

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

LEONARDO ZAMPIERI DE SOUZA

ENSINO DO ESPECTRO DA LUZ A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE REDES HISTÓRICAS

JUIZ DE FORA
2025

LEONARDO ZAMPIERI DE SOUZA

ENSINO DO ESPECTRO DA LUZ A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE REDES HISTÓRICAS

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientador: Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara

JUIZ DE FORA
2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Leonardo Zampieri de.
Ensino do Espectro da Luz a partir da Construção de Redes Históricas / Leonardo Zampieri de Souza. -- 2025.
131 p. : il.

Orientador: Marlon Cesar de Alcantara
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física, 2025.

1. Ensino de Física. 2. Natureza da Ciência. 3. Grupos de Colaboração. 4. História da Ciência. I. Alcantara, Marlon Cesar de, orient. II. Título.

LEONARDO ZAMPIERI DE SOUZA

Ensino do espectro da luz a partir da construção de redes históricas

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 11 de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara- Orientador

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Thiago da Silva Peron- Examinador 1

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. José Luiz Matheus Valle- Examinador 2

Universidade Federal de Juiz de Fora



Documento assinado eletronicamente por **Marlon Cesar de Alcantara, Usuário Externo**, em 17/07/2025, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Luiz Matheus Valle, Professor(a)**, em 18/07/2025, às 10:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago da Silva Peron Peron, Usuário Externo**, em 18/07/2025, às 21:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-UJF (www2.ujf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2496102** e o código CRC **43BF3737**.

Dedico este trabalho a minha família, meus pais, meu irmão e, principalmente, aos meus filhos Fábio e Camila que sempre estiveram ao meu lado e me incentivando. Aos meus amigos, principalmente, o Carlos e o Lídio que sempre me apoiaram em toda a minha trajetória.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - ICE - Coord. PPG Profis**

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO
STRICTO SENSU**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA - MESTRADO
PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

Nº PPG: 068

Formato da Defesa: (X) presencial () virtual () híbrido

Ata da sessão (X) pública () privada referente à defesa da (X) dissertação () tese intitulada **ENSINO DO ESPECTRO DA LUZ A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE REDES HISTÓRICAS**, para fim de obtenção

do título de (X) mestre () doutor(a) em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, pelo discente **LEONARDO ZAMPIERI DE SOUZA**, (matrícula 102410089), sob orientação do Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara.

Aos onze dias do mês de julho do ano de 2025, às 14:00 horas, no Auditório do bloco A do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais (IF SUDESTE MG), reuniu-se a Banca examinadora da (X) dissertação () tese em epígrafe, aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação, conforme a seguinte composição:

Titulação Prof(a) Dr(a) / Dr(a)	Nome	Na qualidade de:
Prof. Dr.	Marlon Cesar de Alcantara	Orientador e Presidente da Banca
Prof. Dr.	Thiago da Silva Peron	Membro titular externo
Prof. Dr.	José Luiz Matheus Valle	Membro titular interno

Prof. Dr.	Artur Justiniano Roberto Junior	Suplente externo
Prof. Dr.	Bruno Gonçalves	Suplente interno

*Obs: Conforme §2º do art. 54 do Regulamento Geral da Pós-graduação stricto sensu, aprovado pela Resolução CSPP/UFJF nº 28, de 7 de junho de 2023, “estando o(a) orientador(a) impedido(a) de compor a banca, a presidência deverá ser designada pelo Colegiado”.

AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

Tendo o(a) senhor(a) Presidente declarado aberta a sessão, mediante o prévio exame do referido trabalho por parte de cada membro da Banca, o(a) discente procedeu à apresentação de seu Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação Stricto sensu e foi submetido(a) à arguição pela Banca Examinadora que, em seguida, deliberou sobre o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO, conforme parecer circunstaciado, registrado no campo Observações desta Ata e/ou em documento anexo, elaborado pela Banca Examinadora

Novo título da Dissertação/Tese (só preencher no caso de mudança de título):

Observações da Banca Examinadora caso haja necessidade de anotações gerais sobre a dissertação/tese e sobre a defesa, as quais a banca julgue pertinentes

Nada mais havendo a tratar, o(a) senhor(a) Presidente declarou encerrada a sessão de Defesa, sendo a
presente Ata lavrada e assinada pelos(as) senhores(as) membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente, atestando ciência do que nela consta.

INFORMAÇÕES

Para fazer jus ao título de mestre(a)/doutor(a), a versão final da dissertação/tese, considerada Aprovada, devidamente conferida pela Secretaria do Programa de Pós-graduação, deverá ser

tramitada para a PROPP, em Processo de Homologação de Dissertação/Tese, dentro do prazo de 60 dias a partir da data da defesa. Após o envio dos exemplares definitivos, o processo deverá receber homologação e, então, ser encaminhado à CDARA.

Esta Ata de Defesa é um documento padronizado pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Observações excepcionais feitas pela Branca Examinadora poderão ser registradas no campo disponível acima ou em documento anexo, desde que assinadas pelo(a) Presidente(a).

Esta Ata de Defesa somente poderá ser utilizada como comprovante de titulação se apresentada junto á Certidão da Coordenadoria de Assuntos e Registros Acadêmicos da UFJF (CDARA) atestando que o processo de confecção e registro do diploma está em andamento.



Documento assinado eletronicamente por **Marlon Cesar de Alcantara, Usuário Externo**, em 17/07/2025, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Luiz Matheus Valle, Professor(a)**, em 18/07/2025, às 10:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago da Silva Peron Peron, Usuário Externo**, em 18/07/2025, às 21:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Zampieri de Souza, Usuário Externo**, em 05/08/2025, às 13:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uf (www2.uf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2494438** e o código CRC **DA2E1997**.

Referência: Processo nº 23071.926985/2025-23

SEI nº 2494438

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato a todos que, de alguma maneira, colaboraram para a realização deste trabalho. Ainda que eu tentasse, seria impossível expressar em palavras o quanto aprecio cada pessoa que participou desse processo.

Expresso minha gratidão à minha família, que sempre esteve ao meu lado com afeto e palavras de encorajamento, apoiando minhas escolhas, mesmo quando isso significava minha ausência em certos momentos. Sou especialmente grata ao meu pai, Edmilson, à minha mãe, Valdete, ao meu irmão, Alan, e aos meus filhos, Fábio e Camila, cuja presença foi essencial para que esta dissertação se concretizasse.

Minha gratidão se estende a todos os professores que contribuíram para a minha formação, tanto na graduação quanto no mestrado, oferecendo o conhecimento e o suporte que foram essenciais para minha trajetória profissional. Um agradecimento especial ao meu orientador, Marlon, por sua dedicação, por me guiar e por oferecer seu apoio de forma tão acolhedora. Sua orientação foi fundamental para a realização desta dissertação, transformando esta etapa em uma experiência de aprendizado inestimável.

Sou grato aos amigos que a jornada acadêmica trouxe para minha vida, e os que já tinha anteriormente, especialmente ao Carlos, que além de amigo, é meu diretor, e ao Lídio, por sua parceria constante durante o mestrado, tornando essa etapa mais leve e acolhedora. Agradeço também aos meus colegas de trabalho, que sempre apoiaram e me deram tempo extra para escrever, pela escuta atenta e palavras de incentivo, que tantas vezes se transformaram em momentos produtivos de escrita.

“Educar verdadeiramente não é ensinar fatos novos ou enumerar fórmulas prontas, mas sim preparar a mente para pensar.” (Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho apresenta a proposta e a avaliação de um produto educacional focado no desenvolvimento das habilidades dos estudantes para compreender aspectos da Natureza da Ciência. O estudo histórico concentra-se nas ondas eletromagnéticas visíveis e não visíveis e na fotografia, explorando, principalmente, os séculos XVIII, XIX e XX. Para tanto, adotamos a metodologia de construção e análise de redes históricas, oferecendo um modelo de ensino que coloca os estudantes como protagonistas em um processo investigativo. Eles são organizados em grupos de pesquisa, estando o professor como mediador desse processo de aprendizagem colaborativa.

Compreender a ciência como uma atividade humana, situada em contextos históricos, sociais e culturais específicos, constitui uma diretriz fundamental presente nos principais documentos que orientam a educação brasileira, como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). No âmbito do Ensino Médio, essa concepção é particularmente relevante para o ensino de Física, disciplina frequentemente apresentada de forma descontextualizada e excessivamente técnica. Ao incorporar a abordagem da Natureza da Ciência (NdC), é possível promover uma compreensão mais crítica, reflexiva e significativa do conhecimento científico, valorizando seus aspectos processuais, provisórios e humanos. Nesse contexto, a historiografia científica se destaca como uma ferramenta pedagógica eficaz, uma vez que permite aos estudantes compreenderem como o conhecimento foi construído ao longo do tempo, em diálogo com o meio social e cultural. Ao explorar episódios históricos, controvérsias científicas e trajetórias de cientistas, o ensino de Física ganha em profundidade e relevância, favorecendo o desenvolvimento do pensamento científico e da alfabetização científica no ambiente escolar.

Para oferecer uma base teórica sólida e auxiliar na aplicação do produto educacional, a dissertação também explora o conceito de redes sociais, detalhando seus elementos e potencialidades, com foco no estabelecimento de relações em sistemas complexos dentro de episódios históricos. Como exemplo, apresentamos um estudo sobre o surgimento das radiações infravermelhas (IR), o conceito da espectroscopia e radio telescopia, tratando o conhecimento científico como uma rede e evidenciando as interações entre atores humanos e não humanos nesse processo histórico. Essa análise permite explorar diversos aspectos da Natureza da Ciência, promovendo uma compreensão mais ampla sobre o desenvolvimento científico.

Ao longo do trabalho, são apresentados os detalhes da metodologia adotada, a aplicação prática do produto e os resultados alcançados, proporcionando uma reflexão sobre a eficácia da

proposta no ensino de Física e no entendimento da ciência como um processo dinâmico e interconectado.

Palavras-chave: Ensino de Física, Natureza da Ciência, Grupos de Cooperação, História da Ciência.

ABSTRACT

This work presents the proposal and evaluation of an educational product focused on developing students' skills to understand aspects of the Nature of Science (NoS). The historical study centers on visible and invisible electromagnetic waves and photography, mainly exploring the 18th, 19th, and 20th centuries. To this end, we adopted a methodology based on the construction and analysis of historical networks, offering a teaching model that positions students as protagonists in an investigative process. Students are organized into research groups, with the teacher acting as a facilitator of this collaborative learning experience.

Understanding science as a human endeavor, situated within specific historical, social, and cultural contexts, is a fundamental guideline emphasized in the main educational policy documents in Brazil, such as the National Common Curricular Base (BNCC). In high school education, this perspective is especially relevant in Physics teaching, a subject often presented in a decontextualized and overly technical manner. By incorporating the Nature of Science approach, it becomes possible to promote a more critical, reflective, and meaningful understanding of scientific knowledge, highlighting its procedural, provisional, and human dimensions. In this context, scientific historiography stands out as an effective pedagogical tool, as it enables students to understand how knowledge has been constructed over time in dialogue with society and culture. By exploring historical episodes, scientific controversies, and the trajectories of scientists, Physics teaching gains depth and relevance, fostering the development of scientific thinking and scientific literacy within the school environment.

To provide a solid theoretical foundation and support the implementation of the educational product, the dissertation also explores the concept of social networks, detailing their components and potential, with a focus on establishing relationships in complex systems within historical episodes. As an example, we present a study on the emergence of infrared radiation (IR), the concept of spectroscopy and radio astronomy, treating scientific knowledge as a network and highlighting the interactions between human and non-human actors throughout this historical process. This analysis allows for the exploration of various aspects of the Nature of Science, promoting a broader understanding of scientific development.

Throughout the work, we present the details of the adopted methodology, the practical application of the educational product, and the results obtained, offering a reflection on the effectiveness of the proposal in Physics education and in understanding science as a dynamic and interconnected process.

Keywords: Physics Teaching, Nature of Science, Cooperation groups, History of Science.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Imagem que mostra as 67.663 rotas aéreas do mundo	26
Figura 2 – Desenho da ilha de Kneiphof ligada pelas pontes, encontrada na carta de Ehler para Euler de 9 de março de 1736	29
Figura 3 – Imagem representa o uso da câmara escura para observar o eclipse solar	48
Figura 4 – Um desenho de uma câmera obscura tipo tenda móvel Kepler - o tipo projetado por Kepler em 1620	49
Figura 5 – Foto de Niépce denominada A Mesa Posta	51
Figura 6 – Imagem que Daguerre considerava seu primeiro daguerreótipo bem sucedido	53
Figura 7 – Representação de um Daguerreótipo	53
Figura 8 – Foto intitulada Casal de Jovens, 1845 - catótipo negativo e positivo	55
Figura 9 – Estojo daguerreótipo, autorretrato com câmera	55
Figura 10 – Foto da Lua em 1852 feita por John W. Draper	56
Figura 11 – Primeiro experimento de Herschel	57
Figura 12 – As termo pilhas Nobili-Melloni	59
Figura 13 – Bolômetro de Longley	60
Figura 14 – Figura de Newton no <i>Questiones</i> para ilustrar um dos seus primeiros experimentos com prismas	62
Figura 15 – Desenho do espectro solar feito por Fraunhofer	63
Figura 16 – Exemplos simples das bandas de espectros	64
Figura 17 – Alunos utilizando as câmaras escuras	69
Figura 18 – Alunos utilizando as câmaras escuras	70
Figura 19 – Luas representadas por Harriot (1609) e Galilei (1610)	70
Figura 20 – Sobre a construção dos céus, de William Herschel	71
Figura 21 – Rede montada sobre o filme <i>Piratas do Caribe: A Maldição do Pérola Negra</i>	73
Figura 22 – Rede montada sobre o filme <i>O Senhor dos Anéis: O Retorno do Rei</i>	74
Figura 23 – Rede EGO Caroline Herschel	79
Figura 24 – Rede EGO Joseph Nièpce	81
Figura 25 – Imagem do daguerreótipo da lua, no trabalho do grupo G3	82
Figura 26 – Rede EGO John W. Draper	82
Figura 27 – Trabalho feito pelo Grupo G4	83
Figura 28 – Rede EGO Edward Nichols	84
Figura 29 – Rede EGO Willian Wollaston	86
Figura 30 – Relação de Karl Jansky com a história da astronomia	87
Figura 31 – Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes	89
Figura 32 – Rede de atores humanos construída pelos estudantes, tratada no Gephi	91

Figura 33 – Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes, tratada no Gephi 92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARS	Análise de Redes Sociais
ASRH	Análise Social de Redes Históricas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
HNR	Historical Network Research
HSS	History of Science Society
NdC	Natureza da Ciência
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
MRH	Montagem de Redes Históricas
IHPST	International History, Philosophy and Science Teaching Group
AAAS	American Association for the Advancement of Science
NCC	National Curriculum Council
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PNE	Plano Nacional de Educação
CI	Ciência da Informação
CKCC	Circulation of Knowledge and Learned Practices in the 17th-century Dutch Republic”
SNAC	Social Networks and Archival Context
JHNR	<i>Journal of Historical Network Research</i>
IR	Radiação Infravermelha
UKIRT	Telescópio Infravermelho do Reino Unido
IRTF	Infrared Telescope Facility
IRAS	Satélite Astronômico Infravermelho
KAO	Kuiper Air-bone Observatory
SOFIA	Observatório Estratosférico de Astronomia Infravermelha
ISO	Observatório Espacial Infravermelho
JWST	Telescópio Espacial James Webb
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
ESA	Agência Espacial Europeia
CSA	Agência Espacial Canadense

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	NATUREZA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE FÍSICA	21
3	REDES	26
3.1	FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS (ARS): MAPEANDO CONEXÕES AO LONGO DA HISTÓRIA	32
3.2	APLICAÇÃO DA ARS NO ENSINO DE FÍSICA: PROMOVENDO COLABORAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO	37
4	METODOLOGIA	39
4.1	ANÁLISE DA LITERATURA E COMPOSIÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO..	39
4.2	MONTAGEM DO RECORTE HISTÓRICO	39
4.3	O ESTUDO DE CASO: PROPOSTA DE MONTAGEM DE REDES HISTÓRICAS	40
4.4	COLETA DE DADOS	40
4.5	ANÁLISE DA ENUNCIAÇÃO	41
4.6	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	41
4.7	PERCURSO METODOLÓGICO	42
5	O ESPECTRO DA LUZ	45
5.1	O DESENHO COMO REGISTRO DE IMAGENS ASTRONÔMICA	45
5.2	FOTOGRAFIA E ASTRONOMIA	47
5.3	O INÍCIO DA DESCOBERTA DO INFRAVERMELHO (IR)	56
5.4	ESPECTROSCOPIA E A ASTRONOMIA	61
5.5	RÁDIO TELESCÓPIOS	65
6	RESULTADOS	69
6.1	PRIMEIRO ENCONTRO	73
6.2	SEGUNDO ENCONTRO	75
6.3	TERCEIRO E QUARTO ENCONTROS	76
6.4	QUINTO E SEXTO ENCONTROS	77
6.5	SÉTIMO ENCONTRO – APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS	78
6.6	OITAVO ENCONTRO – MONTAGEM DA REDE HISTÓRICA	87
6.7	NONO ENCONTRO	90
7	CONCLUSÕES	94

REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE 1 – ORGANIZAÇÃO DAS ATIVIDADES	I
APÊNDICE 2 – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DAS REUNIÕES	III

1 INTRODUÇÃO

Podemos identificar certas questões distorcidas na concepção que muitos indivíduos possuem acerca da ciência. Diversos veículos de comunicação, incluindo revistas, jornais e publicações em redes sociais, recorrem à linguagem e a elementos visuais científicos para conferir credibilidade a seus produtos ou supostos conhecimentos. Tais manchetes frequentemente enfatizam a genialidade, a autoridade, a precisão e o acaso como pilares fundamentais do avanço científico. De acordo com Fackler (2021), essas percepções equivocadas sobre a ciência são um dos principais fatores que alimentam o negacionismo científico e abrem portas para pseudociências. Além disso, a falta de conhecimento sobre ciência e seus métodos leva muitas pessoas a vê-la como algo inacessível, o que pode gerar desconforto e até repulsa por temas científicos. Diversos pesquisadores (RYDER, 2001; KHISHFE, 2012; ALBE, 2008) apontam que tais práticas dificultam a tomada de decisões em questões socio científicas.

O conceito de Natureza da Ciência (NdC) pode ser entendido, de forma simples e bastante resumida, como um conjunto de elementos que abordam a formação, estruturação e organização do conhecimento científico (Moura, 2014). Trabalhar aspectos da NdC em sala de aula é essencial para capacitar alunos e professores a atuarem de maneira crítica em temas que envolvam o saber científico e a tomada de decisões. Matthews (1995) destaca que a História e Filosofia da Ciência (HFC) tem se integrado cada vez mais ao ensino, tornando-se um objetivo central da educação científica contemporânea, pois favorece uma compreensão mais profunda dos conceitos e métodos científicos. Esse enfoque possibilita uma visão mais abrangente do papel da ciência na sociedade atual.

Segundo Gil-Perez e seus colaboradores (2001) podemos listar algumas possíveis visões deformadas mais comuns de serem apresentadas por professores e alunos são:

- Visão descontextualizada: visão que esquece as dimensões essenciais da atividade científica e tecnológica, ignorando as complexas relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS), proporcionando uma visão dos cientistas como seres acima de tudo e todos;
- Concepção individualista e elitista: aqui aparecem os conhecimentos científicos como obras de gênios individuais, sem o trabalho coletivo;

- Concepção empírico-indutivista e a-teórica: defende o papel da experimentação neutra da observação e experimentação, esquecendo o papel das hipóteses e teorias como orientadoras da investigação científica;
- Visão rígida, algorítmica e infalível: a ciência não tem falhas, aprendida através de cálculos sempre corretos, tratada como um produto de um suposto “método científico” universal, ignora o caráter especulativo, tentativo e criativo da produção do conhecimento, muito difundida entre os professores;
- Visão a-problemática e a-histórica (ergo acabada e dogmática): ignora a história e o que levaram os cientistas a desenvolver suas teorias, sem mostrar os problemas deram origem e qual foi a evolução de determinado conceito não levando em conta as limitações do conhecimento científico;
- Visão exclusivamente analítica: se associa a uma incorreta apreciação do papel da análise no processo científico, uma fragmentação do conhecimento científico em caráter limitador e simplificador, sendo fragmentos autônomos e independentes;
- Visão acumulativa, de crescimento linear: a ciência sendo construída de maneira linear, acumulativa, sem reformulações e remodelações profundas.

Para compreender melhor essas perspectivas, este trabalho empregará a Pesquisa em Redes Históricas como ferramenta para estimular uma visão complexa da ciência entre os estudantes. A metodologia investigativa da Montagem de Redes Históricas (Alcantara, 2018) visa levar os alunos a entenderem o papel de personalidades, grupos de pesquisa, cidades, instituições governamentais, mobilizações sociais e instrumentos. Ao serem conectados como atores humanos e não humanos¹, esses elementos revelam que a ciência é formada por uma rede complexa de nós e arestas, que podem ser analisados individualmente ou como uma estrutura interconectada.

A proposta desta dissertação abrange a trajetória histórica dos instrumentos de observação do céu, começando pelo espectro visível da luz. Exploraremos a busca, nos séculos XVIII e XIX, por telescópios com aberturas cada vez maiores, até a introdução da fotografia.

¹ O conceito de atores humanos e não humanos, proposta por Bruno Latour, Michel Callon e John Law. Segundo essa teoria, tanto humanos quanto objetos, tecnologias, instituições e outros elementos não humanos atuam como atores em uma rede sociotécnica, influenciando e sendo influenciados mutuamente. Diferente das abordagens tradicionais, não há uma hierarquia dos atores, atribuindo agência tanto a pessoas quanto a elementos materiais, como máquinas, algoritmos e infraestruturas. Esse modelo ajuda a compreender fenômenos complexos, como inovação tecnológica, dinâmicas organizacionais e redes sociais (PERON, 2020).

Em seguida, avançaremos para a frequência não visível, abordando o trabalho de Joseph von Fraunhofer (1787–1826), que em 1814 introduziu o espectroscópio, identificando 574 linhas escuras no espectro solar, posteriormente explicadas por Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) e Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen (1811–1899). Além disso, discutiremos a contribuição de Karl Guthe Jansky (1905–1950) para a criação do radiotelescópio, e faremos conexões com os "novos telescópios" que operam nas faixas de infravermelho e raio-X.

Para uma compreensão mais ampla, a ideia foi construir uma rede histórica que mostre como novos dispositivos foram incorporados aos telescópios antigos para "ver mais". Na conclusão da proposta, introduziremos uma breve discussão sobre as imagens de corpos celestes divulgadas pela mídia, questionando as representações do telescópio James Webb e das imagens de buracos negros, refletindo sobre se elas são construções humanas ou "fotografias visíveis".

Para discutir, juntamente com alunos de ensino médio de uma escola da rede pública do estado de Minas Gerais, os aspectos da Natureza da Ciência (NdC), optamos pelo uso da Montagem de Redes Históricas (MHR) como ferramenta, o qual foi proposto por Alcantara (2018) em sua tese de doutorado, com título "A Montagem de Redes Históricas no Ensino: Uma Visão Complexa da Ciência." Outros autores, como Lommi & Koponen (2019), sugerem, também, o uso e aplicação das redes históricas no ensino. Em 2023, apresentamos o início desse trabalho na 5^a Conferência Latinoamericana do IHPST (International History, Philosophy and Science Teaching Group), em Porto Alegre – RS, que consistia na história da Astronomia², a relação entre a arte e a ciência e a introdução da fotografia, inclusive na Astronomia.

