridge1913/Catalogo.html. Acesso em: 17 nov. 2017.

CAMBRIDGE Scientific Instrument Co. *In*: THE GRACE'S GUIDE TO BRITISH INDUSTRIAL HISTORY. [*S. l.*]: Cambridge Guide, c2019. Disponível em: https://www.gracesguide.co.uk/Cambridge_Instrument_Co. Acesso em: 13 dez. 2019.

OFICIAL GAZETTE OF UNITED STATES PATENT OFFICE. Madison: v. 90, n. 8, 1900. p. 1004-1005 Disponível em: encurtador.com.br/gwIU5. Acesso em: 13 dez. 2019.

VERMEULEN. D. J. Callendar ellectric recorder. Bulletin of the Scientific Instrument Society, n. 90, p. 16-17, 2006.

Conheça todos os volumes do MAST Colloquia em:
http://www.mast.br/pt-br/publicacoes.html#letra_m

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-60069-88-0
9 788560 069880

MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS - MAST
Rua General Bruce, 586 - São Cristóvão
CEP 20921-030 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: +55(21) 3514-5200
www.mast.br