Desta conferência, conseguimos várias informações e ideias para a elaboração do produto.

Dando continuidade à discussão o qual contextualiza o ensino de Física a partir de uma perspectiva histórica e crítica, o segundo capítulo desta dissertação tem como foco a relevância das discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC) na educação básica. Buscou-se, nesse sentido, evidenciar como a compreensão da ciência enquanto atividade humana, provisória e contextualizada pode contribuir significativamente para a formação cidadã e científica dos

² Disponível em: <https://www.ufrgs.br/ihpstla2023/wp-content/uploads/2023/10/Anais_IHPST_2023.pdf>, p. 180, acesso em 06, Mar. 2025.

estudantes. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura envolvendo autores que destacam a importância de integrar aspectos epistemológicos e históricos da ciência ao currículo escolar.

Além disso, foram analisados documentos normativos que orientam a educação no Brasil, com ênfase na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), os quais reforçam a necessidade de desenvolver competências que vão além da memorização de fórmulas e conceitos. A partir dessas diretrizes, argumenta-se que o ensino de Física, ao incorporar uma abordagem fundamentada na NdC, pode promover uma compreensão mais crítica, reflexiva e contextualizada do conhecimento científico. Tal perspectiva contribui para a formação de sujeitos autônomos, conscientes de seu papel social e capazes de utilizar o saber científico na interpretação e transformação da realidade.

No capítulo seguinte, será abordado o conceito de redes e sua aplicação por meio da análise de redes sociais no contexto do ensino de Física. Apresentaremos os fundamentos teóricos dessa abordagem fazendo um resumo sobre a ciência das Redes, destacando seus principais componentes e áreas de aplicação, discutindo como a representação de conexões entre diferentes elementos – sejam eles conceitos, eventos históricos ou atores científicos – pode enriquecer a compreensão dos processos de construção do conhecimento. Serão exploradas as potencialidades pedagógicas dessa metodologia, bem como sua articulação com os princípios da Natureza da Ciência, servindo de base para o desenvolvimento do produto educacional proposto nesta dissertação. Este capítulo é dividido em dois subcapítulos: o primeiro aborda a ARS, seu desenvolvimento, aplicações e potencialidades. O segundo subcapítulo explora a relação entre o uso das redes e o ensino de ciências, discutindo como pesquisas relacionadas a esse tema têm sido publicadas em revistas focadas na história da ciência nos últimos anos.

No quarto capítulo, apresentamos a metodologia empregada na implementação do produto, além de um relato detalhado dessa aplicação. Utilizamos as aulas da disciplina Laboratório Avançado que faz parte do Itinerário Formativo do estado de Minas Gerais, sendo duas aulas semanais. Os grupos utilizaram o powerpoint e o Canva para fazerem seus slides e, consequentemente, suas apresentações.

Como o objetivo desta dissertação é oferecer as condições necessárias para que outros(as) professores(as) possam aplicar o produto proposto, foram elaborados dois capítulos específicos para esse propósito. Esses capítulos são o terceiro e o quinto.

O sexto capítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do produto, com base na análise do discurso dos estudantes ao longo de todo o percurso metodológico. O primeiro subcapítulo destaca como passamos as ideias de uma rede histórica, desde onde são utilizadas até como é montada essa rede. Em seguida, o segundo subcapítulo consistia na divisão dos grupos e distribuição das personalidades a serem pesquisadas. No terceiro subcapítulo destaca as falas dos estudantes durante a pesquisa historiográfica, conduzida por eles com mediação do professor semanalmente, ao longo das duas reuniões realizadas. No quarto subcapítulo, relata a construção das apresentações que serão feitas pelos grupos. Já no quinto subcapítulo, analisa as apresentações e as redes EGO³, elaborados por cada grupo ao final da pesquisa historiográfica. O sexto subcapítulo examina os resultados da construção da rede final, evidenciando a real potencialidade do produto proposto. No sétimo e último subcapítulo destaca a rede histórica montada pelos alunos tratada no aplicativo Gephi⁴.

Por último, o sétimo capítulo apresenta as conclusões finais sobre a aplicação do produto, incluindo uma breve comparação entre os resultados da primeira parte e o produto final. Neste capítulo, destacamos os principais desafios encontrados durante a aplicação e propomos soluções para superá-los. Também enfatizamos como a percepção dos estudantes em relação à ciência foi alterada ao longo do processo metodológico.

³ Uma rede ego é um tipo de rede social centrada em um nó principal, chamado de ego, e suas conexões diretas, conhecidas como alters. Esse tipo de análise foca nas relações do ego, examinando características como tamanho da rede, densidade, força dos laços e o papel dos alters na disseminação de informações ou recursos. Redes ego podem revelar a estrutura e o impacto das conexões individuais em diversos contextos, como apoio social, oportunidades de trabalho e influência na tomada de decisões. FONTE: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468696417300150>, acesso janeiro, 2025.

⁴ O GEPHI é um software de código aberto usado para análise e visualização de redes. Ele permite explorar grandes conjuntos de dados relacionais, facilitando a identificação de padrões, comunidades e estruturas complexas. É amplamente utilizado em áreas como análise de redes sociais, ciência de dados, biologia, e estudos de redes complexas.

2 NATUREZA DA CIÊNCIA E ENSINO DE FÍSICA

A inserção da Natureza da Ciência (NDC) no ensino de Física tem sido amplamente discutida por pesquisadores e educadores como uma ferramenta fundamental para aprimorar a compreensão dos conceitos científicos, desmistificar a natureza da ciência e promover uma visão mais humana e contextualizada do conhecimento (LEDERMAN, 1992; ALLCHIN, 2011; ABD-EL-KHALICK, 2012; KHISHFE, 2023). A NDC não se limita a uma mera cronologia de descobertas, mas sim a uma análise complexa dos processos sociais, culturais, econômicos e intelectuais que moldaram o desenvolvimento do pensamento científico.

A relevância da natureza da ciência no ensino de Física reside em diversos argumentos fundamentais. Primeiramente, ela contextualiza o conhecimento científico, mostrando que as leis e teorias físicas não surgiram do nada, mas foram construídas ao longo do tempo por indivíduos inseridos em contextos históricos específicos. Compreender as motivações, as dificuldades e as disputas que levaram ao desenvolvimento de uma determinada teoria ajuda os alunos a entenderem a sua importância e a internalizarem os conceitos de forma mais significativa.

De acordo com Forato (2009), a pesquisa desmistifica a imagem da ciência como um processo linear, neutro e objetivo. Ao apresentar os erros, os desvios e as controvérsias que marcaram a história da ciência, os alunos percebem que a construção do conhecimento científico é um processo complexo, falível e sujeito a influências externas. Essa percepção é crucial para o desenvolvimento de uma postura crítica em relação à ciência e à tecnologia, permitindo que os alunos avaliem as informações científicas com mais discernimento e questionem as suas implicações sociais e éticas.

Nesse contexto, se avalia que a natureza da ciência humaniza a ciência, mostrando que os cientistas não são gênios isolados, mas sim indivíduos com suas próprias motivações, crenças e valores. Ao conhecer as histórias de vida de cientistas como Galileu Galilei (1564 – 1642), Marie Curie (1867 – 1934) ou Albert Einstein (1879 – 1955), os alunos podem se identificar com eles e perceber que a ciência é uma atividade humana acessível a todos. Essa humanização da ciência pode contribuir para aumentar o interesse dos alunos pela área e incentivá-los a seguir carreiras científicas.

Uma crítica comum é a tendência de apresentar a NDC de forma linear e acumulativa, como uma simples sucessão de descobertas, sem levar em consideração os processos sociais,

culturais e políticos que influenciaram o desenvolvimento do conhecimento científico. Essa abordagem pode reforçar a ideia de que a ciência é um processo inevitável e que as teorias científicas são verdades absolutas, ignorando as controvérsias e as interpretações alternativas que existiram ao longo da história.

Forato (2011) também pontua outra crítica é a falta de contextualização das informações históricas. Muitas vezes, os livros didáticos apresentam nomes e datas sem explicar o contexto em que esses eventos ocorreram ou a importância das descobertas para a época. Essa falta de contextualização dificulta a compreensão da relevância da natureza da ciência e impede que os alunos estabeleçam conexões entre a natureza da ciência e os conceitos físicos que estão aprendendo.

Essas narrativas podem destacar as motivações, as dificuldades e as disputas que levaram ao desenvolvimento de uma determinada teoria, permitindo que os alunos se identifiquem com os cientistas e compreendam a importância dos conceitos físicos de forma mais significativa.

Outra estratégia é utilizar a história para analisar as diferentes interpretações de um mesmo fenômeno ao longo do tempo. Por exemplo, ao estudar a natureza da luz, os livros didáticos podem apresentar as diferentes teorias que foram propostas ao longo da história, desde a teoria corpuscular de Newton (1643 – 1727) até a teoria ondulatória de Huygens (1629 – 1695) e a teoria quântica. Essa análise comparativa permite que os alunos compreendam a evolução do pensamento científico e percebam que as teorias científicas não são verdades absolutas, mas sim modelos que descrevem a realidade de forma aproximada.

Desse modo, avalia-se que para Forato, Guerra e Braga (2014), a reflexão sobre a inserção da natureza da ciência nos livros didáticos de Física é um exercício contínuo, que demanda o envolvimento de pesquisadores, educadores e autores de livros didáticos. O objetivo é construir materiais didáticos que valorizem a NDC como uma ferramenta pedagógica fundamental para a formação de cidadãos conscientes e críticos, capazes de compreender o papel da ciência na sociedade e de tomar decisões informadas sobre questões científicas e tecnológicas.

Nesse contexto, a reflexão sobre a NDC emerge como um elemento crucial para a formação de indivíduos críticos, capazes de compreender a ciência como um processo dinâmico, socialmente construído e sujeito a revisões. A Natureza da Ciência não se resume a

uma lista de definições ou características; trata-se, na verdade, de um conjunto de epistemologias, valores e crenças inerentes ao desenvolvimento do conhecimento científico.

Contribuindo com esse entendimento, Moura (2014) diz que tudo isso, abrange a compreensão de que a ciência é uma atividade humana, influenciada por fatores históricos, sociais, culturais e econômicos. Envolve reconhecer o papel da observação, da experimentação, da inferência e da criatividade na construção de teorias, bem como a importância da argumentação, da colaboração e da revisão por pares na validação do conhecimento científico.

Um dos aspectos centrais da NDC, frequentemente negligenciado no ensino tradicional de física, é a distinção entre leis e teorias científicas (GALILI, 2019). Leis descrevem padrões observados na natureza, enquanto teorias oferecem explicações para esses padrões. As teorias, por sua natureza, são conjecturais e sujeitas a modificações à medida que novas evidências surgem. O ensino de física, muitas vezes, apresenta as leis como verdades absolutas, obscurecendo o fato de que são modelos simplificados da realidade, com limitações e restrições. Ao ignorar a natureza provisória das teorias, o ensino de física impede que os alunos compreendam a dinâmica da ciência e sua capacidade de se adaptar e evoluir.

Avalia-se com isso que o trabalho de Moura (2014), Forato, Guerra e Braga (2014) tem contribuído significativamente para a promoção de uma compreensão mais robusta da NDC no ensino de física. Seus estudos demonstram a importância de inserir atividades que explorem a história da ciência, os processos de construção do conhecimento científico e a influência do contexto sociocultural na produção científica.

Forato, Martins e Pietrocola (2011), em particular, tem se dedicado a investigar o papel da modelagem na ciência e no ensino de física. Seus estudos enfatizam a importância de apresentar os modelos científicos como representações simplificadas da realidade, com limitações e pressupostos. Ao reconhecer a natureza modelística da ciência, os alunos podem compreender que as teorias científicas não são reflexos perfeitos da realidade, mas sim ferramentas conceituais que nos permitem interpretar e prever fenômenos naturais.

É necessário desenvolver e disponibilizar materiais didáticos que promovam uma compreensão mais autêntica da ciência, que incluam estudos de caso, debates, experimentos abertos e outras atividades que permitam aos alunos se envolverem ativamente na construção do conhecimento científico.

Apesar dos desafios, a incorporação da NDC no ensino de física traz inúmeros benefícios. Ao compreender a natureza da ciência, os alunos desenvolvem uma visão mais crítica e informada do mundo que os cerca. Tornam-se capazes de avaliar criticamente as informações científicas que recebem, de tomar decisões informadas sobre questões científicas e tecnológicas e de participar ativamente de debates públicos sobre temas relacionados à ciência e à tecnologia. Além disso, ao compreender a natureza da ciência, os alunos desenvolvem uma maior apreciação pela ciência e pela sua importância para a sociedade. Tornam-se mais propensos a seguir carreiras científicas e a apoiar políticas públicas que promovam a ciência e a tecnologia.

A aprendizagem científica, no entendimento de Allchin (2013), além de outras coisas, pode ser entendida como a capacidade de compreender e utilizar o conhecimento científico para tomar decisões informadas e participar ativamente na sociedade, emerge como uma competência crucial no século XXI. Em um mundo cada vez mais permeado pela ciência e pela tecnologia, indivíduos alfabetizados cientificamente são capazes de discernir informações confiáveis de desinformações, avaliar criticamente as implicações de avanços científicos e tecnológicos, e contribuir para debates públicos informados sobre questões complexas que afetam a vida de todos. Nesse contexto, a sala de aula, palco primordial da aprendizagem formal, desempenha um papel fundamental na promoção da aprendizagem científica, especialmente através de observações onde o professor deixa de ser o protagonista.

Assim, podemos explicar que a observação, algo envolvido em toda investigação científica, é o começo do desenvolvimento de hipóteses, coleta de evidências e geração de modelos explicativos. Realizar observação na sala de aula, como deve ter ficado claro acima, é mais que um simples ato passivo de contemplação; é uma pedagogia intencional. É a construção de experiências de aprendizagem, extremamente intencionais quanto a observações de qualidade, que fazem com que se perceba um padrão de generalizações e conclusões. Diferente da memorização mecânica, enfatizada no ensino tradicional e no aprendizado do conhecimento científico, esse método favorece o envolvimento ativo dos alunos na descoberta do conteúdo científico, no raciocínio crítico e na resolução de problemas.

Ensinar em um contexto de ciência baseado em investigação, onde o professor organiza e dirige a tarefa, exige um afastamento dos modos tradicionais de ensino. O professor deixa de ser o único detentor do conhecimento e se transforma em um rádio transmissor que acompanha os alunos em sua pesquisa científica. A teoria, embora necessária para oferecer uma explicação

de como as coisas entram em conta em um seminário, precisa ser equilibrada por outras atividades onde os alunos realmente testam esses dados através do trabalho físico com objetos e fenômenos reais.

Há uma variedade de maneiras de fazer isso na sala de aula, dependendo de variáveis como o nível de ensino e a área de conhecimento. Em biologia, por exemplo, os alunos podem observar como as plantas crescem sob diferentes condições de luz, registrar o crescimento de fungos em diferentes meios de cultura e dissecar um espécime animal. Em uma aula de física, eles podem observar o movimento de objetos expostos a diferentes forças, medir a temperatura de materiais diferentes em contato com fontes de calor ou comparar camadas espectrais de fontes. Eles podem observar reações químicas nas aulas de química, expor o conteúdo dos materiais à análise ou construir modelos moleculares.

De acordo com Garcia-Carmona (2024), em qualquer área de conhecimento, a observação intencional (o processo) é significativa apenas quando os professores dedicam tempo para planejá-la. É importante definir os objetivos e metas da atividade de aprendizagem, selecionar recursos materiais e equipamentos de forma eficaz, oferecer demonstrações claras ou modelagem das tarefas atribuídas e preparar um ambiente adequado para a aprendizagem. Também é importante que os estudantes recebam feedback regular e construtivo sobre seu trabalho, que os encoraje a considerar seu raciocínio, a reconhecer e aprender com seus erros e a se beneficiar do sucesso.

Um fator importante no sucesso da observação é como ela se combina com outras habilidades de investigação científica. Apenas a observação não é suficiente. Os estudantes precisam ser treinados para um registro claro e preciso de suas observações e como aplicar ferramentas de representação variadas, como tabelas, gráficos, diagramas, etc. É importante ensiná-los a trabalhar com dados, detectando padrões, tendências e anomalias. E, acima de tudo, é necessário desenvolver a capacidade de comunicar suas descobertas de forma eficaz -- clara e concisamente, seja ao falar ou escrever.

A observação planejada não só fomenta o desenvolvimento de certas habilidades, como também de atitudes e valores que são essenciais para o aprendizado científico. Em conjunto, a investigação científica ativa serve para cultivar nos estudantes um conjunto altamente favorável e inter-relacionado de disposições para a curiosidade, objetividade, rigor (por exemplo, raciocínio lógico e inferência) e humildade intelectual. Eles aprendem o valor da colaboração e do trabalho em equipe, a respeitar os pontos de vista dos outros e a aceitar que a ciência muda.

3 REDES

A Análise de Redes Sociais (ARS) é uma abordagem metodológica que busca compreender as interações entre indivíduos, grupos ou instituições por meio do mapeamento e da análise das conexões que os unem. Segundo Couto e Dias (2022), a ARS é uma ferramenta valiosa nas ciências sociais, permitindo identificar padrões de relacionamento, influência e fluxos de informação dentro de uma rede.

Ao examinarmos o mundo ao nosso redor, somos confrontados com interconexões que permeiam nosso universo. Essas conexões podem ser rotas aéreas e aeroportos (FIG. 1), sinapses entre neurônios e mesmo análises esportivas. Essas conexões podem se manifestar de várias maneiras, incluindo relações familiares, políticas, comerciais, intelectuais, religiosas e culturais, propagação de vírus e uma infinidade de outras interações e cenários. Uma rede é essencialmente uma representação das relações entre objetos e entidades (COSTA, 2023). As redes oferecem uma representação simplificada de fenômenos intrincados e questões que apresentam uma dinâmica de funcionamento complexa (BARABÁSI, 2009).



FIG. 1 – Imagem que mostra as 67.663 rotas aéreas do mundo – atualizado em 08/09/22

FONTE: disponível em <https://www.xataka.com/magnet/67-663-rutas-aereas-mundo-recogidas-impresionante-mapa>. Acesso em 25 janeiro 2024

Na era digital tal análise adquiriu um novo significado, impulsionada pelo crescimento das redes sociais online e pela disponibilidade de grandes volumes de dados. Rodrigues e Gomide (2022) exploram como a ARS pode ser usada para analisar perfis do Instagram, revelando padrões de religiosidade, espiritualidade e bem-estar mental durante a pandemia. Esses estudos demonstram o potencial da ARS para capturar dinâmicas sociais em tempo real, fornecendo insights valiosos para áreas como saúde mental e comunicação. Além disso, Sá (2021) aplica a ARS para entender o comportamento do consumidor no mercado de sucos integrais, mostrando como redes de recomendação e influência podem impactar decisões de compra. A ARS contemporânea não apenas ampliou seu escopo, mas também se tornou uma ferramenta essencial para lidar com desafios modernos, como a disseminação de informações em redes digitais e a promoção de práticas sustentáveis.

Podemos examinar, igualmente, como as redes sociais na internet influenciam a disseminação de memes e Fake News. As plataformas de redes sociais possibilitam que uma ideia perdure, sendo reproduzida repetidamente em versões idênticas ou semelhantes, o que facilita sua divulgação. Essa dinâmica envolve tanto a colaboração quanto os conflitos entre os usuários, além da competição entre eles, que gera um dilema sobre se devem creditar o autor original do conteúdo ou o último intermediário que trouxe à tona a informação.

A ARS também tem sido amplamente utilizada para estudar redes informais intraorganizacionais, como demonstrado por Martins e Macambira (2022). Essas redes surgem naturalmente dentro de organizações e refletem as interações que ocorrem além das estruturas formais de hierarquia. Por meio da ARS, é possível identificar indivíduos-chave (nós centrais) que atuam como facilitadores de comunicação e colaboração, bem como lacunas nas redes que podem prejudicar a eficiência organizacional. Esse tipo de análise é particularmente relevante em contextos onde a colaboração informal desempenha um papel crucial, como em projetos de inovação ou gestão de crises. A ARS permite que gestores visualizem e otimizem essas redes, promovendo maior coesão e produtividade.

No campo da saúde, especialmente na abordagem conhecida como Ecosaúde, destaca sua capacidade de integrar múltiplas perspectivas e disciplinas. Mertens et al. (2022) argumentam que a ARS pode ser usada para mapear redes de participação e colaboração em iniciativas de saúde pública, como programas de prevenção de doenças ou promoção de práticas sustentáveis. Nesse contexto, a ARS ajuda a identificar atores-chave, avaliar a eficácia das intervenções e promover uma abordagem transdisciplinar. Por exemplo, ao analisar redes de

profissionais de saúde, pacientes e comunidades, é possível identificar barreiras à implementação de políticas de saúde e propor soluções mais inclusivas e participativas. A ARS, portanto, não apenas melhora a compreensão das dinâmicas sociais, mas também contribui para a construção de sistemas de saúde mais resilientes e equitativos.

O estudo de Rodrigues e Gomide (2022) ilustra como a ARS pode ser aplicada para explorar temas subjetivos, como religiosidade e espiritualidade, em plataformas digitais. Durante a pandemia de Covid-19, muitas pessoas recorreram às redes sociais para buscar apoio emocional e espiritual, criando comunidades virtuais de compartilhamento e solidariedade. A ARS permitiu aos pesquisadores mapear essas redes e identificar perfis influentes que promoviam práticas de bem-estar e resiliência mental. Esse estudo demonstra o potencial da ARS para capturar dinâmicas sociais complexas e oferecer percepções sobre como as redes digitais podem ser usadas para promover saúde mental e bem-estar em momentos de crise. Além disso, ele destaca a importância de considerar fatores culturais e contextuais ao analisar redes sociais.

No campo do marketing, tem sido usada para entender o comportamento do consumidor e as dinâmicas de influência em redes sociais. Sá (2021) utiliza a ARS para analisar o perfil de consumidores de sucos integrais, identificando redes de recomendação e preferência que impactam as decisões de compra. Essa abordagem permite que empresas identifiquem influenciadores-chave e desenvolvam estratégias de marketing mais eficazes. Além disso, a ARS pode ser usada para avaliar a eficácia de campanhas publicitárias e identificar tendências emergentes no mercado. Esses estudos demonstram como a ARS pode ser uma ferramenta poderosa para compreender e influenciar comportamentos de consumo, especialmente em um mundo cada vez mais conectado.

Neste capítulo, vamos explorar brevemente a evolução do estudo das redes, desde suas origens até algumas de suas aplicações atuais, introduzindo ao leitor os conceitos fundamentais dessa área. Vale ressaltar que nosso foco será nas características estruturais das redes e na interpretação qualitativa das informações que elas nos proporcionam, sem nos aprofundarmos em detalhes matemáticos.

Posteriormente, abordaremos o campo da Análise de Redes Sociais, investigando suas aplicações e como suas propriedades nos ajudam a entender as interações entre os atores humanos e não humanos.

Por fim, examinaremos estudos que exploram o uso da ARS Sociais no contexto do ensino de ciências, especialmente na construção de redes históricas para abordar conceitos relacionados à NdC nas aulas de Física.

Embora o estudo das redes e suas propriedades seja frequentemente formulado de maneira matemática, ele abrange uma ampla gama de áreas do conhecimento. As propriedades das redes estão intrinsecamente ligadas às suas conexões, o que significa que redes de diferentes origens podem compartilhar características similares. Os primeiros princípios da Análise de Redes remontam ao trabalho de Leonhard Euler (1707-1783) e à uma posterior integração com a sociometria desenvolvida pelo psiquiatra romeno Jacob Levy Moreno (1889-1974).

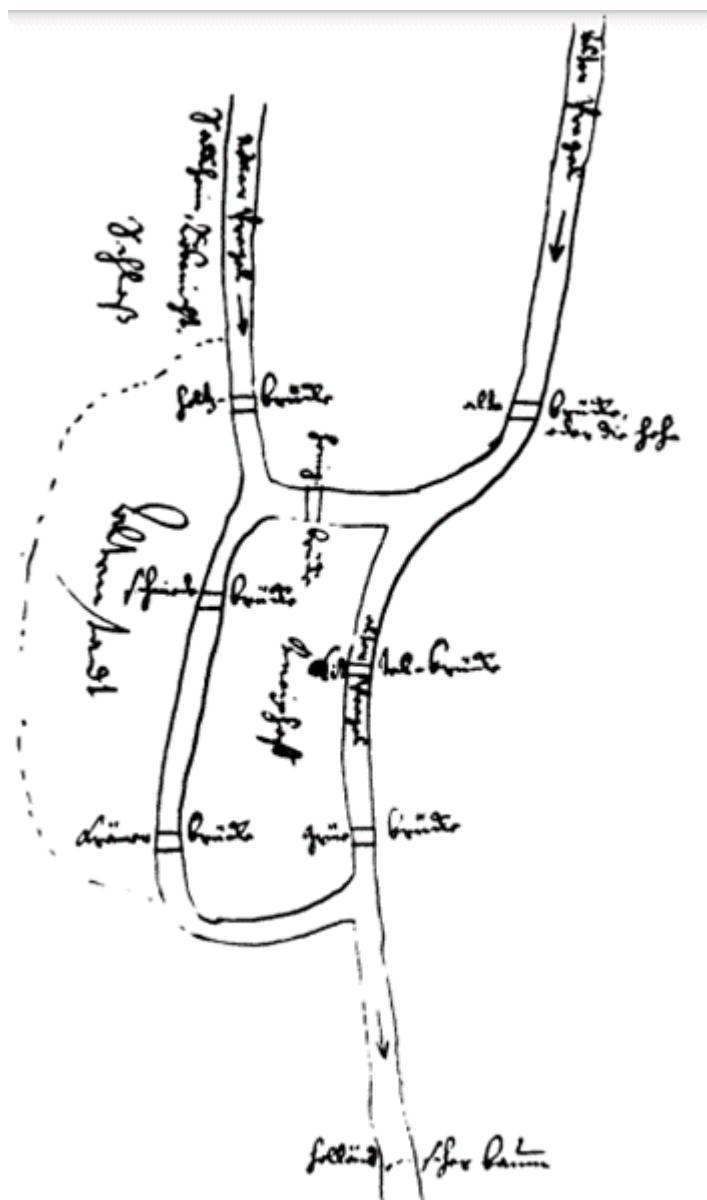


FIG. 2 – Desenho da ilha de Kneiphof ligada pelas pontes, encontrada na carta de Ehler para Euler de 9 de março de 1736.

Fonte: (SACHS, STIEBITZ, WILSON, 1988, p135).

O "Enigma da Ponte de Königsberg" (FIG. 2) é um problema matemático clássico que se tornou famoso na história da matemática e da teoria dos grafos. Este enigma originou-se na cidade de Königsberg, na Prússia (atualmente Kaliningrado, na Rússia), durante o século XVIII.

A cidade de Königsberg era dividida pelo rio Pregel, e havia sete pontes que conectam várias partes da cidade, incluindo duas ilhas no meio do rio. O problema consiste em encontrar um caminho que atravessasse todas as sete pontes uma única vez e retornasse ao ponto de partida.

O enigma foi formalizado pelo matemático suíço Leonhard Euler em 1736, e ele provou que tal caminho não era possível. Euler representou as terras da cidade como pontos e as pontes como linhas, criando assim um "grafo" matemático. Ele então percebeu que para um caminho passar por cada ponte uma única vez, cada ponto (ou "terra") do grafo deveria ter um número par de linhas conectadas a ele.

No entanto, ao analisar o grafo da cidade de Königsberg, Euler observou que cada terra tinha um número ímpar de linhas conectadas a ela. Portanto, não havia um caminho que passasse por todas as sete pontes uma única vez.

Assim como a cidade de Königsberg foi representada por Euler como um grafo, onde os pontos eram terras e as linhas eram pontes, as redes sociais também podem ser representadas como grafos. Nesse contexto, os indivíduos são os nós (ou vértices) e as conexões entre eles (como amizades, interações, seguidores etc.) são as arestas (ou linhas).

Durante a década de 1930, os antropólogos começaram a aplicar métodos de análise de redes para estudar a estrutura das relações sociais em comunidades humanas. O antropólogo britânico John A. Barnes (1918 – 2010) foi um dos pioneiros nesse campo, utilizando diagramas de sociogramas para representar as relações sociais em grupos de pessoas. Suas pesquisas lançaram as bases para a aplicação da análise de redes sociais na antropologia e em outras disciplinas sociais (WELLMAN, 1983).

Na década de 1960, sociólogos como Jacob Levy Moreno (1889 – 1974) e Stanley Milgram (1933 – 1984) desenvolveram técnicas para mapear redes sociais e estudar como informações, ideias e influências se propagam por meio dessas redes. O experimento dos "seis graus de separação" de Milgram foi particularmente influente, demonstrando que qualquer

pessoa no mundo poderia ser conectada a qualquer outra por uma cadeia de conhecidos de cerca de seis intermediários (BARABÁSI, 2009).

A "teoria dos seis graus de separação" propõe que qualquer pessoa no mundo está conectada a outra por meio de uma cadeia de, no máximo, seis contatos. Essas conexões formam redes sociais que interligam diferentes grupos, reduzindo significativamente as distâncias entre indivíduos. Esse fenômeno está relacionado ao chamado "problema dos mundos pequenos", um conceito estudado por diversos pesquisadores, incluindo o matemático Ithiel De Sola Pool (1917–1984) e o psicólogo Stanley Milgram, que investigou o tema na década de 1960 (RECUERO, 2017). No experimento de Milgram, ele enviou cartas a pessoas escolhidas aleatoriamente, pedindo que as encaminhassem a alguém que conhecesse um comerciante de Boston. Milgram então calculou a distância média entre pessoas em uma rede social e descobriu que, em média, a conexão era de seis graus, ou seja, cinco intermediários entre qualquer par de pessoas (RECUERO, 2017). O conceito de "mundos pequenos" foi posteriormente verificado por outros estudiosos, como Duncan Watts (2003), com resultados semelhantes, indicando que a distância média nas redes sociais é pequena e que a capacidade para conexões é limitada.

Essa metodologia se baseia em conceitos como nós (indivíduos ou entidades) e arestas (conexões entre os nós), além de métricas como centralidade, densidade e clusterização, que ajudam a quantificar e qualificar as interações. Historicamente, a ARS emergiu na sociologia no século XX, com contribuições de pesquisadores como Jacob Moreno, que desenvolveu o sociograma, e Mark Granovetter, que introduziu o conceito de "força dos laços fracos". Desde então, a ARS evoluiu para abranger diversas áreas do conhecimento, incluindo saúde, educação, marketing e ecologia.

Um dos trabalhos mais influentes nesse campo é o de Mark Granovetter, que, em 1973, formulou a teoria da "força dos laços fracos". Ele sugeriu que os laços sociais podem ser divididos em três categorias: "fortes", "fracos" e "ausentes", destacando o papel fundamental dos laços fracos na conexão entre diferentes grupos (GRANOVETTER, 1973). Um laço forte está associado a relações sociais que demonstram maior proximidade entre dois nós, indicando algum tipo de intimidade, como a amizade. Por outro lado, os laços fracos representam associações mais superficiais e pontuais entre os atores, como relações com "conhecidos". Já os laços "ausentes", segundo Granovetter, seriam insignificantes em termos de importância estrutural ou completamente inexistentes entre dois nós específicos.

Normalmente, onde os vínculos são mais fortes, as conexões tendem a ser mais diversas, resultando em interações que se desenvolvem em múltiplos contextos sociais. Conexões mais fortes tendem a ser mais recíprocas e geralmente formam, na estrutura da rede, o que chamamos de cluster ou agrupamento. Um cluster é um grupo de nós que estão mais densamente conectados (ou mais interconectados) em comparação com outros nós na rede (NEWMAN, 2010).

A ARS é uma metodologia versátil e poderosa que continua a evoluir, adaptando-se a novos contextos e desafios. Seja no estudo de redes históricas, na análise de dinâmicas organizacionais ou na compreensão de comportamentos contemporâneos, a ARS oferece insights valiosos sobre como as interações humanas moldam o mundo ao nosso redor. Como destacado por Couto e Dias (2022), a ARS não apenas amplia nossa compreensão das redes sociais, mas também nos desafia a pensar de forma crítica sobre como essas redes podem ser usadas para promover mudanças positivas. À medida que avançamos para um futuro cada vez mais interconectado, a ARS continuará a desempenhar um papel fundamental na pesquisa acadêmica e na solução de problemas reais, desde a saúde pública até o ensino e a economia.

3.1 FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS (ARS): MAPEANDO CONEXÕES AO LONGO DA HISTÓRIA

A ARS é uma metodologia que se dedica ao estudo das interações entre indivíduos, grupos ou instituições, mapeando e analisando as conexões que os unem em diferentes contextos. A ARS utiliza conceitos fundamentais como nós, arestas, centralidade e densidade para descrever e interpretar as relações sociais, conforme destacado por Martins e Macambira (2022). Nesse sentido, os nós representam os atores da rede, que podem ser pessoas, organizações ou até mesmo ideias, enquanto as arestas simbolizam as conexões ou interações entre esses atores. A centralidade, por sua vez, mede a importância de um nó dentro da rede, indicando quais atores possuem maior influência ou capacidade de mobilização. Já a densidade reflete o grau de conectividade entre os nós, revelando a quanto coesa ou fragmentada é uma rede. Esses conceitos permitem não apenas visualizar as redes, mas também compreender dinâmicas complexas, como fluxos de informação, influência e colaboração, que moldam comportamentos individuais e coletivos ao longo do tempo, conforme observado por Köehler e Carvalho (2022).

Ao aplicar a ARS para estudar redes históricas, torna-se possível identificar padrões de interação que influenciaram o desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento, incluindo a física. Ao longo dos séculos, cientistas, pensadores e instituições formaram redes de colaboração que impulsionaram avanços significativos na ciência. Por exemplo, as relações entre Isaac Newton, Galileu Galilei e outros grandes nomes da história da física podem ser analisadas sob a ótica da ARS para entender como o compartilhamento de ideias e descobertas contribuiu para a construção do conhecimento científico. Segundo Canabarro e Affanador-Llach (2024), a análise de redes históricas permite reconstruir paisagens intelectuais e identificar comunidades de pensadores que, embora separados geograficamente, mantinham vínculos epistolares ou acadêmicos que fortaleciam suas pesquisas. Essas redes não apenas facilitavam a troca de informações, mas também criavam um ambiente propício para inovação e progresso científico, conforme destacado por Sachete et al. (2024).

Pode-se usar a ARS no sentido de delimitar e descrever redes informais intraorganizacionais, como destacado por Martins e Macambira (2022). Em contextos organizacionais, as redes informais surgem naturalmente e muitas vezes operam além das estruturas hierárquicas formais. A análise dessas redes permite identificar indivíduos-chave que atuam como facilitadores de comunicação e colaboração, bem como lacunas nas interações que podem prejudicar a eficiência organizacional. No campo acadêmico, por exemplo, Köehler e Carvalho (2022) utilizam a ARS para avaliar a coesão em redes sociais acadêmicas, demonstrando como a densidade das conexões entre pesquisadores impacta a produtividade e a qualidade das publicações. Da mesma forma, Sachete et al. (2024) exploram as relações entre pesquisadores ao longo de 13 anos da Revista EaD em Foco, utilizando a ARS para mapear colaborações e identificar tendências no campo da educação a distância. Esses estudos evidenciam como a ARS pode ser aplicada para entender dinâmicas sociais em diferentes contextos, desde redes históricas até redes contemporâneas.

No campo da física, a ARS oferece uma perspectiva única para analisar como redes de colaboração científica influenciaram o desenvolvimento da disciplina ao longo dos séculos. Durante o Renascimento e a Revolução Científica, por exemplo, as redes de correspondência entre cientistas europeus desempenharam um papel crucial na disseminação de ideias revolucionárias. A troca de cartas entre Galileu e outros pensadores permitiu que ele compartilhasse suas descobertas sobre o movimento dos corpos celestes, enquanto Newton, por meio de suas interações com figuras como Robert Hooke e Edmond Halley, refinou suas teorias sobre gravitação universal. Sob a ótica da ARS, essas redes podem ser vistas como sistemas de

nós altamente conectados, onde cada cientista desempenha um papel específico na difusão do conhecimento. Além disso, a centralidade de certos nós, como Newton ou Galileu, revela sua influência desproporcional no desenvolvimento da física moderna, conforme analisado por Canabarro e Affanador-Llach (2024). Essa abordagem permite não apenas reconhecer a importância individual desses cientistas, mas também compreender como suas interações coletivas moldaram o progresso científico.

Outro aspecto relevante é sua capacidade de capturar dinâmicas temporais e evolutivas em redes históricas. Ao analisar redes ao longo do tempo, é possível observar como elas se expandem, contraem ou mudam de configuração em resposta a eventos históricos, tecnológicos ou culturais. Por exemplo, a invenção do telégrafo no século XIX transformou radicalmente as redes de comunicação científica, permitindo que informações fossem transmitidas rapidamente entre continentes. Da mesma forma, a internet, nos dias atuais, ampliou exponencialmente a escala e a velocidade das interações em redes sociais, acadêmicas e profissionais. Souza et al. (2024) destacam que a ARS pode ser usada para estudar negócios sociais e suas redes de impacto, mostrando como a análise temporal ajuda a identificar tendências e oportunidades de crescimento. Essa perspectiva temporal também é valiosa para entender como redes históricas de colaboração científica evoluíram ao longo dos séculos, influenciando o desenvolvimento de disciplinas como a física, conforme observado por Sachete et al. (2024).

A análise em questão permite explorar questões relacionadas à diversidade e inclusão em redes históricas e contemporâneas. Ao mapear redes de colaboração científica, é possível identificar desigualdades estruturais que limitam a participação de certos grupos, como mulheres ou cientistas de países periféricos. Por exemplo, análises recentes de redes acadêmicas têm revelado que, apesar dos avanços nas últimas décadas, ainda existem barreiras significativas para a inclusão de vozes marginalizadas em áreas como a física. Sachete et al. (2024) destacam que a ARS pode ser usada para identificar lacunas de representatividade em redes de pesquisa, promovendo políticas de inclusão e equidade. Essa abordagem é particularmente relevante no contexto histórico, onde redes de colaboração científica eram frequentemente dominadas por homens brancos de elite, excluindo outras perspectivas e contribuições. Ao aplicar a ARS para estudar essas redes, é possível reconhecer tanto os avanços quanto as limitações do passado, fornecendo insights valiosos para construir redes mais inclusivas no futuro, conforme discutido por Köhler e Carvalho (2022).

A ARS também oferece ferramentas para analisar a robustez e a resiliência de redes históricas e contemporâneas. Uma rede robusta é aquela que mantém sua funcionalidade mesmo diante de perturbações, como a remoção de nós ou arestas. No contexto histórico, redes de colaboração científica frequentemente enfrentaram desafios, como guerras, crises econômicas ou restrições políticas, que ameaçavam sua coesão e eficácia. No entanto, muitas dessas redes demonstraram uma notável capacidade de adaptação, encontrando novas formas de manter o fluxo de informações e colaborações. Por exemplo, durante a Segunda Guerra Mundial, cientistas europeus exilados continuaram suas pesquisas em outros países, formando novas redes de colaboração que garantiram a continuidade do progresso científico. Essa resiliência pode ser explicada pela alta densidade e centralidade de certos nós, que atuavam como pontos de articulação essenciais para a manutenção das conexões, conforme destacado por Martins e Macambira (2022). A ARS permite quantificar essas características e entender como elas contribuem para a robustez das redes.

Outro ponto importante da ARS é sua capacidade de integrar múltiplas fontes de dados para fornecer uma visão holística das redes. No caso de redes históricas, isso pode incluir correspondências, registros acadêmicos, publicações científicas e até mesmo artefatos culturais que refletem as interações entre os atores. Canabarro e Affanador-Llach (2024) argumentam que a ARS pode ser usada para reconstruir paisagens historiográficas, combinando diferentes tipos de dados para criar um panorama abrangente das redes intelectuais de uma época específica. Essa abordagem integrativa é particularmente útil para estudar redes de colaboração científica, onde as interações muitas vezes ocorrem em múltiplos níveis e dimensões. Por exemplo, ao analisar as redes de correspondência entre físicos do século XVII, é possível cruzar dados de cartas, publicações e registros acadêmicos para obter uma compreensão mais completa de como essas redes funcionavam e quais eram seus principais impulsionadores, conforme destacado por Sachete et al. (2024).

Ela pode ser aplicada para estudar redes contemporâneas de ensino e aprendizado, especialmente no campo da física. Em um mundo cada vez mais interconectado, plataformas digitais e redes sociais oferecem novas oportunidades para promover a colaboração e o compartilhamento de conhecimentos entre alunos, professores e pesquisadores. Por exemplo, redes de aprendizado online podem ser analisadas usando a ARS para identificar padrões de interação e colaboração que impactam o sucesso educacional. Além disso, a ARS pode ser usada para avaliar a eficácia de estratégias pedagógicas baseadas em redes, como projetos colaborativos ou atividades de grupo. Essas aplicações são particularmente relevantes no ensino

de física, onde a compreensão de conceitos complexos muitas vezes depende da interação entre os alunos e o acesso a recursos diversificados. Ao mapear essas redes, é possível identificar lacunas no processo de ensino-aprendizagem e propor intervenções para fortalecer as conexões entre os atores envolvidos, conforme observado por Köehler e Carvalho (2022).

No contexto acadêmico, ela tem sido amplamente utilizada para estudar redes de pesquisa e colaboração científica. Sachete et al. (2024) exploram as relações entre pesquisadores na área de educação a distância, utilizando a ARS para mapear colaborações ao longo de 13 anos da Revista EaD em Foco. Esse tipo de análise revela padrões de colaboração que podem ser extrapolados para outras áreas, como a física. Por exemplo, ao analisar redes de coautoria em artigos científicos, é possível identificar comunidades de pesquisadores que compartilham interesses e objetivos comuns, bem como lacunas na colaboração entre diferentes grupos. Esses insights podem ser usados para promover maior integração e cooperação entre pesquisadores, fortalecendo o desenvolvimento da disciplina. Além disso, a ARS pode ser usada para avaliar o impacto de políticas de fomento à pesquisa, como bolsas de estudo ou programas de intercâmbio, que buscam ampliar as redes de colaboração científica, conforme destacado por Martins e Macambira (2022).

Tal análise oferece uma perspectiva crítica sobre as limitações e desafios associados ao estudo de redes históricas e contemporâneas. Uma das principais dificuldades é a disponibilidade e a qualidade dos dados, especialmente no caso de redes históricas, onde muitas interações podem não ter sido registradas ou podem ter se perdido ao longo do tempo. Além disso, a interpretação dos dados exige cuidado, pois as conexões identificadas nem sempre refletem relações reais ou significativas. Por exemplo, a presença de uma aresta entre dois nós em uma rede histórica pode indicar uma correspondência pontual, mas não necessariamente uma colaboração contínua ou profunda. Esses desafios destacam a importância de combinar a ARS com outras abordagens metodológicas, como a análise qualitativa ou a revisão documental, para obter uma compreensão mais completa das redes estudadas, conforme observado por Canabarro e Affanador-Llach (2024).

Apesar desses desafios, a ARS continua a ser uma ferramenta poderosa para estudar redes históricas e contemporâneas, oferecendo insights valiosos sobre como as interações humanas moldam o mundo ao nosso redor. Ao aplicar a ARS para estudar redes de colaboração científica, é possível reconhecer padrões e tendências que influenciaram o desenvolvimento da física ao longo dos séculos. Esses insights não apenas enriquecem nossa compreensão do

passado, mas também fornecem diretrizes para construir redes mais inclusivas e resilientes no futuro. Além disso, a ARS pode ser usada para promover maior colaboração e inovação em áreas como o ensino de física, onde a interação entre alunos, professores e pesquisadores desempenha um papel crucial no sucesso educacional. Ao mapear e analisar essas redes, é possível identificar oportunidades para fortalecer as conexões e melhorar os resultados, conforme destacado por Köehler e Carvalho (2022) e Souza et al. (2024).

3.2 APLICAÇÃO DA ARS NO ENSINO DE FÍSICA: PROMOVENDO COLABORAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A aplicação da Análise de Redes Sociais (ARS) no ensino de física representa uma abordagem inovadora para promover colaboração e contextualização no ambiente educacional. A ARS permite mapear as interações entre alunos, professores e recursos pedagógicos, identificando padrões de colaboração que podem ser fortalecidos para facilitar o aprendizado. Conforme destacado por Fontes e Rodrigues (2024), a análise das redes colaborativas em pesquisas sobre ensino de ciências revela como conexões entre atores influenciam a produção de conhecimento e a disseminação de práticas pedagógicas. No contexto do ensino de física, essa metodologia pode ser usada para visualizar como os estudantes interagem com os conteúdos e uns com os outros, permitindo que os educadores identifiquem lacunas no processo de ensino-aprendizagem e proponham intervenções para melhorar a coesão e o engajamento nas atividades.

Evidencia-se que o uso de plataformas digitais e redes sociais modernas como ferramentas pedagógicas é um dos aspectos mais promissores da aplicação da ARS no ensino de física. Essas tecnologias oferecem espaços dinâmicos onde os estudantes podem compartilhar ideias, resolver problemas colaborativamente e acessar recursos diversificados para compreender conceitos físicos. De acordo com Moraes (2021), a integração de plataformas conectivistas, como fóruns online e redes de aprendizagem, pode transformar a forma como os estudantes se envolvem com o conteúdo, promovendo uma abordagem mais participativa e interativa. Além disso, a ARS pode ser usada para analisar as interações nesses ambientes digitais, identificando quais tipos de conexões são mais eficazes para facilitar o aprendizado e como essas redes podem ser otimizadas para promover maior engajamento.

Tal contextualização dos conceitos físicos no mundo real é outro benefício significativo da aplicação da ARS no ensino. Ao mapear redes de aplicação prática, os educadores podem ajudar os estudantes a visualizar como os princípios da física estão presentes em situações cotidianas e tecnológicas. Por exemplo, ao analisar redes de divulgação científica no YouTube, como discutido por Almeida Lima e Alves (2023), é possível identificar canais e criadores de conteúdo que apresentam aplicações práticas de conceitos físicos de maneira acessível e envolvente. Essas redes não apenas ampliam o acesso ao conhecimento, mas também permitem que os estudantes conectem teorias abstratas a exemplos concretos, tornando o aprendizado mais relevante e significativo.

Ademais, a colaboração entre alunos e professores é um elemento central na aplicação da ARS no ensino de física. A análise de redes colaborativas pode revelar quais estudantes atuam como nós centrais, facilitando a troca de informações e ideias dentro da sala de aula ou em plataformas digitais. Köehler e Carvalho (2022) destacam que a coesão em redes acadêmicas está diretamente relacionada à qualidade das interações e ao sucesso dos processos educacionais. No ensino de física, isso significa que estudantes que desempenham papéis de liderança ou mediação podem influenciar positivamente o desempenho de seus pares, promovendo um ambiente de aprendizado mais inclusivo e colaborativo. Além disso, a ARS pode ajudar os professores a identificar alunos que precisam de suporte adicional, garantindo que ninguém fique isolado na rede de aprendizado.

Ressalta-se ainda que a ARS no ensino de física é sua capacidade de integrar diferentes disciplinas e áreas do conhecimento. A física, por sua natureza interdisciplinar, frequentemente se conecta com outras ciências, como química, biologia e engenharia. Brandão et al. (2023) utilizam a ARS para mapear teses e artigos brasileiros sobre o ensino de química no contexto CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), demonstrando como redes colaborativas podem promover a integração de diferentes áreas do conhecimento. No caso da física, a ARS pode ser usada para identificar conexões entre conceitos físicos e suas aplicações em outras disciplinas, ajudando os estudantes.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresentamos as etapas percorridas pelo pesquisador para alcançar o resultado final: o ensino do espectro da luz a partir da construção de redes históricas. Essas redes visam promover uma compreensão mais complexa da ciência, conectando atores humanos e não humanos, que podem ser analisados tanto de forma isolada quanto como parte de uma estrutura interligada, desenvolvida pelos integrantes desta pesquisa.

4.1 ANÁLISE DA LITERATURA E COMPOSIÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO:

Este estudo buscou estabelecer uma conexão entre dois campos distintos: a Pesquisa em Redes Históricas e a História da Ciência e Ensino. Embora fundamentado nos trabalhos de Alcantara, Braga e Van den Heuvel (2020) e de Lommi & Koponen (2019), ainda é necessário um esforço maior para explorar os benefícios da Análise de Redes Sociais no aprendizado de Física e, principalmente, nas discussões sobre aspectos da Natureza da Ciência (NdC) por meio de uma abordagem histórica.

Por essa razão, conduzimos uma análise de estudos referenciais na área da Natureza da Ciência (NdC). Essa investigação envolveu a identificação de trabalhos essenciais e revisões bibliográficas que oferecessem uma visão abrangente das diferentes abordagens e linhas de pesquisa relacionadas à NdC. Ressaltamos a importância de incluir a discussão sobre NdC no contexto educacional, uma defesa que tem sido reiterada em variados cenários, desde diretrizes governamentais até estudos acadêmicos. No que diz respeito às Redes Históricas, o foco estará nas propriedades estruturais das redes e na interpretação qualitativa das informações que elas oferecem, explorando assim a aplicação da Análise de Redes Sociais no âmbito do ensino de ciências. Lommi & Koponen (2019) (capítulo 3).

4.2 MONTAGEM DO RECORTE HISTÓRICO

Para desenvolvermos a hipótese proposta por Alcantara (2018), de que a construção de Modelos de Redes Históricas (MRH) por estudantes têm potencial para fomentar debates relevantes sobre aspectos do fazer científico. Nossa recorte temporal contempla a evolução cronológica dos instrumentos de observação astronômica, iniciando pelo espectro visível da luz. Investigaremos a busca, durante os séculos XVIII e XIX, por telescópios com aberturas

cada vez maiores, culminando na incorporação da fotografia. Também abordaremos o desenvolvimento do espectroscópio, do radiotelescópio e traçaremos vínculos com os "novos telescópios" que operam nas faixas do infravermelho e dos raios X. Em virtude da dificuldade de acesso a fontes primárias durante a pesquisa, fundamentamos nosso trabalho majoritariamente em fontes secundárias, compostas por publicações acadêmicas, obras literárias, imagens de reprodução de instrumentos e tabelas.

4.3 O ESTUDO DE CASO: PROPOSTA DE MONTAGEM DE REDES HISTÓRICAS

A Montagem de Redes Históricas foi conduzida em 2024. As ações ocorreram na disciplina Laboratório Avançado, integrante do Itinerário Formativo do estado de Minas Gerais, envolvendo uma turma do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública, com um total de 26 estudantes e idade média de 16 anos.

Inicialmente, foram utilizadas aulas explicativas sobre os primórdios da astronomia, a conexão entre arte e ciência, a introdução da fotografia e sua aplicação no campo da astronomia. Após a etapa inicial, iniciaram-se os estudos sobre radiações não visíveis e fotografia, explorando suas origens e os elementos que seriam utilizados em nosso produto. Com os elementos definidos, foi apresentada uma explicação sobre as Redes Históricas. Assim, a turma foi organizada em grupos, com encontros ocorrendo duas vezes por semana. Os grupos apresentaram seus elementos e, ao final, conseguiram desenvolver uma Rede Histórica, na qual puderam identificar as conexões entre seus temas e os dos demais, construindo assim uma Rede Histórica.

As ações foram realizadas na sala de aula e no laboratório de informática. Foi construída uma câmara escura para que os estudantes pudessem entender como as lentes e o telescópio se aperfeiçoaram, ampliando as conexões entre a ciência e a arte. Os recursos utilizados foram os habituais em salas de aula modernas: quadro, projetor e computador. Tudo isso sem gerar custos extras para os estudantes ou para a instituição.

4.4 COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados, foram utilizadas as seguintes ferramentas: relatórios de aula, relatório de encontro com grupos, gravações ou transcrições de suas participações em atividades

científicas, entrevistas, questionários e ficha de acompanhamento para coletar informações e o feedback dos alunos.

Para a análise e o processamento dos dados, foram utilizados os seguintes recursos: o software para a análise e gestão de redes sociais Gephi versão (10.1). Na construção do referencial teórico e na interpretação dos resultados, foi empregada a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), com destaque para a Análise da Enunciação.

4.5 ANÁLISE DE ENUNCIAÇÃO

A decisão pela Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016) foi fundamentada em sua habilidade de captar, nos relatos dos alunos ao longo do percurso de investigação historiográfica até a MRH, elementos que atribuem sentido às mensagens por eles transmitidas. Em outras palavras, esse método contribuiu para a interpretação dos sentidos presentes nas falas dos alunos, por meio da análise, neste caso, dos argumentos apresentados por eles, que, de certo modo, revelaram características da essência da ciência.

No âmbito do método de análise selecionado, destacamos a Análise da Enunciação que, conforme Bardin (2011), entende a palavra como um processo, partindo do pressuposto de que o discurso não é um resultado finalizado, mas sim uma etapa em um processo de construção. Após uma análise minuciosa de todo o discurso, com o objetivo de examinar detalhadamente tudo o que foi apresentado, avança-se para uma fase chamada inferência, que se configura como uma técnica de processamento de resultados baseada em polos de comunicação (BARDIN, 2011).

Nesse sentido, examinamos as falas dos alunos durante as reuniões e o desenvolvimento da rede, com o objetivo de atribuir sentido a elas. Empregamos elementos e argumentos-chave que evidenciaram, ou não, a assimilação de aspectos da natureza da ciência em seus discursos, seja de forma explícita ou implícita.

4.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada em duas seções. A primeira aborda questões relacionadas ao Ensino, com ênfase na discussão de aspectos da Natureza da Ciência, bem como nos referenciais teóricos da Análise de Redes Sociais e da História da Ciência. A segunda seção

trata dos objetos de estudo. As seguintes etapas serviram como guia para o desenvolvimento da pesquisa:

- A) Breve explanação: O que são redes! Atores Humanos, Atores não humanos; Rede egocêntrica;
- B) Desmembramento dos grupos e distribuição dos atores;
- C) Reuniões em duas aulas semanais (50 minutos) com os grupos;
- D) Pesquisa por parte dos estudantes e criação de slides para apresentação;
- E) Apresentação dos grupos;
- F) Montagem das redes (atores humanos) (atores humanos e não humanos);
- G) Análise dos resultados e apresentação da rede final tratada e o fechamento do que foi o projeto.

4.7 PERCURSO METODOLÓGICO

O presente projeto foi aplicado em paralelo aos conteúdos da disciplina Laboratórios Criativos, que consistiam em 2 horas-aulas semanais, em uma turma do segundo ano do ensino médio, que era composta por 26 estudantes, sendo dividida em 7 grupos com no mínimo 3 e no máximo 5 membros. Esses encontros, somados às aulas destinadas à apresentação do produto, à construção e à análise das redes históricas, totalizaram 9 encontros até a apresentação final do produto.

Foram criadas algumas ferramentas de registro das atividades, tais como: relatórios de aula, relatório das reuniões dos grupos, registros fotográficos, armazenamento dos vídeos criados pelas equipes, ficha de acompanhamento. Depois de cada aula e encontro, era confeccionado um relatório com a finalidade de documentar, com maior exatidão, os acontecimentos e os debates realizados.

Foi iniciado o projeto com uma curta abordagem sobre a relação entre arte e ciência, destacando como a evolução das observações astronômicas está conectada a diversas áreas do conhecimento. Foi explanado sobre as primeiras observações astronômicas feitas com lunetas, a evolução dos telescópios, desde os refratores e refletores até os grandes telescópios, introduzindo o surgimento da fotografia mostrando como a arte e a ciência

poderiam colaborar para representar com mais precisão o que os astrônomos observavam. E assim iniciou-se a introdução a montagem da rede histórica sobre ondas eletromagnéticas não visíveis a partir da História da Astronomia. As fases dessa sequência didática foram estruturadas de modo que, a cada nova etapa, os alunos fossem estimulados a aprofundar-se na pesquisa historiográfica, procurando estabelecer vínculos entre seus temas e a introdução das ondas eletromagnéticas não visíveis e da fotografia na astronomia.

Exibimos os temas, e a escolha dos atores ficou a critério do grupo, os alunos tiveram a autonomia para se organizar e escolher qual ator gostariam de abordar no desenvolvimento da atividade. Após escolha, ficou definido da seguinte forma:

- 1) G1 - Caroline Herschel;
- 2) G2 - Joseph Nièpce;
- 3) G3 - John W. Draper;
- 4) G4 - Samuel P. Langley;
- 5) G5 - Edward Nichols;
- 6) G6 - Willian Wollaston;
- 7) G7 - Karl Jansky.

Em um primeiro momento, eles sentaram com seus respectivos colegas do grupo e começaram a definir os temas que seriam pesquisados e os rumos a seguir com a orientação do professor. Após essa pequena reunião, foram levados para sala de informática onde tiveram acesso a internet e realmente começaram a pesquisar sobre os autores que lhes foram dados. Muitos tiveram dificuldades nas pesquisas, precisando ser auxiliados. Foi realizado encontros semanais com cada grupo, com o objetivo de orientar a pesquisa historiográfica.

Nesses encontros, os estudantes exibiam o andamento de suas pesquisas, suas dúvidas e fontes utilizadas, com isso, houve uma mediação e esclarecimentos de dúvidas, auxiliando na checagem da confiabilidade das fontes, além de traçar, junto aos grupos, as estratégias para as próximas reuniões. As etapas dessa sequência didática foram organizadas de forma que, a cada nova fase, os estudantes fossem incentivados a se aprofundar na pesquisa historiográfica, buscando estabelecer conexões entre seus temas e a introdução das ondas eletromagnéticas não visíveis e fotografia na astronomia. Após o refinamento da pesquisa que resultou na construção dos vídeos sobre os temas.

Nas apresentações dos grupos foram apresentados vídeos e explanação sobre seus atores e esse processo permitiu identificar como os estudantes estavam fazendo conexões entre si.

Posteriormente as apresentações houve o encontro com toda a turma, para a construção da Rede Histórica, com ajuda dos alunos, foi elaborada duas Redes Históricas. A primeira somente com os atores humanos representados, observou-se que faltam algumas conexões entre os atores, mostrando que eles estariam conectados por atores não humanos, vendo a importância de, em uma rede histórica. E uma Rede Histórica conectados por atores humanos e não humanos ampliando o escopo da análise ao incorporar elementos materiais, tecnológicos, naturais e simbólicos como agentes relevantes, os estudantes foram agregando informações de cada tema e estabelecendo conexões entre outros atores humanos e não humanos.

No presente estudo, buscamos a criação de um produto educacional e apresentamos ao longo do texto os fundamentos teóricos e os resultados alcançados durante todo o processo, desde a pesquisa historiográfica até a construção da rede histórica, que constituem esse produto. Sendo assim, a rede em si não é o foco principal para a análise dos resultados do produto aplicado, mas sim os argumentos que os estudantes utilizam em sua construção. É possível afirmar que todo o processo metodológico teve um efeito positivo na compreensão dos aspectos da Natureza da Ciência e que essa abordagem possibilitou uma participação ativa dos alunos na elaboração desse entendimento.

5 O ESPECTRO DE LUZ

Nesse capítulo iremos fazer um resgate histórico sobre os temas que serão abordados nessa dissertação.

5.1 O DESENHO COMO REGISTRO DE IMAGENS ASTRONÔMICAS

O espectro da luz é um do fenômeno muito utilizado para a compreensão do universo e tem sido explorado por cientistas e observadores celestes ao longo da história. Desde os tempos antigos, a humanidade buscou entender a natureza da luz e sua relação com os astros, utilizando métodos rudimentares para registrar suas descobertas. Entre essas práticas, o desenho se destacou como uma das principais formas de documentar observações astronômicas antes da invenção da fotografia. Mesmo com o avanço das tecnologias de captação de imagens, a ilustração continua a desempenhar um papel relevante, não apenas como um meio de registro, mas também como uma ferramenta pedagógica que auxilia na construção do conhecimento sobre os corpos celestes.

De acordo com Dummer (2019), as concepções infantis sobre os fenômenos astronômicos são fortemente influenciadas pela forma como as imagens são apresentadas e interpretadas. O contato direto com ilustrações detalhadas do céu pode estimular a curiosidade e facilitar o aprendizado, especialmente entre crianças em idade pré-escolar. Antes da fotografia digital e das modernas técnicas de espectroscopia, os desenhos eram a única forma de registrar e compartilhar descobertas astronômicas. Grandes cientistas como Galileu Galilei, por exemplo, utilizaram esboços para documentar a superfície lunar e a movimentação dos satélites de Júpiter, contribuindo para transformações significativas na compreensão do cosmos.

Segundo Gonçalves e Bretones (2021), o ensino da astronomia pode ser potencializado por meio da observação direta dos astros e do uso do desenho como forma de registro. Para crianças nos anos iniciais do ensino fundamental, esboçar a Lua e suas fases pode ser um método eficaz para desenvolver a percepção espacial e estimular o pensamento crítico. Além disso, essa prática ajuda a consolidar conceitos fundamentais, como a movimentação da Terra e a variação da iluminação solar sobre os corpos celestes. Dessa maneira, a ilustração não apenas auxilia na aprendizagem, mas também promove uma conexão mais profunda entre os estudantes e os fenômenos astronômicos.

De acordo com Silva et al. (2021), a ilustração continua a ser um recurso valioso na popularização da astronomia, principalmente quando combinada a materiais visuais como histórias em quadrinhos. Representações gráficas permitem que conceitos abstratos sejam traduzidos em imagens comprehensíveis, facilitando a assimilação de ideias complexas. Além disso, os desenhos possibilitam que os estudantes personalizem suas observações, destacando detalhes que poderiam passar despercebidos em fotografias automatizadas. Dessa forma, a arte e a ciência se encontram, proporcionando um aprendizado mais dinâmico e envolvente.

A importância do desenho na astronomia não se restringe apenas ao ensino infantil. Segundo Andrade e Gonçalves (2022), a observação do céu e o registro gráfico dos astros são práticas que podem ser aplicadas em diferentes níveis de aprendizado, desde a educação básica até a formação acadêmica de astrônomos amadores e profissionais. A elaboração de esboços detalhados de corpos celestes pode estimular o desenvolvimento de habilidades analíticas e a atenção aos detalhes, sendo um método complementar à utilização de equipamentos sofisticados. Assim, o desenho continua a desempenhar um papel relevante na observação astronômica, mesmo em um cenário tecnológico avançado.

O espectro da luz é um dos principais elementos de análise da astronomia moderna, permitindo que cientistas determinem a composição química, a temperatura e o movimento dos astros. No entanto, a interpretação desses dados requer um olhar treinado e métodos que vão além da captação digital de imagens. Segundo Gonçalves e Bretones (2021), a observação direta, acompanhada de registros manuais, pode auxiliar na identificação de padrões e variações nos fenômenos celestes. Dessa maneira, o desenho complementa as técnicas científicas contemporâneas, oferecendo uma perspectiva mais detalhada e pessoal da observação astronômica.

A relação entre a astronomia e a ilustração se fortalece quando se considera a importância da percepção individual na ciência. Segundo Silva et al. (2021), os registros gráficos incentivam a criatividade e a imaginação, permitindo que os observadores desenvolvam um olhar crítico sobre os fenômenos do céu. Além disso, a prática do desenho pode proporcionar uma experiência mais significativa e imersiva para os estudantes, tornando a astronomia mais acessível e cativante. Dessa forma, a arte se torna uma aliada da ciência, contribuindo para a disseminação do conhecimento e para o desenvolvimento de novas gerações de astrônomos.

Segundo Andrade e Gonçalves (2022), incentivar a observação e o registro manual dos astros é uma estratégia eficaz para aproximar as crianças e os jovens do estudo da astronomia. Ao desenhar constelações, planetas e outros corpos celestes, os estudantes podem compreender melhor as estruturas do universo e sua dinâmica. Essa abordagem também pode ser aplicada no ensino de conceitos mais avançados, como a refração da luz e o efeito Doppler, que são fundamentais para a interpretação do espectro eletromagnético. Assim, o desenho continua a ser uma ferramenta versátil e atemporal no ensino e na pesquisa astronômica.

Mesmo com os avanços na tecnologia de telescópios e na captação digital de imagens, o desenho mantém sua relevância na astronomia. A prática de ilustrar os astros não apenas resgata métodos tradicionais de observação, mas também promove uma abordagem mais sensível e pessoal do estudo do universo. Ao unir ciência e arte, a astronomia se torna mais acessível e envolvente, permitindo que diferentes públicos se encantem com a imensidão do cosmos. Dessa forma, o espectro da luz e o desenho continuam a caminhar lado a lado, contribuindo para a expansão do conhecimento humano sobre o espaço.

5.2 FOTOGRAFIA E ASTRONOMIA

É muito complicado falar de datas e etapas dos processos que levaram a representação de imagens, pois há registros da humanidade desde a antiguidade. Muitos estudiosos de várias épocas e lugares descobriram pequenas partes que, aos poucos, foram se juntando e formando a ideia até a invenção da fotografia. Vemos em trabalhos como do Doble (2013), Maya (2008) e Salles (2014), que o surgimento, principalmente da câmara escura, não tem uma data e um lugar específico, alguns falam que a origem é dos gregos, outros dos árabes e até de chineses. Porém, o que podemos apontar é que o desejo do conhecimento e as descobertas com o tempo são relevantes para a ideia da fotografia.

Os fundamentos do que conhecemos como fotografia vem de dois princípios básicos: 1 – o conhecimento da câmara escura; 2 – a existência de matérias fotossensíveis (SALLES, 2004).

A câmara escura, na sua primeira ideia, que se origina do italiano, onde câmara = quarto (ALCANTARA: BRAGA, 2017), seria um quarto escuro onde tinha um pequeno orifício onde a luz entra projetando uma imagem invertida na parede oposta. Posteriormente, com o desenvolvimento de lentes, pelo Frei Roger Bacon (1214 – 1294) e baseando-se nas ideias de

Alhazen (965 – 1020), um matemático e astrônomo árabe, colocaram-nas nos orifícios para ter melhores imagens projetadas. Bacon explicou que um eclipse solar poderia ser estudado com segurança utilizando uma câmara escura (FIG. 3).

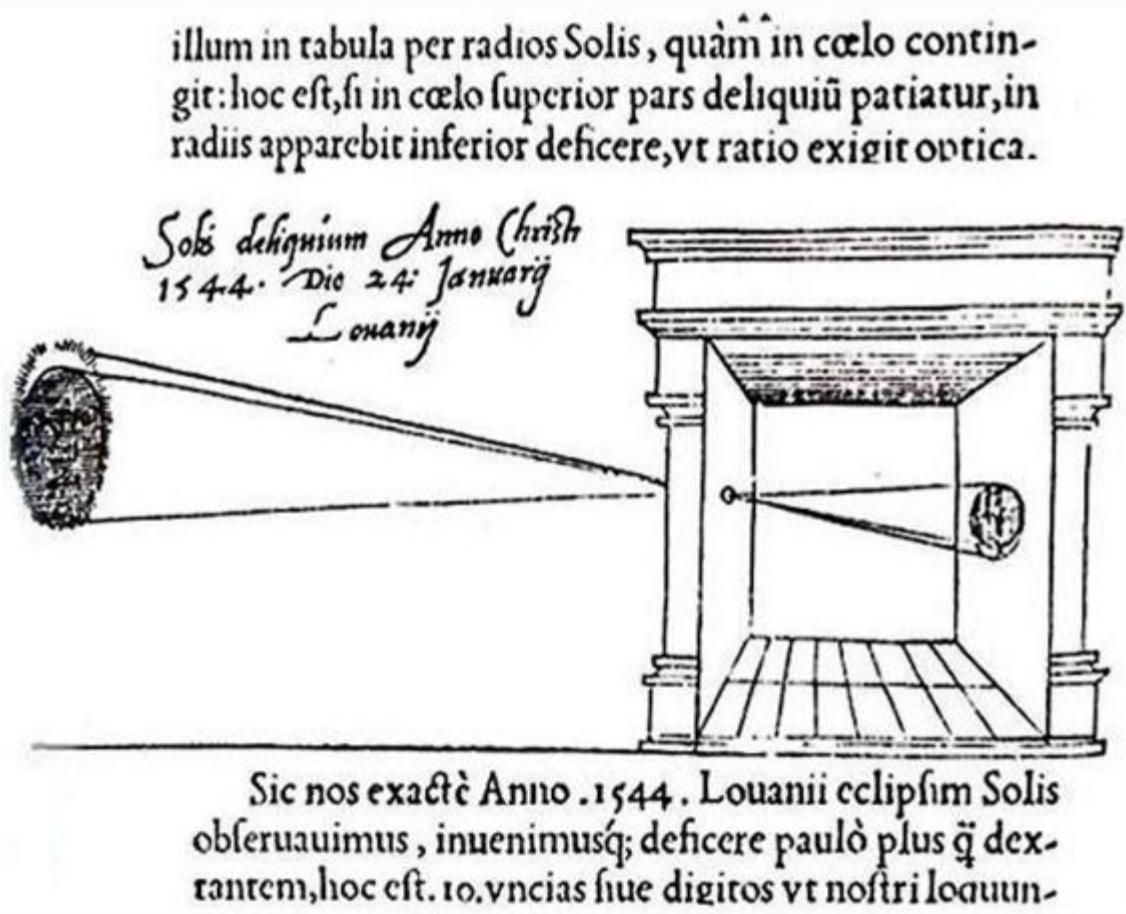


FIG. 3: Imagem que representa o uso da câmara escura para observar o eclipse solar

FONTE: SALLES, p.2 (2004).

Durante o renascentismo, pessoas como Leonardo da Vinci (1452 – 1519), Gemma Frisius (1508 – 1555) e Giovanni Battista Della Porta (1535 – 1615), discutiram sobre as imagens da câmara além de refinamentos óticos e de visualização (DOBLE, 2013; DUNCAN, 2020). Já no século XVII, Johannes Kepler (1570 – 1630) projetou a câmara escura portátil, usando uma tenda (FIG. 4), com lente rotativa e espelho para projetar a imagem em uma prancheta. Com a ajuda desse equipamento, conseguiu estudar o Sol e observou manchas solares que confundiu com a órbita de Mercúrio (DUNCAN, 2020).



FIG. 4 – Um desenho de uma câmera obscura tipo tenda móvel Kepler - o tipo projetado por Kepler em 1620.
FONTE: DOBLE, p.6 (2013).

Neste momento, muitos pensadores começam a estudar melhor o céu, mas no início do século XVII um novo artefato vem dar início a uma nova forma de observação do céu.

O surgimento do telescópio é um tanto controverso (ZUIDERVAART, 2012) em alguns casos o crédito é dado a como aprimorando maneiras, instrumentos e conseguindo

observar mais e um fator relevante é o desenvolvimento da luneta. Sua criação chamou a atenção de militares, pois permitia a observação da movimentação de tropas inimigas a uma relativa distância. Galileu Galilei (1564 – 1642) utilizou-se a ideia da luneta e aumentando o poder de ampliação em até 30 vezes, apontou para o céu, observando a Lua, Júpiter e seus satélites naturais e, posteriormente, observando as “orelhas” de Saturno, fazendo com que a observação e a medição científica se tornassem a principal forma de explorar o mundo .

Outras lunetas e, depois, os chamados telescópios começaram a serem aprimorados, primeiramente, os telescópios refratores, com destaque a Christiaan Huygens (1629 – 1695) e após com a fabricação do telescópio refletor, desenvolvido por Isaac Newton (1643 – 1727). Todo registro era feito através de desenhos e pinturas como mostrado nas figuras (x, y e z). Isso se fazia um problema, já que o registro também dependia da competência do observador em fazer o desenho. Um relato conhecido deste problema está na controvérsia entre Galileu e Hariat (JORGE; PEDUZZI, 2018) e, anos mais tarde, no séc. XVIII, William Herschel (1738–1822) aprimorou os telescópios refletores ao construir espelhos de maior qualidade e aumentar o tamanho dos instrumentos. Ele desenvolveu o maior telescópio de sua época, com um espelho de 1,2 metro de diâmetro, que lhe permitiu fazer descobertas revolucionárias, como o planeta Urano em 1781. Herschel também explorou a estrutura da Via Láctea e catalogou milhares de objetos celestes. Herschel teve uma importante ajuda de sua irmã, Caroline Herschel (1750 – 1848), irmãos e colaboradores, eles trabalharam juntos no aprimoramento de telescópios, na observação do céu e na descoberta de inúmeros corpos celestes, deixando um legado duradouro para a ciência. Caroline Herschel, por sua vez, foi inicialmente treinada para ser cantora, mas passou a auxiliar William em suas observações astronômicas. Ela aprendeu matemática e técnicas de observação, tornando-se uma astrônoma talentosa por mérito próprio. A colaboração entre William e Caroline Herschel foi muito importante para o avanço da astronomia. Juntos, mapearam extensas regiões do céu e estabeleceram as bases para o estudo das galáxias e da estrutura da Via Láctea. Caroline, que por muito tempo foi vista apenas como assistente do irmão, é hoje reconhecida como uma pioneira na ciência. Seu trabalho abriu caminho para futuras astrônomas e consolidou a importância das mulheres na pesquisa científica (HOSKIN, 2003). Outro problema surge, seria o limite a observação da Via Láctea, registrada por Herschel, o máximo que conseguíramos visualizar? Teríamos que somente ver e registrar através de desenhos?

Antes desse “limite”, alguns estudos sobre como representar as imagens, ter uma imagem real e definitiva já aflorava. Estudiosos já procuravam um material fotossensível para

poder registrar as imagens e viram que sais de prata eram muito sensíveis a luz, escurecendo com a presença dela. Johann Heinrich Schulze (1687 – 1744) notou que o nitrato de prata era um desses materiais, mas não eram muito estáveis, pois mesmo obtendo uma imagem ou silhueta de um objeto, a prata continuava a ser sensibilizada, ou seja, quanto mais luz, mais ela ficaria escura, não tendo, na época, tecnologia suficiente para manter a imagem estável (SALLES, 2004).

A revolução na fotografia começou com Joseph Nicéphore Niépce (1765 – 1833), um inventor francês. Niépce começou sua pesquisa tentando aprimorar o processo litográfico de impressão, conseguindo fixar sobre o papel uma imagem projetada no interior de uma câmara escura, a Mesa Posta (FIG. 5).



FIG. 5 – Foto de Niépce denominada A Mesa Posta

FONTE: MAYA, p. 111 (2008).

As primeiras experiências feitas por ele foram utilizando papel recoberto com cloreto de prata, exposto durante várias horas numa câmara escura, obtendo imagens fracas, em negativo, parcialmente fixadas com ácido nítrico. Depois, usa placa de estanho recoberta com betume da Judeia, porém essas placas precisavam ficar expostas, em média, 8 horas nas

câmaras, a chamada Heliografia⁵ (BORGES, 2003). Através da divulgação de suas heliografias, Nièpce conhece Louis Jacques Mandé Daguerre (1787 – 1851), juntos começaram a desenvolver um processo que possibilitava a captura da imagem e que ela ficasse permanente. Daguerre e Nièpce firmaram uma sociedade para o desenvolvimento das técnicas até então conhecidas, porém trabalhavam em objetivos opostos, Nièpce trabalhava com a ideia de algo que pudesse ser reproduzido e Daguerre por uma simples imagem satisfatória. Trabalharam juntos até a morte de Nièpce em 1833. Daguerre abandona os experimentos do colega, pois não desejava desenvolver um sistema litográfico mais avançado, não desejando uma imagem que pudesse ser reproduzida, começando a trabalhar com sais de prata como outros faziam na época, voltando a ter o problema de fixação das imagens. Trabalhando em vários experimentos, ao deixar uma imagem em uma armários com vários produtos observa que a imagem é fixada e por tentativa e erro, retirando e colocando os materiais que estavam dentro do armário, percebe que o vapor de mercúrio de um termômetro que estaria quebrado faria com que a imagem fixasse. Depois de alguns testes, o resultado foi o daguerreótipo, um processo fotográfico amplamente utilizado, desenvolvido pelo Daguerre e anunciado oficialmente em 1839 (GERNSHEIM, 1968). Essa técnica permitiu a criação de imagens detalhadas e permanentes, marcando o início da fotografia moderna. Mais tarde, conseguiu um método muito prático para a obtenção das imagens. Consistia numa placa metálica, tratada com vapores de iodo, formando o iodeto de prata (um haleto de prata) que se tornava sensível a luz e após a exposição que variava entre 20 a 30 minutos a imagem se tornava visível, o mercúrio entrava para revelar e como a imagem era fixada numa placa metálica, ficava muito mais nítida com definição e riqueza de detalhes (FIG. 6), depois utilizava cloreto de sódio, sal de cozinha, para realmente fixar a imagem. Produziu um pequeno daguerreótipo nessas condições em 1937, apresentado na figura 7.

⁵ A heliografia é um dos primeiros processos fotográficos, desenvolvido por Joseph Nicéphore Nièpce no início do século XIX. Utiliza uma placa revestida com betume da Judeia, uma substância sensível à luz que endurece quando exposta ao sol. As áreas não endurecidas são removidas com um solvente, criando uma imagem permanente.



FIG. 6 – Imagem que Daguerre considerava seu primeiro daguerreótipo bem-sucedido.

FONTE: SALLES, p.5 (2004)



FIG. 7 – Representação de um Daguerreótipo

FONTE: Disponível em <https://instaarts.com/fotografia/daguerreotipo-a-primeira-maquina-fotografica/>, acesso em janeiro de 2025

Em 7 de janeiro de 1839, o daguerreótipo é apresentado ao público, em especial a Academia de Ciências de Paris que tinha como diretor François Arago (1786 – 1853), a apresentação na Academia foi um evento de importância histórica, pois marcou o início de uma nova era na documentação visual e na preservação de memórias, tendo vários cientistas de renome presentes na apresentação, como William Henry Fox Talbot (1800 – 1877) que estava desenvolvendo, paralelamente seu processo de fixar imagens, o calótipo e Sir John Herschel (1792 – 1871), filho de William Herschel, que também trabalhava na construção de telescópios. Nesse momento, os estudiosos tinham várias esperanças e previsões sobre a “nova arte”, algumas dessas previsões foram superadas de longe e muitos comentários começaram a surgir. Arago expressou:

Senhoras e senhores. Acabais de presenciar a mais revolucionária mágica de todos os tempos! Suas consequências para as gerações vindouras são imprevisíveis. Eis aqui, aprisionado nesta folha de papel, um fragmento do tempo, um instante preservado que não se perdeu, como se perdem todos os instantes. (MAYA, 2008, p.114).

Outras palavras de Arago:

Quando os inventores de um novo instrumento aplica-lo à observação da natureza, as esperanças que depositam nela são sempre insignificantes em comparação com o número de descobertas subsequentes das o instrumento foi a origem. (BENJAMIN, 1980, p. 240).

Podemos perceber que a fotografia abriu muitas possibilidades de um mundo novo, um mundo imaginário de um mundo real que pode ser fixado como prova de existência, passando a alterar as concepções de tempo e espaço. Nos comentários de Kossoy, de 1980, a invenção de Daguerre é o fruto de vários anos de trabalho assíduo, junto com seu colega Niépce e tantos outros que os precederam. No trabalho de Kubrusly (1991) é comentado sobre a magia revolucionária e as consequências para as futuras gerações que seriam imprevisíveis. Arago via no invento fotográfico, numa visão científica, possibilidades infinitas de aliar a arte e ciência. De acordo com Benjamin (1980), os discursos abraçam o campo das novas tecnologias, da astrofísica a filologia, passando de fotografia como arte para arte como fotografia. Vemos que a fotografia como uma forma de arte única que sempre foi inseparável da ciência.

Talbot também estava aperfeiçoando seu sistema de fixação de imagem, o calótipo, que a princípio não apresentou boas recepções por obter a imagem sobre uma folha de papel, permitindo, a partir de um mesmo negativo, obter várias cópias de baixo custo, que segundo o trabalho de Maya, considerado na época imagens vulgarizadas, a imaginação popular fascinava-

se com a imagem do daguerreótipo, como sendo pinturas, exemplares únicos. As figuras 8 e 9 mostram as diferenças entre os métodos.



FIG. 8 – Foto intitulada Casal de Jovens, 1845 - catótipo negativo e positivo
FONTE: MAYA, p. 112 (2008).



FIG. 9 – Estojo daguerreótipo, autorretrato com câmera
FONTE: MAYA, p. 113 (2008).

A ideia de ter um exemplar único, no primeiro momento, era o desejo da população em geral, porém, com o baixo custo do calótipo, tornou-se posteriormente, a base da fotografia moderna.

Rapidamente os astrônomos passaram a usar as fotos para registrar suas observações, tendo como destaque a foto da Lua obtida, em 1840, com um daguerreótipo por John W. Draper (1811 – 1882) e Lewis M. Rutherford (1816 – 1892) (FIG. 10), construindo um telescópio fotográfico possibilitando conseguir ver além dos telescópios antigos. Depois de 1900, os grandes telescópios foram otimizados para a fotografia e não mais para simples observação e o desenvolvimentos da ótica e fotografia está intimamente relacionada com a astronomia.



FIG. 10 – Foto da Lua em 1852 feita por John W. Draper

Fonte: Disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/fotografia.htm>, acesso em janeiro de 2025.

5.3 O INÍCIO DA DESCOBERTA DO INFRAVERMELHO (IR)

A radiação infravermelha (IR) estudada por William Herschel (1738 – 1822), um astrônomo e músico alemão, naturalizado inglês do século XVIII. Se tornou famoso por descobrir Urano em 1781, além de duas de seus principais satélites naturais (Titânia e Oberon) e a radiação IR. Durante seus experimentos em ótica telescópica, observou a presença de, como ele nomeou, “raios de aquecimento” (RING, 2000). Realizou inúmeros experimentos detalhados sobre o comportamento desses raios junto com o espectro da luz e energia solar

utilizando um prisma e medindo a temperatura de cada cor, como podemos ver uma ideia na figura 11. Construiu um monocromador rudimentar para que pudesse medir a distribuição da energia solar averiguando que a temperatura mais alta estava além do vermelho, o qual chamamos de IR.



FIG. 11 – Primeiro experimento de Herschel: A, B – o pequeno suporte, 1,2,3 – os termômetros sobre ele, C, D – o prisma na janela, E – o espectro jogado sobre a mesa, de modo que colocar o último quarto de polegada da cor lida no suporte.

FONTE: ROGALSKI, p. 280 (2012)

Herschel utilizava, em seus experimentos, três ou até mais termômetros, considerados ruins, comparando as mudanças relativas na temperatura e mostrando em seus manuscritos que, segundo Ring (2000), continham listas intermináveis de números, registrando tudo o que observava e relatando que as observações únicas para ele seriam inaceitáveis. Fazendo seus experimentos, relatou a Royal Society em 1800 dizendo:

“Aqui o termômetro número 1 subiu 7 graus, em 10 minutos, por exposição aos raios vermelhos completos. Recuei o suporte, até que o

centro da bola do número 1 estivesse exatamente no ponto em que a cor vermelha desaparecia, de modo que metade da bola ficasse dentro e metade fora dos raios visíveis do Sol. E aqui o termômetro número 1 subiu em 16 min, 8 graus, quando seu centro estava a $\frac{1}{2}$ polegada fora dos raios visíveis do Sol. Agora, como antes, tivemos uma subida de 9 graus, e aqui 8 a diferença é quase insignificante para supor que esta última situação do termômetro estava muito além do máximo da potência de aquecimento; enquanto, ao mesmo tempo, a experiência indica o suficientemente que o local investigado não precisa ser procurado a uma distância maior.” (ROGALSKI, 2012, p. 280, tradução nossa).

Aqui podemos ver que os “raios caloríficos”, citados por ele, existiam além da parte vermelha do espectro e eram refletidos, refratados, absorvidos e transmitidos igualmente como a luz visível, obedecendo as leis mais simples da ótica, fez listas, tabelas, sucessão de registros de temperaturas para efetivar sua tese, investigando tudo sistematicamente. Em seus estudos, trabalhando juntamente com sua irmã Caroline Herschel (1750 – 1848) e seu filho John Frederick William Herschel (1792 – 1871), que utilizando a técnica chamada de evaporação, criou uma imagem térmica baseada em álcool e carbono (fuligem), chamou-a de termograma, adicionando assim uma imagem IR à observação da radiação térmica, tornando-se, pai e filho, pioneiros dessa técnica (RING, 2000).

As experiências documentadas como os termogramas IR estabeleceram bases importantes para muitos ramos da ciência que utilizam a energia térmica, como a indústria, engenharias, medicina, astronomia e exploração espacial.

Pouco se avançou após a descoberta de Herschel devido à falta de detectores sensíveis, a tecnologia precária da época, principalmente na astronomia. Os pequenos passos se deram, como podemos ver no trabalho de Rogalski (2012), Thomas Johann Seebeck (1770 – 1831) que, em 1821, fez um experimento com circuito fechado vendo a relação entre o calor radiante e luz (físicos achavam que eram fenômenos diferentes), Leopoldo Nobili (1784 – 1835) e Macedonio Melloni (1798 – 1854) construindo e melhorando os termopares, tornando-os mais sensíveis e os mais usados nos anos seguintes (FIG. 12).



FIG. 12: As termo pilhas Nobili-Melloni: (a) protótipo da termo pilha inventada por Nobili, (b) versão incompleta da termo pilha Nobili-Melloni

FONTE: ROGALSKI, p. 280 (2012)

Outro aparelho desenvolvido e, também, muito utilizado foi o bolômetro, principalmente o bolômetro de Langley (FIG. 13), criado por Samuel Pierpont Langley (1834 – 1906) permitindo estudar a irradiação solar até a região do IR e medir a intensidade da radiação solar em vários comprimentos de onda tendo maior sensibilidade que as termo pilhas (WALKER, 2000).

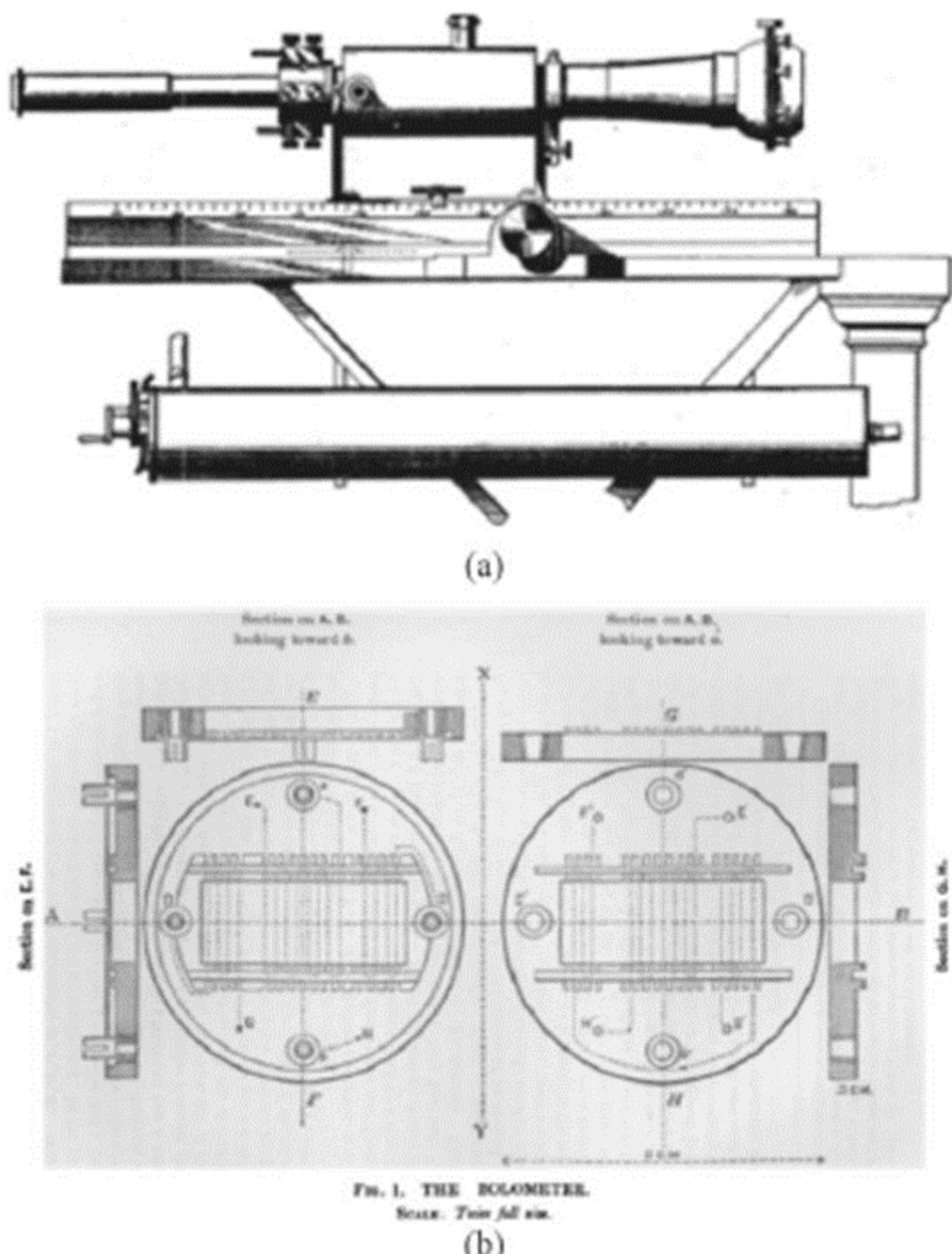


FIG. 13: Bolômetro de Longley (a) composto por dois conjuntos de finas tiras de platina (b), uma ponte de Wheatstone, uma bateria e um galvanômetro medindo corrente elétrica
FONTE: ROGALSKY, p. 282 (2012)

No final do século XIX surgem os primeiros fotocondutores utilizando o efeito de fóton permitindo um campo fértil de investigação, porém com qualidade ainda duvidosa em muitas

experiências, mas mesmo assim mostrando um interesse crescente na aplicação do IR como solução de inúmeros problemas. Willian Coblenz (1873 – 1962) consegue melhorias em um detector baseado em um termopar observando que o melhor desempenho dependia de alcançar menor capacidade térmica com bom isolamento térmico fornecendo uma solução completa para os problemas que impediram muito o progresso nesse século (RIEKE, 2009).

As primeiras tentativas de captar as emissões IR de estrelas começaram praticamente na mesma época do seu “descobrimento”, porém, o uso da astronomia IR teve um começo bem vacilante, pouco uso astronômico foi feito até o século XX. Charles Piazzi Smyth (1819 – 1900) utilizando um termopar detectou a Lua Cheia, Langley usando seu bolômetro estudou a radiação solar em 1881. Lawrence Parsons (1840 – 1908), 4º Conde de Rosse, filho de William Parsons, construtor do telescópio Leviatã, estudou o calor da Lua, chegando muito próximo e Thomas Alva Edison (1847 – 1931), desenvolvendo um tasímetro (instável, parecia funcionar somente nas mãos de seu inventor) para observar o eclipse de 1878 e medir a temperatura da coroa solar (RIEKE, 2009; WALKER, 2000).

No início de 1900, a radiação IR foi detectada em diversas fontes astronômicas, sendo mais aplicadas para estudos planetários. Detectar uma estrela parecia ter sido um desafio para o desenvolvimento e desempenho de novos tipos de detectores. Temos como citar alguns físicos e astrônomos que obtiveram algum êxito no início do século XX, como por exemplo, Edward Leamington Nichols (1854 – 1937) como um dos primeiros a obter uma medição estelar no IR (RIEKE, 2009), utilizando o Radiometer de Crookes, um instrumento contendo palhetas movidas a luz e que evidencia a presença e a intensidade da radiação de luz proveniente de uma fonte. Outros estudiosos se notabilizaram nas melhorias da radiação IR, como William Coblenz (1873 – 1962), Seth Barnes Nicholson (1891 – 1963) e Edison Pettit (1889 – 1962) fizeram trabalhos abordando as questões das temperaturas estelares com medições precisas e sensíveis e análises muito cuidadosas. (RIEKE, 2009). Após muitos avanços, podemos dizer que a radiação IR deu um grande passo para um maior conhecimento do nosso universo. Um grande exemplo é o Telescópio James Webb, lançado em 2021.

5.4 ESPECTROSCOPIA E ASTRONOMIA

A história da espectroscopia na astronomia remonta ao século XVII, quando Isaac Newton (1643 – 1727) investigou a natureza da luz. Utilizando um prisma, Newton demonstrou

que a luz branca do Sol poderia ser decomposta em suas cores componentes (FIG. 14), formando o espectro visível, introduz a palavra espectro, pois ao mover o prisma ligeiramente, a imagem colorida saltou ao redor de uma maneira que o fez pensar em espectros ou fantasmas (MILLER, 1983). Essa descoberta fundamental abriu as portas para a investigação da natureza da luz e da espectroscopia.

A espectroscopia pode ser entendida como uma técnica analítica que envolve o estudo da interação entre a luz (ou radiação eletromagnética) e a matéria. Consiste no estudo da luz através de suas cores componentes que aparecem quando a luz passa através de um prisma ou de uma rede difração (BARROS, ASSIS, LANGHI, 2016). Ela é usada para investigar a maneira como a luz é absorvida, emitida ou dispersa por substâncias, com o objetivo de obter informações sobre a composição química, a estrutura molecular, a concentração de componentes e outras propriedades da matéria. É baseada na ideia de que diferentes substâncias têm propriedades de absorção ou emissão de luz únicas, que resultam em padrões específicos no espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é uma gama contínua de radiações, desde ondas de rádio até raios gama, incluindo a luz visível.

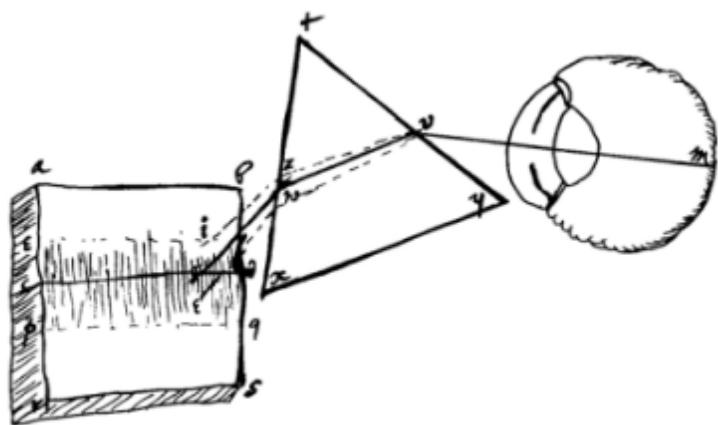


FIG. 14 – Figura de Newton no *Quæstiones* para ilustrar um dos seus primeiros experimentos com prismas

Fonte: MOURA, p. 42 (2008).

William H. Wollaston (1766 – 1828) melhorou o experimento de Newton colocando uma fenda estreita ao invés de um buraco redondo produzindo uma série de linhas espectrais visíveis, observando que o espectro de linha contínua da luz solar foi irregularmente interrompido por um número de linhas escuras que eram paralelas à fenda (THOMAS; 1991).

Aprimorando os estudos, Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826), um cientista alemão que fez contribuições notáveis para o estudo do espectro eletromagnético, estudou essas linhas

escuras observando 576 linhas escuras no espectro solar nomeando as mais fortes da letra A até H (A para a região do vermelho e H para a região do violeta), agora conhecidas como "linhas de Fraunhofer" (FIG. 15) (BARROS et. al., 2016; MILLER, 1983; MILTON, 2009; THOMAS, 1991), correspondem a comprimentos de onda distintos da luz que são absorvidos pela atmosfera do Sol..

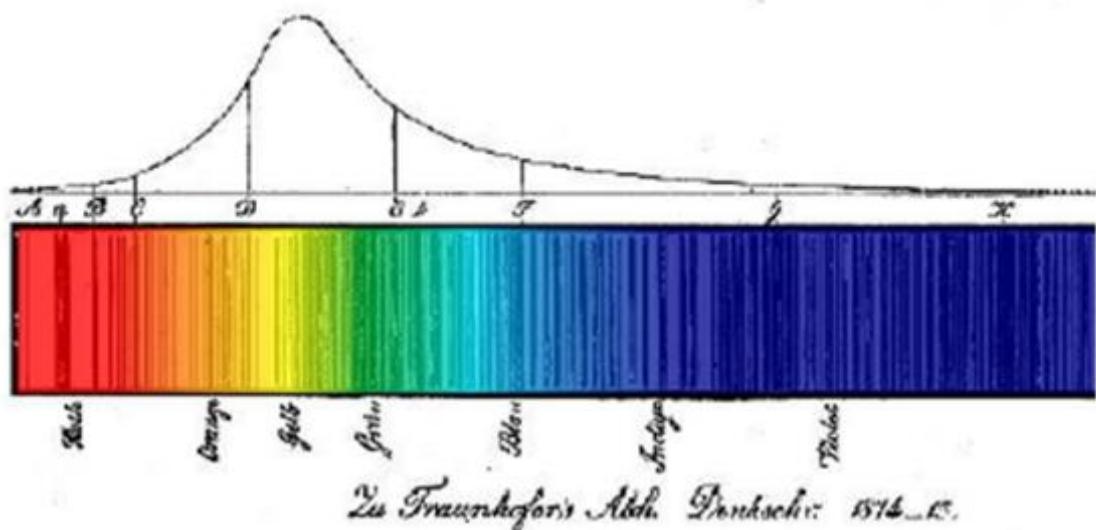


FIG. 15: Desenho do espectro solar feito por Fraunhofer em 1814, mostrando muitas linhas pretas e finas. A curva superior indica a intensidade da luz nas diferentes regiões do espectro

FONTE: DONOSO, p. 10 (sd)

Demorou algum tempo antes de uma explicação satisfatória para a origem das linhas escuras, antes, Anders J. Angstrom (1814 – 1874) conseguiu medir o comprimento de onda das linhas de Fraunhofer e as expressou em unidades que ficou conhecida pelo seu nome, o angstrom (10^{-10}m) (THOMAS, 1991). Jon Herschel, continuou os estudos de seu pai descobrindo a existência das linhas de Fraunhofer na região do IR. Anos depois, foi descrita por Gustav R. Kirchhoff (1824 – 1887), tendo a contribuição de Robert Bunsen (1811 – 1899), uma explicação satisfatória sobre essas linhas, mostraram que as linhas escuras no espectro solar foram causadas pela camada externa mais fria de gases na atmosfera solar, são pretos porque os átomos da parte externa do Sol é relativamente fria e absorve comprimentos de onda específicos da radiação emitida pelo núcleo mais quente (QUACK, 2011). Perceberam e mostraram que as linhas de Fraunhofer são nos mesmos comprimentos de ondas que as linhas atômicas de vários elementos e, utilizando esse novo conhecimento, mostraram que o Sol é composto pelos mesmos elementos que são conhecidos na Terra, descobriram dois novos elementos, o césio e o rubídio, mostraram que cada elemento é único e é preciso somente um

vestígio de material para obtê-lo. Outros pesquisadores, utilizando as técnicas da espectroscopia, descobriram mais elementos, em destaque o hélio, descoberto por Joseph Norman Lockyer (1836 – 1920) no Sol e depois encontrado por William Ramsay (1852 – 1916) na Terra (MILLER, 1991).

Em 1800, William Herschel, descobriu a região IR detectando a existência de calor radiante além da região do visível perto da extremidade vermelha do espectro solar. Em 1801, Johann Wilhelm Ritter (1776 – 1810) detectou a região do ultravioleta (UV), estudando o efeito do espectro visível no composto sensível a luz cloreto de prata observando que ficava escuro quando exposta a luz, escurecendo mais próximo da região do violeta e colocando no espaço sem luz, além do violeta, escureceu ainda mais (THOMAS, 1991). Estes efeitos mostram que a luz se estende além da região visível em ambas as direções.

Pesquisadores, aprofundando nessas técnicas de espectroscopia e analisando os corpos celestes, escrevem três leis, como podemos ver no trabalho de Paganelli (2022, p.15):

- 1) Espectro de emissão contínua: É emitido por um corpo opaco quente podendo ser sólido líquido ou gasoso. Podemos encontrar em nebulosas planetárias constituída por estrelas em seu final estágio de evolução.
- 2) Espectro de emissão discreta: Um gás denso produz espectro de linhas brilhantes, o número e a coloração destas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás. Vemos em nebulosas de emissão, emitem luz devido à excitação causada por fótons de alta energia emitidos por estrelas jovens.
- 3) Espectro de absorção: Se um espectro contínuo passar por um gás com temperatura mais baixa, o gás frio determina a presença de linhas escuras. Um exemplo é o Sol.

Exemplos simples nas bandas de ondas visíveis são mostrados na figura 16 abaixo:

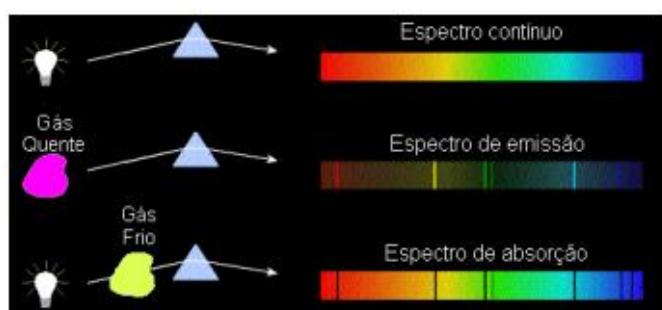


FIG. 16 – Exemplos simples das bandas de espectros

Fonte: Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm>, acesso em janeiro 2025

A astronomia faz uso extensivo da espectroscopia utilizando informações da radiação eletromagnética que são emitidas por corpos celestes. Podemos determinar a distância de uma estrela, usando a paralaxe espectroscópica, obter a luminosidade e, consequentemente, seu tamanho, sabendo que há relação entre a largura das linhas espectrais e a gravidade superficial, detectar o movimento relativo de uma galáxia conhecendo o efeito Doppler. A análise espectral permitiu aos astrônomos a elaboração e aperfeiçoamento da classificação das estrelas em determinadas categorias (O-B-A-F-G-K-M)⁶, de acordo com a temperatura superficial da estrela.

5.5 RÁDIOS TELESCÓPIOS

Utilizando o espectro da luz para a compreensão do universo, abrangendo desde a luz visível até as ondas de rádio, passando por raios infravermelhos, ultravioleta, raios-X e raios gama. No entanto, a luz visível é apenas uma pequena parte dessa vasta gama de radiação eletromagnética. Com o desenvolvimento da radioastronomia, os cientistas passaram a observar o cosmos de uma maneira completamente nova, detectando sinais provenientes de regiões obscuras do espaço, invisíveis aos telescópios ópticos tradicionais. Os radiotelescópios desempenham um papel crucial nessa jornada, captando ondas de rádio emitidas por estrelas, galáxias, buracos negros e outros fenômenos cósmicos. Sua história está entrelaçada com as grandes descobertas da astronomia, impulsionando o avanço do conhecimento científico e tecnológico.

De acordo com Martin (2020), a radioastronomia surgiu no início do século XX, quando pesquisadores começaram a investigar a possibilidade de que o universo pudesse emitir ondas de rádio detectáveis da Terra. O marco inicial ocorreu em 1931, quando Karl Jansky, um engenheiro de telecomunicações, identificou um sinal de rádio vindo do centro da Via Láctea enquanto estudava interferências na comunicação transatlântica. Essa descoberta revelou uma nova maneira de explorar o cosmos, mostrando que fenômenos invisíveis a olho nu poderiam ser captados por meio de ondas eletromagnéticas de baixa frequência. A partir dessa

⁶ A classificação espectral das estrelas segue o sistema O-B-A-F-G-K-M, baseado na temperatura superficial e nas características espectrais. Essa sequência vai das estrelas mais quentes e massivas (O) às mais frias e menos massivas (M). Esse sistema, conhecido como Classificação de Harvard, permite agrupar as estrelas de acordo com os elementos químicos que dominam seus espectros e sua radiação emitida. (CARROLL, OSTLIE, 2017).

constatação, os primeiros radiotelescópios foram construídos, abrindo caminho para o desenvolvimento da radioastronomia como um campo científico.

Segundo De Souza Monteiro et al. (2021), os radiotelescópios funcionam de maneira distinta dos telescópios ópticos, pois não dependem da captação de luz visível, mas sim da recepção de ondas de rádio emitidas por corpos celestes. Esse método possibilitou descobertas revolucionárias, como a existência dos pulsares, estrelas de nêutrons altamente magnetizadas que emitem feixes de ondas de rádio de maneira periódica. Além disso, os radiotelescópios foram fundamentais para a detecção da radiação cósmica de fundo, uma das principais evidências do Big Bang, e para a identificação de quasares, objetos extremamente brilhantes situados em galáxias distantes.

Fernández, De Abajo Castrillo e Llamas (2023) ressaltam que os radiotelescópios não são apenas ferramentas científicas, mas também construções monumentais que interagem com a paisagem onde estão inseridos. Muitos desses equipamentos estão localizados em regiões remotas para minimizar interferências humanas, garantindo maior precisão na captação de sinais cósmicos. Projetos como o Very Large Array (VLA), nos Estados Unidos, e o Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), no Chile, demonstram a grandiosidade desses instrumentos. Além disso, os radiotelescópios terrestres têm sido complementados por projetos espaciais, como o Telescópio Espacial James Webb, que permite observações ainda mais detalhadas do universo.

De acordo com Santos et al. (2024), o avanço da radioastronomia não se limita apenas à observação do espaço, mas também impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias. Um exemplo disso é o GNU Radio, um software que possibilita simulações e experimentos na captação e análise de sinais de rádio, permitindo que pesquisadores e estudantes testem conceitos sem a necessidade de equipamentos físicos de grande porte. Além disso, a radioastronomia tem influenciado áreas como a engenharia de telecomunicações, a meteorologia espacial e até mesmo a medicina, com a adaptação de técnicas de captação de sinais para exames de imagem, como a ressonância magnética.

Os radiotelescópios também desempenham um papel fundamental na busca por vida extraterrestre. Segundo Martin (2020), projetos como o SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) utilizam radiotelescópios para captar possíveis sinais de civilizações alienígenas. A premissa é que, se outras formas de vida inteligentes existirem, elas poderiam estar emitindo ondas de rádio, seja intencionalmente ou como um subproduto de suas atividades tecnológicas.

Apesar de ainda não haver evidências concretas de vida além da Terra, as pesquisas continuam, impulsionadas pelos avanços na captação e análise de sinais de rádio.

Segundo De Souza Monteiro et al. (2021), os radiotelescópios enfrentam desafios técnicos e operacionais, especialmente em relação à interferência gerada por sinais terrestres, como redes de comunicação e satélites. Para minimizar esse problema, muitas nações estabeleceram zonas de proteção para observatórios radio astronômicos, restringindo transmissões de rádio próximas a esses locais. Além disso, o processamento de dados captados por radiotelescópios exige algoritmos avançados e inteligência artificial, uma vez que o volume de informações gerado é gigantesco e precisa ser analisado de forma eficiente.

Fernández, De Abajo Castrillo e Llamas (2023) destacam que a radioastronomia também tem impulsionado colaborações internacionais, pois muitos projetos exigem esforços conjuntos entre diversas nações. O Square Kilometre Array (SKA), por exemplo, é um dos maiores empreendimentos científicos da história, sendo construído na Austrália e na África do Sul. Quando concluído, esse radiotelescópio será capaz de captar sinais extremamente fracos de bilhões de anos atrás, ajudando a responder questões fundamentais sobre a origem e evolução do universo.

Os avanços na radioastronomia mostram que a exploração do cosmos vai além da luz visível, ampliando a compreensão da estrutura do universo. A detecção de ondas de rádio provenientes de galáxias distantes, buracos negros e fenômenos cósmicos extremos revelou uma nova perspectiva sobre a formação dos astros e os eventos de alta energia que ocorrem no espaço profundo. Esse conhecimento tem implicações diretas para a cosmologia, auxiliando na formulação de modelos mais precisos sobre a expansão do universo e a composição da matéria escura.

De acordo com Santos et al. (2024), a radioastronomia também tem sido uma importante ferramenta educacional, aproximando estudantes da ciência por meio de projetos de extensão e softwares de simulação. O uso de radiotelescópios em programas acadêmicos e escolas tem demonstrado grande potencial para despertar o interesse pela astronomia e pelas ciências exatas. Além disso, a possibilidade de operar radiotelescópios remotos, acessíveis via internet, tem permitido que estudantes de diferentes partes do mundo participem ativamente da pesquisa científica.

Os radiotelescópios, portanto, representam uma das maiores conquistas da humanidade no campo da astronomia, permitindo a exploração de regiões do universo que antes eram completamente desconhecidas. Seu impacto vai além da pesquisa acadêmica, influenciando o desenvolvimento tecnológico, a educação científica e a colaboração internacional. À medida que novos telescópios são construídos e técnicas mais avançadas de análise de dados são desenvolvidas, a radioastronomia continuará a revelar segredos cósmicos, expandindo os limites do conhecimento humano sobre o espaço e o tempo.

6 RESULTADOS

Este capítulo busca apresentar os resultados alcançados em cada etapa do caminho investigativo desenvolvido durante a aplicação do produto educacional associado a esta dissertação.

O trabalho foi dividido em duas etapas, feitas com a mesma turma, utilizando as aulas do itinerário formativo, na disciplina Laboratórios Criativos, que consistiam em 2 horas-aulas semanais. A primeira consiste em uma análise da relação entre arte e ciência, destacando como a evolução das observações astronômicas está conectada a diversas áreas do conhecimento. Essa parte do projeto, ao ser concluída, foi apresentada na 5^a Conferência Latino-Americana do IHPST-LA 2023 (International History, Philosophy, and Science Teaching Group).⁷

Nessa fase, discutimos a interação entre arte e ciência na região de Flandres durante os séculos XVI e XVII, abordando a hipótese de David Hockney (1937–)⁸ sobre o uso de instrumentos ópticos na pintura a partir de meados do século XV

Mostramos, ainda, como a câmara escura, as lentes e o telescópio se desenvolveram nesse mesmo período e região, ampliando as interconexões entre ciência e arte (FIGs. 17 e 18).



FIG. 17 – Alunos utilizando as câmaras escuras

FONTE: Autor

⁷ https://www.ufrgs.br/ihpstla2023/wp-content/uploads/2023/10/Anais_IHPST_2023.pdf, p. 180, acesso janeiro, 2025.

⁸ <http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/42-volume-15-n-1-maio?download=375:espelhos-lentes-e-pintura-uma-proposta-de-atividade-baseada-na-obra-de-david-hockney>, visto em janeiro de 2025.



FIG. 18 – Alunos utilizando as câmaras escuras

FONTE: autor

Além disso, exploramos as primeiras observações astronômicas feitas com lunetas, incluindo as representações de astrônomos como Thomas Harriot (1560–1621) e Galileu Galilei (1564–1642) (FIG. 19), e a evolução dos telescópios, desde os refratores e refletores até os grandes telescópios de William Herschel (1738–1822), incluindo sua representação da Via Láctea (FIG. 20).

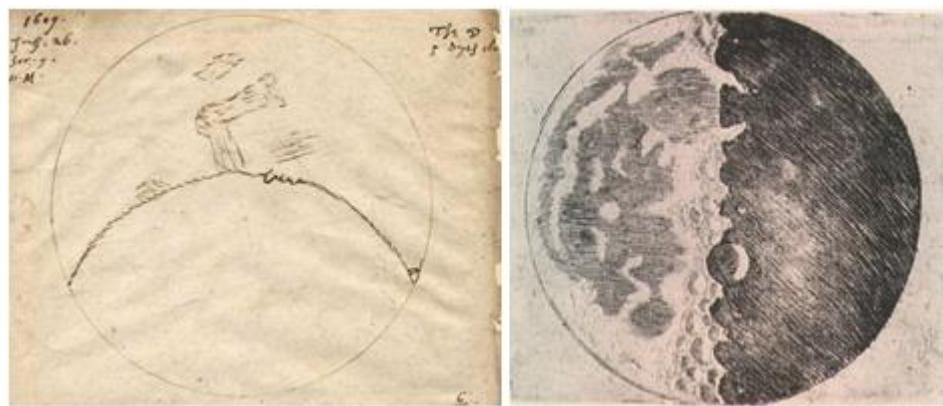


FIG. 19 – Luas representadas por Harriot (1609) e Galilei (1610)

FONTE: REIS, p. 126 (2017)

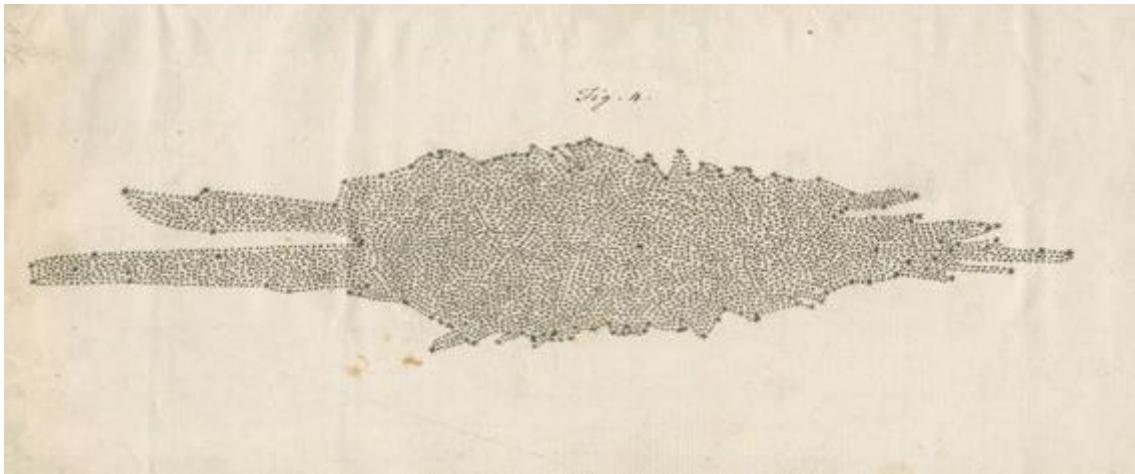


FIG. 20 – Sobre a construção dos céus, de William Herschel

FONTE: Disponível em <<http://www.astro.iag.usp.br/~jacques/cap1.pdf>>, acesso em janeiro 2025

Para motivar a continuação do estudo, levantamos a seguinte questão:

“Com as mudanças nos telescópios, cada vez maiores e capazes de observar novas partes do Universo, como os astrônomos poderiam ir além? Seriam as observações da Via Láctea o limite? Construir telescópios maiores seria a solução?”.

Muitos alunos responderam afirmativamente, sugerindo que a construção e o aprimoramento das lentes poderiam permitir que pudéssemos ver “mais longe”. No entanto, perceberam que seria necessário representar melhor o que estava sendo observado, sem depender apenas de desenhos manuais.

Nesse momento, introduzimos o surgimento da fotografia, mostrando como a arte e a ciência poderiam colaborar para representar com mais precisão o que os astrônomos observavam. Apresentamos as primeiras imagens da Lua capturadas por John W. Draper (1811–1882), que, em 1852, utilizou um daguerreótipo para fotografar a Lua (FIG. 10).

Introduções a partir destas discussões, demos início a segunda e a principal parte do produto, a criação de redes histórica para explorar ondas eletromagnéticas além do espectro visível, embasada na História da Astronomia.

Para analisar o discurso dos estudantes e identificar elementos que indiquem o desenvolvimento de habilidades relacionadas à compreensão da natureza da ciência (NdC), utilizou-se uma abordagem qualitativa. Para favorecer a construção do conhecimento, essa sequência didática foi estruturada de modo que, a cada nova fase, os estudantes fossem estimulados a aprofundar sua pesquisa historiográfica, explorando conexões entre seus temas e

a introdução das ondas eletromagnéticas não visíveis e da fotografia na astronomia. A definição dos grupos, incluindo os atores e temas, desempenhou um papel essencial no desenvolvimento dessas habilidades, especialmente porque os atores selecionados não são comumente associados a esse contexto das ondas eletromagnéticas não visíveis e fotografia. Assim, a investigação das conexões entre os temas, os atores e o evento histórico em análise revelaram relações frequentemente ocultas nos livros didáticos de física.

Durante a coleta de dados, as falas dos estudantes foram registradas por meio de gravações ou transcrições de suas participações em atividades científicas, entrevistas e questionários. O contexto das falas foi essencial para interpretar corretamente as conexões feitas entre o discurso dos estudantes e as atividades em que estavam envolvidos. Em alguns casos, estudantes que, na primeira etapa, relataram que seus atores não possuíam relação com o desenvolvimento das ideias das ondas eletromagnéticas, nas etapas seguintes, trouxeram uma gama de relações enriquecidas por argumentos relativos à NdC, demonstrando a evolução de seu pensamento crítico.

Na análise qualitativa, como a provisoredade do conhecimento científico, a experimentação e o impacto social da ciência. Um exemplo seria um estudante mencionar que "as descobertas científicas podem mudar com novas evidências", o que indicaria um entendimento da provisoredade do conhecimento. A análise buscou não apenas identificar a frequência de certos temas, mas também a profundidade com que os estudantes compreendiam esses conceitos, revelando avanços, mal-entendidos e concepções alternativas.

A análise dos trabalhos produzidos pelos estudantes revelou a crescente familiaridade deles com as diversas relações e influências que um advento científico e tecnológico, como as ondas eletromagnéticas, pode estabelecer com outras áreas da sociedade. Esse processo permitiu identificar como os estudantes estavam fazendo conexões entre os impactos históricos e sociais dessas inovações tecnológicas. Além disso, a análise de discurso ajudou a compreender as estruturas e valores subjacentes nas falas, revelando como os estudantes internalizavam os aspectos da ciência.

A interpretação dos resultados mostrou evidências claras de evolução no entendimento dos estudantes sobre a ciência, refletidas tanto em discussões em grupo quanto em respostas individuais. Isso também permitiu avaliar como a abordagem pedagógica impactou o desenvolvimento dessas habilidades, indicando possíveis ajustes para aprimorar ainda mais a

compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência e suas inter-relações com o avanço científico e tecnológico.

Em seguida, iremos explorar os resultados das etapas de pesquisa historiográfica, das reuniões, da produção dos trabalhos, bem como da construção e análise das redes históricas. Os resultados apresentados foram extraídos dos relatórios das reuniões e dos discursos registrados nos trabalhos produzidos pelos estudantes, assim como no trabalho que documenta a aula dedicada à construção das redes.

6.1 PRIMEIRO ENCONTRO

O primeiro encontro com o grupo consistiu em uma apresentação sobre a Análise de Redes Sociais (ARS), onde foi ministrada uma aula com o uso de slides mostrando o que seriam e como se formam essas redes. Foi comentado, primeiramente, o que entendemos sobre redes, mostrando alguns exemplos como mostrado nos capítulos anteriores e outros mais, utilizando filmes conhecidos (Senhor do Anéis: O Retorno do Rei e Piratas do Caribe: A Maldição do Pérola Negra) (FIGs.: 21 e 22) nos quais mostramos as ligações entre os atores principais e os demais personagens dos filmes. Foi mostrado também uma rede que compara as grandes empresas do ramo de processadores como a Apple, Google, Intel e outras empresas com as pessoas ligadas a estas empresas, vimos que existem pessoas que estão ligadas a duas ou três empresas ao mesmo tempo.



FIG 21: Rede montada sobre o filme Piratas do Caribe: A Maldição do Pérola Negra.

FONTE: FONTE: <http://moviegalaxies.com>, acesso em abril 2024.

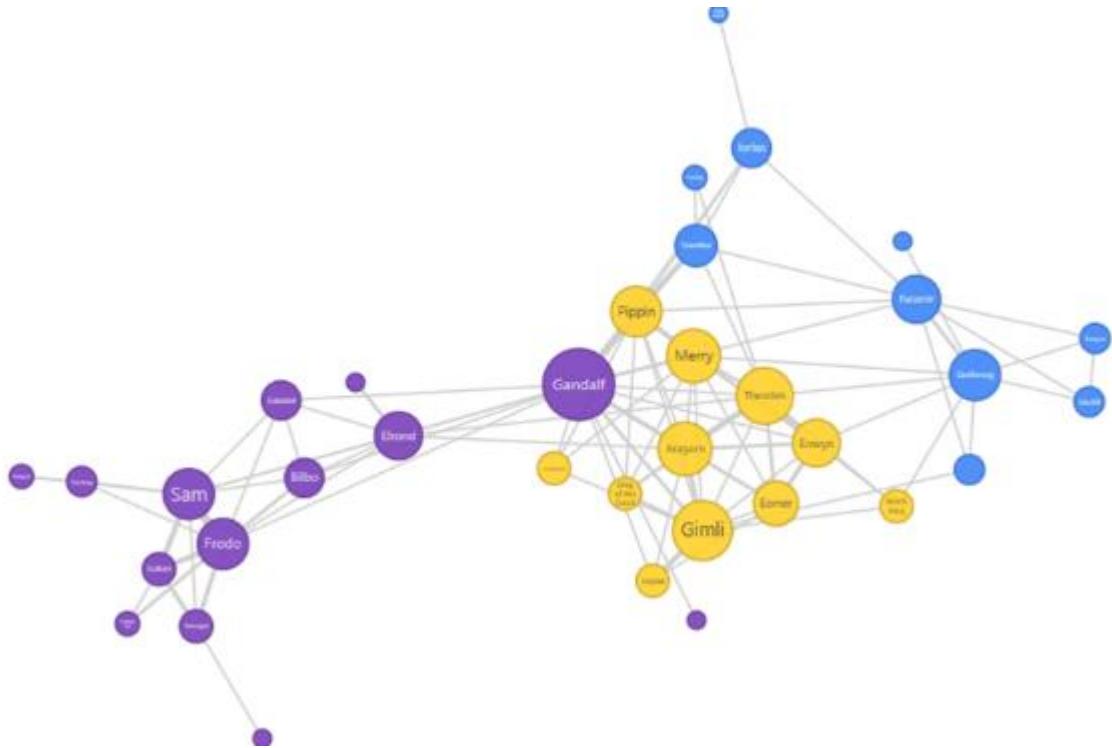


FIG 22: Rede montada sobre o filme Senhor dos Anéis – o Retorno do Rei

FONTE: Disponível em <<http://moviegalaxies.com>>, acesso em abril 2024.

Após essa primeira incursão, definimos o que são redes mostrando a diferença entre as ciências sociais, onde o indivíduo é visto como um conjunto de atributos que causa comportamentos, avaliando os atributos individuais e como correlacionam-se entre si e a ARS, que estuda as relações entre um conjunto de atores com vista a detectar modelos de interação social, levando a entender que a vida social é relacional.

Posteriormente, falamos da origem das redes, passando desde a história das pontes de Königsberg (BARABÁSI, 2009), da ilha de Kneiphof ligada pelas pontes, encontrada na carta de Leonhard Euler de nove de março de 1736. Comentamos sobre os estudos sobre sociometria analisados por Jacob Levi Moreno (1889 – 1974) nos anos 1930 que a partir da análise de grupos e relacionamento entre indivíduos buscando entender as motivações individuais com o apoio da análise de formatos de grupos, por meio de suas relações, sendo possível identificar a formação de rede familiar e de rede no ambiente escolar. Após, mostramos os trabalhos feitos por Paul Erdős (1913 – 1996) e Alfréd Rényi (1921 – 1970) que publicaram em 1959 o trabalho On Radom Graphs (Em Grafos Aleatórios) discutindo a relação da aleatoriedade na formação das conexões em uma rede, o trabalho de Stanley Milgram (1933 – 1984) usualmente conhecido como o “Experimento de Milgram” de 1967, o que nos leva ao trabalho de Duncan J. Watts

(1971 –) que em 2003 publicou o livro “Six Degrees: The New Science of Networks”, mostrando que, em média, precisamos de 6 passos para nos conectarmos a qualquer pessoas no mundo. Mostrando atualmente que o termo Análise de Redes Sociais (ou ARS) é usado para se referir à análise de qualquer rede, quando as relações se dão entre um único tipo de agentes ou coisas (pessoas, funções, organizações), ou no máximo dois tipos (por exemplo, as pessoas e os grupos a que pertencem).

Começamos a falar como são montadas as redes, comentando sobre os tipos de redes, as centralizadas, onde todos os nós são conectados com uma autoridade única, as descentralizadas, onde nenhum servidor controla os nós e todos são entidades individuais, as distribuídas, onde cada nó é independente e interconectado com todos os outros e a ego, onde a estrutura é desenhada a partir de um indivíduo central. Após, começamos a mostrar como analisamos essas redes, comentando sobre o que seriam os nós (hubs), os objetos, indivíduos, pessoas, o elemento de observação em análise, chamados de atores que podem ser humanos (pessoas) e não humanos (instituições, universidades) e como eles são medidos, os laços, que seriam as conexões, o elo entre os elementos, podendo ser fortes (com pessoas mais próximas) e os fracos (pessoas fora do círculo usual de convivência) e se são direcionadas ou não direcionadas. Nesse momento, pedimos para os alunos se atentarem em suas pesquisas como identificar os graus de entradas e saídas dos nós, procurarem por: pessoa muito retransmitida por publicar um texto engajador; autor muito compartilhado por publicar novidades, conteúdos interessantes; menções, indicações, marcações; movimentos de citações em massa; pessoa muito engajada, enviando mensagens a outras pessoas indicando o conteúdo; leitores mencionando e indicando outros; pessoas em conversas em torno de eventos; respostas entre pessoas.

6.2 SEGUNDO ENCONTRO

Nesse encontro foram divididos os grupos e apresentar os atores que seriam estudados. Os alunos foram divididos em 7 equipes de 4 estudantes em cada. Foi deixado a critério deles as escolhas dos atores a serem estudados, que consistiam em Caroline Herschel, Joseph Nièpce, John W. Draper, Samuel P. Langley, Edward Nichols, Willian Wollaston e Karl Jansky. Definiremos aqui por G1 o grupo que pesquisou sobre Caroline Herschel, G2 o grupo que pesquisou sobre Joseph Nièpce, G3 o grupo que pesquisou sobre John W. Draper, G4 o grupo

que pesquisou sobre Samuel P. Langley, G5 o grupo que pesquisou sobre Edward Nichols, G6 o grupo que pesquisou sobre Willian Wollaston e G7 o grupo que pesquisou sobre Karl Jansky.

No primeiro momento, eles sentaram com seus respectivos colegas do grupo e começaram a definir os temas que seriam pesquisados e os rumos a seguirem com a orientação do professor. Após essa pequena reunião, os levamos para sala de informática onde poderiam ter acesso a internet e realmente começarem a pesquisar sobre os autores que lhes foram dados. Começaram a navegar e pegar tudo o que viam primeiramente, procurando conhecer os devidos atores. Aqui percebemos que teriam um pouco de dificuldade, começaram com os primeiros sites que aparecem na pesquisa do Google, inclusive o site do Wikipedia. Porém, como já estávamos no final da aula, só comentamos que precisariam refinar suas buscas e aprimorar o que estavam estudando, procurar por sites confiáveis, sites universitários e artigos. Como tarefa, quem tinha acesso à internet (tentamos deixar pelo menos um estudante em cada grupo que tinha acesso à internet em sua casa), a pesquisa mais aprimorada sobre seus atores a fim de orientar os demais colegas nos próximos encontros.

6.3 TERCEIRO E QUARTO ENCONTRO

Após uma semana da divisão dos grupos e seus devidos atores a serem pesquisados, nos reunimos novamente diretamente na sala de informática da escola. Os alunos começaram a me mostrar o que tinham separado, sempre questionando a dificuldade de encontrar sites que comentavam sobre suas pesquisas, a maioria continuava com os primeiros links que apareciam na primeira página do site de pesquisa da Google, não encontrando digitavam outras palavras e focavam nesses primeiros links. Comentamos sobre a pesquisa em artigos, sites universitários ou seguir as referências desses sites.

Alguns alunos vieram com nomes e assuntos duvidosos, de sites duvidosos, de muitas Fake News. Os foram orientados a continuar a pesquisar e observar se esse mesmo nome ou assunto surgiria em outros sites ou artigos. Neste ponto, chamamos a atenção dos alunos e comentamos sobre como fugir dessas notícias falsas, sempre procurando por novos artigos ou sites, buscando informações confiáveis para serem repassadas. Instigamos os alunos a pesquisarem em sites acadêmicos, onde o próprio site da Google oferece, incitamos a procura em sites de língua inglesa. Muitos reclamaram de não dominar perfeitamente a língua inglesa, mas, foi ensinado como converter para a língua portuguesa um artigo em PDF.

Na semana seguinte, ocorreu o quarto encontro, onde foi percebido uma melhora nas pesquisas, com muitas novas referências e inclusão de artigos. Aqui podemos entender a necessidade da quantidade de reuniões, os estudantes levam um tempo para entender a proposta e conseguir se adaptar as pesquisas e fugir do tradicional. A ideia dessa reunião foi saber como estava o andamento das pesquisas e eventuais correções para que na próxima semana começassem a elaborar seus trabalhos para a apresentação.

6.4 QUINTO E SEXTO ENCONTRO

Depois de mais uma semana, os próximos encontros serviram para ajustes nas pesquisas, início e finalização das construções dos slides para a apresentação. Muitas dúvidas ainda estavam surgindo sobre o que eles deveriam e poderiam acrescentar nos seus trabalhos, dúvidas que tiramos em conjunto com cada equipe, relembrando para eles sempre terem certeza sobre o que estavam pesquisando e procurar por fontes confiáveis. Nessas conversas, um integrante de uma equipe comentou que em suas pesquisas estavam aparecendo nomes dados a outros grupos, o que foi confirmado por mais grupos, começaram a perceber que as pesquisas se interligavam e com uma rápida conversa com todos, notaram como realmente funciona a montagem de redes históricas percebendo que a ciência não se constrói sozinha, que gênios isolados são somente uma questão historiográfica ultrapassada e que precisamos sempre trabalhar em conjunto. Cabe aqui uma ressalva dentro da construção de uma rede histórica, os alunos levaram em torno de 5 encontros, ou se pensarmos, 5 semanas de pesquisas para perceber que os assuntos estudados estavam interligados, que os atores que procuravam tinham relação uns com os outros. Então, vemos a necessidade, para a análise de uma rede social, de um determinado tempo.

Os alunos começaram a perceber, também, que os atores pesquisados levavam a nomes mais conhecidos e que essas pessoas realmente faziam a ligação entre um ator e outro, como por exemplo, o grupo G1, que tinha como principal a Caroline Herschel, as pesquisas levaram ao nome de William Herschel, seu irmão e um dos primeiros a relatar sobre a existência de ondas no espectro IR e o G6, que pesquisou sobre Willian Wollaston, também ligado aos estudos das ondas IR e, consequentemente, surgiu o nome de William Herschel. Já o grupo G2, que seu ator era Joseph Nièpce, percebeu que o nome que mais aparecia era Louis Jacques Mandé Daguerre, cujo noticiou a invenção do daguerreótipo e também John Herschel, filho de William Herschel. Então, voltamos a salientar a necessidade dessa quantidade de encontros, para que os

alunos consigam assimilar realmente sobre o que estão pesquisando e aprendendo na montagem dessas redes.

O sexto encontro foi para finalizar a construção dos slides e tirar as últimas dúvidas.

6.5 SÉTIMO ENCONTRO

Neste encontro foram apresentados os trabalhos feitos pelos grupos que serão apresentados cada relação estabelecida, juntamente com as redes construídas pelos mesmos. Cada equipe teve 15 minutos para a apresentação, o qual iremos descrever seus resultados.

G1 – Ator central: Caroline Herschel

O grupo começou relatando a história de Caroline Herschel, seu nascimento e como começou a sua brilhante carreira como autodidata que, juntamente com seu irmão William Herschel, catalogou diversos cometas, uma galáxia e nebulosas. Comentaram sobre como ela começou a fazer as observações, primeiramente por lazer utilizando um telescópio newtoniano no qual pode detectar vários objetos astronômicos, incluindo uma galáxia elíptica em direção de Andrômeda e oito cometas.

Relatou-se ser a primeira mulher a receber um salário devido às suas contribuições, em 1878, ganhava anualmente 50 libras (hoje, seria o equivalente a quase R\$400.000,00). Ganhou muitos prêmios, incluindo a medalha de ouro da Royal Astronomical Society (1828), a medalha de ouro da Ciência do Rei da Prússia (1846) e, com seu irmão, descobriu e discrepâncias no catálogo estelar utilizado na época feito por John Flamsteed, ficando a cargo dela corrigir os erros, sendo publicado na Royal Society em 1798.

Relataram que quando William começou a se interessar por astronomia, Caroline apoiou a sua mudança de carreira de músico para astrônomo. Em suas memórias, ela escreveu

"Eu não fiz nada por meu irmão a não ser o que um cachorrinho bem treinado faria, o que significa que eu fazia tudo o que ele me mandava". (HOSKIN, 2003, p. 44, tradução nossa).

Mas, seguindo a trajetória de seu trabalho, ficou tão interessada por astronomia quanto William. Com isso, acabou se tornando uma astrônoma de renome. William afirmava que Caroline atuava bastante em suas pesquisas, principalmente no trabalho relacionado a telescópios de alta performance. Ela aprendeu a copiar catálogos astronômicos que William

emprestava. Ela também aprendeu a gravar, resumir e organizar as observações astronômicas do irmão.

Ajudou na criação e nos estudos do sobrinho, filho de William, John Herschel. Mostrando as relações que tinha com diversas pessoas e associações da época que podemos observar na figura 23 que mostramos abaixo.

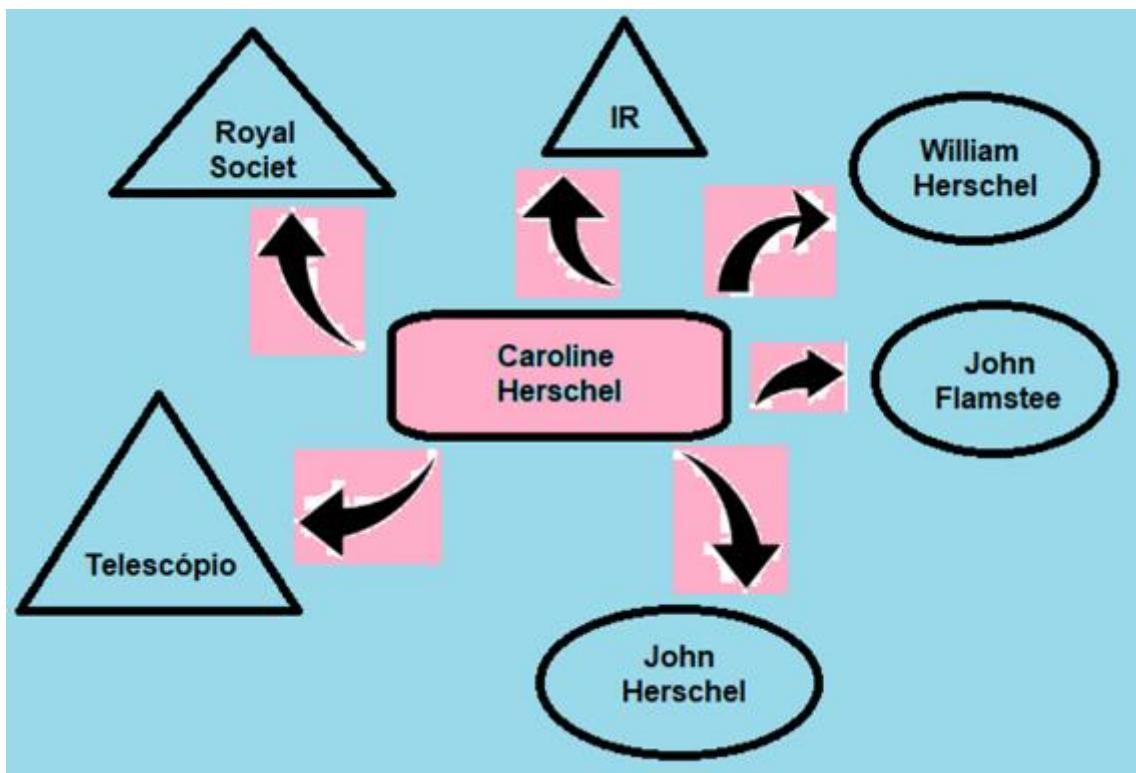


FIG. 23 – Rede EGO Caroline Herschel

Fonte: Grupo G1

G2 – Ator Central: Joseph Nièpce

Começaram comentando sobre a vida de Nièpce e sua relação com a fotografia e estudos com a câmara escura, relatando sobre um dos responsáveis pelo surgimento da fotografia. Teve uma relação de invenções com seu irmão, Claude Nièpce (1763 – 1828), no qual desenvolveram um motor a combustão interna, o Pyréolophore, mas seu irmão morreu em uma viagem ao Reino Unido, buscando patrocínio para este motor. Outro personagem da sua família que o ajudou foi seu primo, Nièpce de Saint-Victor (1805 – 1870), que o ajudou a aperfeiçoar o processo de heliografia, um processo de impressão que utiliza a luz para transferir imagens para papel, o início da fotografia.

Trouxeram Augustin Lemaître (1768 – 1848) para a apresentação, relatando que este auxiliou na realização de imagens gravadas em cobre pela técnica de água-forte e na obtenção de imagens com betume. Nièpce o apresentou à heliografia e à técnica de impressão de imagens fotográficas em papel, combinando a transferência de um positivo fotográfico para um verniz fotossensível e entalhe. Colaboraram assim no desenvolvimento de diversos trabalhos utilizando esta técnica. Comentaram, também, a relação com Vincent Louis Chevalier (1770 – 1841), ele começou a atrair uma clientela que valorizava a qualidade e a precisão, incluindo cientistas e artistas da época. Foi essa reputação que eventualmente levou Nièpce a procurá-lo, por meio do seu primo, para um projeto que viria a ser um marco na história da fotografia. Chevalier ofereceu lentes estabelecendo padrões de qualidade e eficiência em ótica fotográfica. Mesmo sendo para câmeras tão simples.

Se o encontro com Nièpce foi um marco na carreira de Chevalier, o contato com Louis Jacques Mandé Daguerre foi outro momento valioso. Daguerre, já conhecido por suas contribuições à diorama (uma forma de representação visual), estava em busca de maneiras de aprimorar a captura de imagens, em registros duradouros. Daguerre estava trabalhando em um processo que mais tarde seria conhecido como daguerreótipo, uma das primeiras formas práticas de fotografia. Ele sabia que precisava de lentes de alta qualidade. Chevalier, com sua especialidade em ótica, foi a escolha óbvia para colaborar em mais esse projeto inovador. Mesmo após a morte de Nièpce, Daguerre continuou seus estudos e apresentou o daguerreótipo que se tornou um método popular de captura de imagens e as lentes de Chevalier foram uma parte integral desse sucesso.

Posteriormente, John Draper, utilizando um daguerreótipo, fotografou a Lua pela primeira vez.

Na figura 24, apresentamos a rede EGO montada pela a equipe.

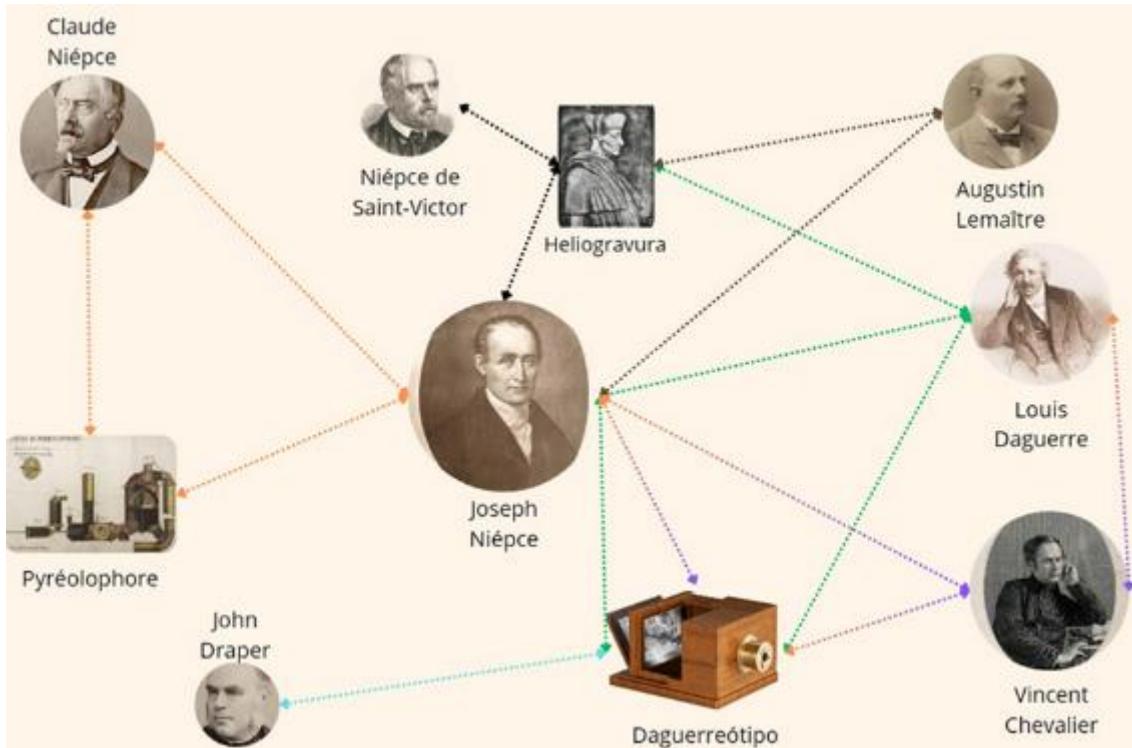


FIG. 24 – Rede EGO Joseph Nièpce

Fonte: Grupo G2

G3 – Ator Central: John W. Draper

O grupo focou seu trabalho na foto feita por Draper da Lua, em 1840, comentando a relação entre ele e a fotografia e o fascínio pela astronomia. Falaram um pouco sobre sua história, inclusive de seu casamento com uma brasileira, Antonia Caetana de Paiva Pereira Gardner (1814 – 1870), filha de Daniel Gardner, médico da corte de João VI de Portugal e Carlota Joaquina de Bourbon.

Comentaram sobre a produção feita por ele de um daguerreótipo da lua com sucesso. Em 16 de março de 1840, ele escreveu em seu caderno de laboratório: “Esta noite expus uma placa preparada aos raios lunares que haviam sido transmitidos por uma lente dupla convexa”. Nesta placa (FIG. 25), uma vinheta em forma de halo circunda a imagem da lua, criando uma forma crescente que evoca as fases lunares.



FIG. 25 – Imagem do daguerreótipo da lua, no trabalho do grupo G3

Fonte: Grupo G3

Comentaram, também, da relação que teve com o daguerreótipo e com a astronomia, mostrando a ligação com Louis Daguerre e a fotografia. Relataram sobre a casa de Draper, conhecida Observatório Henry Draper, em Hastings (Inglaterra), sendo designada como Patrimônio Histórico Nacional.

Abaixo, mostramos na figura 26, a rede montada pela equipe.

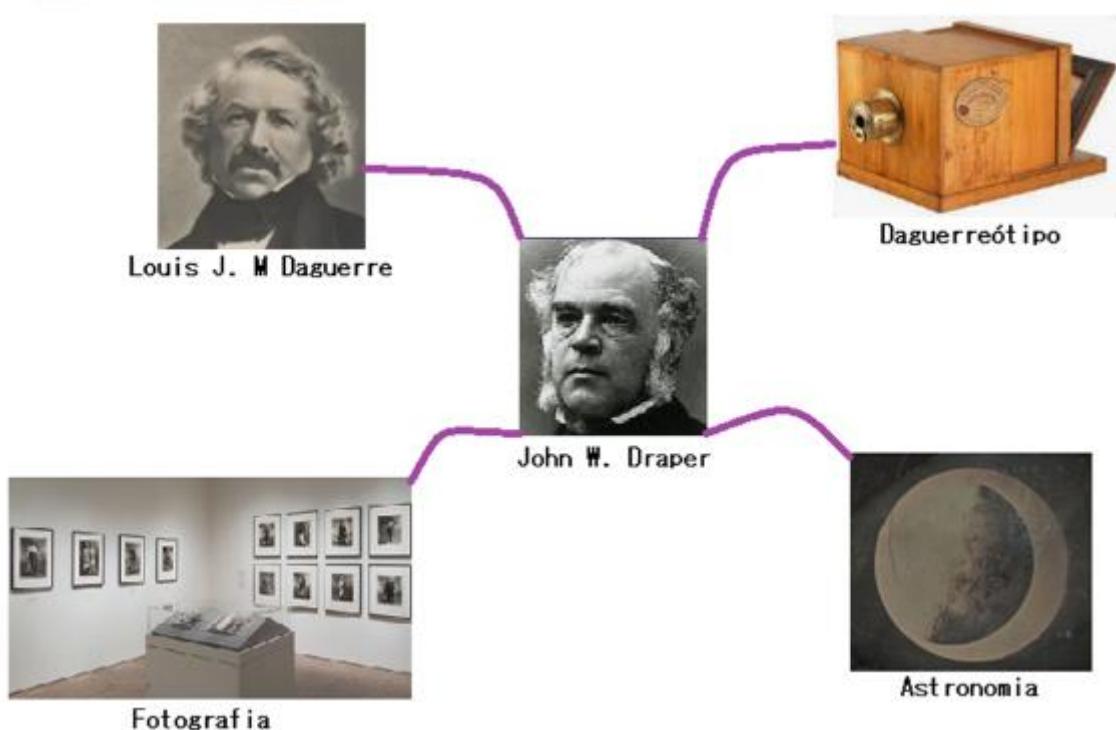


FIG. 26 – Rede EGO John W. Draper

Fonte: Grupo G3

G4 – Ator Central: Samuel P. Langley

O grupo trabalhou com a história da espectroscopia, desde as descobertas da relação entre a eletricidade e magnetismo feita por Hans Oersted (1777 – 1851), as contribuições de Gustav Kirchhoff (1824 – 1887) na espectroscopia e emissão de radiação dos corpos negros, James C. Maxwell (1831 – 1879), Ludwig Boltzman (1844 – 1906) e Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) e suas contribuições para o eletromagnetismo, teorias atômicas e as demonstrações sobre radiação eletromagnética, William Herschel com a construção de telescópios e a relação com a radiação infravermelha, levaram Langley aos estudos das medidas da radiação dos corpos negros usando um bolômetro inventado por ele mesmo, contribuindo para os avanços do espectro infravermelho, sendo base para a Lei do Deslocamento de Wien, de Wilhelm Wien (1864 – 1938).

Podemos observar a sequência seguida pelo grupo na figura 27 abaixo.



G5 – Ator Central: Edward Nichols

O grupo começou, rapidamente, apresentando seu ator, falando de sua história e trajetória. Posteriormente, relataram sobre seu trabalho e sua contribuição para a espectroscopia, em especial a radiação IR, pela determinação precisa da constante de Boltzmann, também conhecido por suas pesquisas sobre refração e dispersão de luz em

substâncias líquidas e sólidas, bem como por seu trabalho em eletricidade atmosférica e descargas elétricas. Mostraram a relação com Albert A. Michelson (1852 – 1931) e seus trabalhos com a luz, depois, construindo um espectroscópio aprimorado para o estudo da radiação IR, que permitia análises mais precisas das características espectrais dos materiais nessa região do espectro, permitindo um estudo mais detalhado dessa radiação. Mostraram a relação com William Herschel, a radiação IR, Isaac Newton, Joseph von Fraunhofer, Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen, mostrando que apesar de ter feito suas próprias pesquisas, essas pesquisas foram sendo aprimoradas das ideias de outros cientistas. Comentaram como, posteriormente, cientistas como William Crookes, Lord Rayleigh, John William Strutt e William H. Pickering, entre outros, fizeram avanços significativos na espectroscopia, contribuindo para seu desenvolvimento como uma ferramenta essencial em várias disciplinas científicas.

Em resumo, Edward Leamington Nichols, por meio de sua pesquisa experimental e análise cuidadosa, ajudou a expandir o conhecimento na óptica experimental, construindo sobre o trabalho de pioneiros anteriores e influenciando as futuras direções da pesquisa neste campo. Sua dedicação ao estudo da luz e sua paixão pela experimentação deixaram um legado duradouro no campo da óptica e da espectroscopia. A rede EGO montada pela equipe está mostrada na figura 28 abaixo.

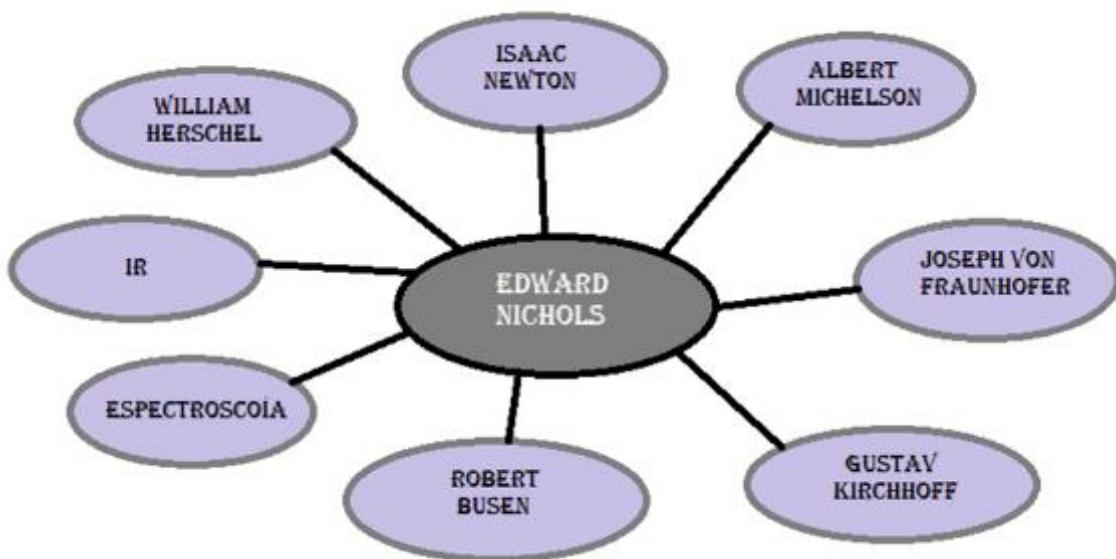


FIG. 28 – Rede EGO Edward Nichols

Fonte: Grupo G5

G6 – Ator Central: Willian Wollaston

O grupo começou apresentando seu ator, falando de sua história tanto pessoal quanto acadêmica, depois comentaram sobre seus trabalhos, em específico a ligação com os elementos químicos paládio e ródio e o desenvolvimento de uma nova maneira de processar o minério da platina. Também relataram seus trabalhos com a radiação IR e, depois, começaram a discursar sobre as pessoas envolvidas com seu ator.

Primeiramente falaram de Smithson Tennant (1761 – 1815), ele havia contribuído, com seu então assistente, William Hyde Wollaston, para a análise precisa do grafite e do diamante. Charles Hatchett (1765 – 1847), sendo um dos pioneiros a descobrir o nióbio em 1801, quando identificou esse elemento em um mineral da América do Norte. Ele chamou o elemento de "columbium", Wollaston reexaminou o trabalho de Hatchett e confirmou a existência de um novo elemento. A relação com o que eles denominaram “Sr. Foster”, foi após o trabalho com a precipitação da platina de sua solução em água régia com cloreto de amônio, Wollaston examinou o material restante e identificou novos elementos, paládio e ródio. Ele decidiu anunciar sua descoberta publicando uma circular na primavera de 1803, anunciando a venda do metal na loja de um certo Sr. Foster, no Soho, Londres, chamando-o de "Nova Prata". Richard Chenevix (1807 – 1886) sugeriu que era um amálgama de mercúrio e platina, evitando reconhecer a descoberta de novos elementos. Em novembro de 1803, Wollaston confidenciou a descoberta do paládio para Joseph Banks, presidente da Royal Society, para tentar salvar a instituição de um possível embaraço, uma vez que Chenevix receberia a medalha Copley (prémio anual para a melhor publicação científica) por ter publicado a separação do paládio que, segundo Wollaston, estava errada. A reputação de Wollaston na comunidade científica foi prejudicada por causa desse episódio, e apenas e, 1805 foi oficialmente confirmada a descoberta do paládio por Wollaston. Michael Faraday (1791 – 1867), Faraday e Willian desenvolvem uma pesquisa sobre magnetismo no mesmo período de tempo, onde, de forma não totalmente direta, Faraday confirmou uma teoria de Willian. William Herschel, onde Herschel usou o prisma de Wollaston em suas pesquisas astronômicas para explorar o espectro de luz, o que levou à descoberta da radiação IR.

A rede EGO montada pelo grupo está na figura 29 abaixo.

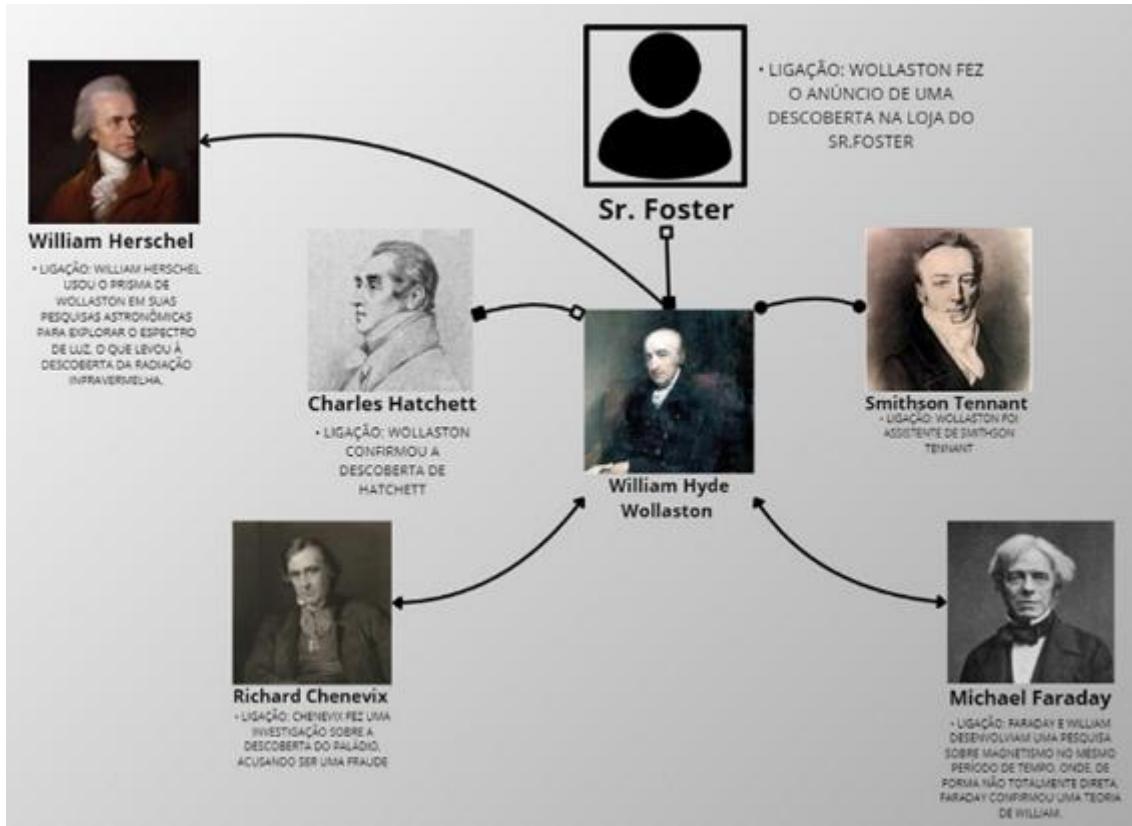


FIG. 29 – Rede EGO Willian Wollaston

Fonte: Grupo G6

G7 – Ator Central: Karl Jansky

O grupo iniciou explicando a relação entre Karl Jansky e a radioastronomia a partir das descobertas das primeiras ondas de rádio emanadas pela Via Láctea. Posteriormente, começaram a relacionar Jansky com outros cientistas da época, como Grote Reber (1911 – 2002), outra figura importante na história da radioastronomia, Reber se destacando na construção de radiotelescópios, sendo pioneiro, portanto, os dois ligando-se pelo desenvolvimento e aplicação da radioastronomia.

Comentaram sobre a relação entre Jansky e John D. Kraus (1910 – 2004) que reside no fato de serem pioneiros no desenvolvimento de tecnologias e técnicas para detectar, analisar e interpretar as emissões de rádio do espaço, expandindo o conhecimento sobre o universo. Houve o relato de Jansky trabalhar, também, com o espectro IR, embora a sua maior contribuição ter sido na emissão de rádio.

Relataram sobre as conexões com William e Caroline Herschel na contribuição para as compreensões das emissões eletromagnéticas provenientes do espaço, tendo papéis

fundamentais na expansão do conhecimento astronômico em suas respectivas épocas. Comentaram sobre a relação de Jansky com o telescópio, com Jansky usando suas ideias em telescópios para o desenvolvimento da astronomia.

Na figura 30, os alunos mostraram a ideia de relações que Karl Jansky teve com as pessoas comentadas.

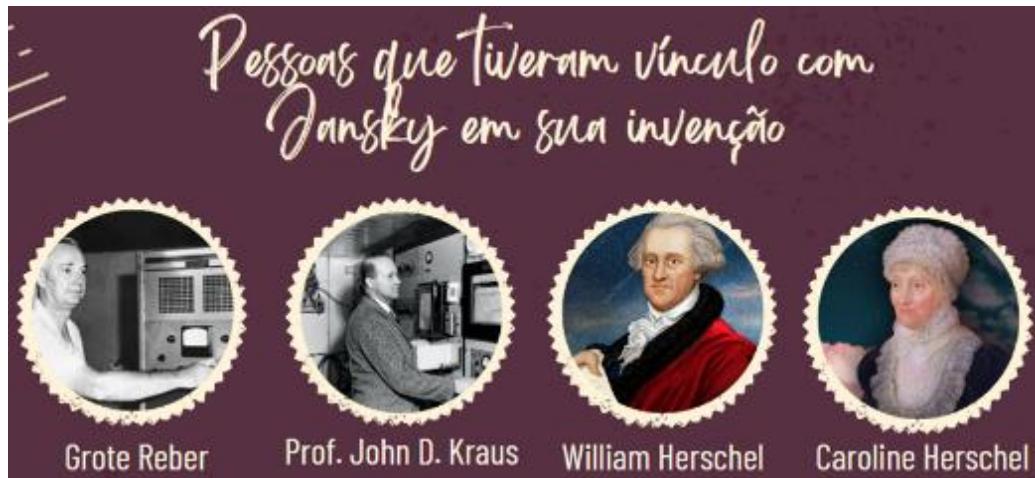


FIG. 30 – Relação de Karl Jansky com a história da astronomia

Fonte: Grupo G7

6.6 OITAVO ENCONTRO

Nesse encontro começamos a montar a rede histórica após todos terem apresentado seus trabalhos. Nesse encontro, utilizamos a própria sala de aula, a lousa e canetas para quadro branco como recursos. Primeiramente, colocamos todos os atores que serviram de base nesse trabalho, Caroline Herschel, Joseph Nièpce, John Draper, Samuel Langley, Edward Nichols, Willian Wollaston e Karl Jansky.

A partir desse momento, foi feito a pergunta:

“Qual personalidade vocês acham relevante para o nosso trabalho?”,

Neste momento, alguns grupos queriam se sobressair sobre os outros, querendo colocar seus pontos e pessoas acima dos outros, muitos falando juntos, gerando uma pequena confusão. Paramos, explicamos que cada um teria sua vez e que sempre, antes de acrescentarmos, seria perguntado para todos na sala se aceitariam ou não, para isso teriam que argumentar muito bem sobre o determinado ator, humano ou não humano. Feito isso, começaram, organizadamente, a falar sobre seus personagens e explicando o porquê deveria aparecer na rede.

O primeiro ator a ser selecionado foi William Herschel, que segundo um aluno, foi o principal responsável por toda essa nossa discussão, por dar início aos estudos das ondas eletromagnéticas não visíveis e estar ligado a astronomia. Outros estudantes concordaram e acrescentaram ligá-lo a radiação IR e a espectroscopia, já que ele aparecia em outros atores estudados. Com isso, surgiram os atores não humanos IR e Astronomia. Junto a Astronomia, os alunos a conectaram a William e Caroline Herschel pelos seus feitos e descobertas e, com isso, os alunos cogitaram o nome de Isaac Newton que estaria ligado a astronomia e, consequentemente, os telescópios, nomes aceitos por todos os alunos. Um estudante comentou que os estudos sobre a astronomia e a espectroscopia sofreram grande influência quando Newton desenvolveu o seu telescópio e iniciou seu estudo com prismas e sugeriu conectá-lo ao telescópio, prisma e astronomia o qual foi aceito por todos. Outro aluno lembrou que o prisma estaria relacionado com Wollaston que, juntamente com Herschel, colaborou para as pesquisas da radiação IR.

Seguindo com as considerações, o grupo que pesquisou sobre Wollaston comentou sobre a relação de Fraunhofer, já que ele observou as franjas nos raios solares e possibilitou os avanços nos estudos da espectroscopia. Nesse comentário, os estudantes que pesquisaram sobre Nichols, levantaram a questão que tanto Bunsen, quanto Kirchhoff, realizaram experimentos que comprovaram a existência dessas franjas citadas por Fraunhofer e sugerindo que eles estariam ligados a Fraunhofer, a espectroscopia e, consequentemente a Nichols que teve seus principais estudos no desenvolvimento da radiação IR. Esse grupo citou o nome de Thomas Edison, mostrando que ele também dedicou seus estudos a essa radiação e, comentaram também que Edison teria ligação com Faraday e Wollaston. Essa consideração foi bem debatida e, no final, aceito pela maioria para aparecerem na rede.

O grupo que pesquisou sobre Jansky pediram a palavra e quiseram mostrar a relação que seu ator teria nessa rede, comentaram sobre seus estudos sobre a radioastronomia e o telescópio radio astronômico que construiu e desenvolveu juntamente Reber. O ligaram também a espectroscopia, já que o rádio estaria no espectro eletromagnético. Essa consideração foi aceita pelos alunos e, complementando, um estudante citou a ligação que Fraunhofer teria com a radioastronomia, argumentando que seria o início dos estudos sobre toda a espectroscopia.

A equipe que estudou sobre Langley também argumentaram sobre seu ator, relacionando-o com a radiação IR, já que desenvolveu bolômetros que ajudaram nos avanços

dessa radiação, consequentemente, aos avanços junto a astronomia. Comentaram sobre a colaboração de Frank Washington, Arrhenius e Wilhelm Wien nos estudos e avanços do IR.

Os estudantes que estudaram Nièpce relataram suas considerações comentando sobre seus estudos da fotografia, sendo o desenvolvedor, juntamente com Daguerre, do daguerreótipo, a primeira câmera fotográfica que foi apresentada na Academia de Ciências francesa. Comentaram que nessa apresentação, estavam presentes Talbot e Jon Herschel, pessoas ligadas aos estudos da fotografia, justificando as conexões. Neste momento, um estudante lembrou que John Herschel era filho de William Herschel e sobrinho de Caroline e que estariam conectados. Com o assunto sobre o daguerreótipo, surgiram os comentários sobre Draper, o ator destinado a um grupo, comentando sobre o uso do daguerreótipo para fotografar a Lua pela primeira vez, relacionando-o, também, com a astronomia, já que foi a primeira fotografia de um astro celeste.

No final desse encontro, um grupo sugeriu a inclusão do Rei George III, justificando que ele teria ligação a Caroline e William Herschel, já que premiou e ofereceu o primeiro salário a Caroline. Nisso, outro estudante sugeriu que o nome de Hippolyte Bayard (1801 – 1887) teria uma relação com a fotografia, comentando que ele tinha feito uma exposição fotográfica antes do surgimento do daguerreótipo, sendo aceito por todos, sendo comentando por outro aluno, que mostraria que muitos estariam estudando como obter imagens fotográficas antes do surgimento do daguerreótipo. Como último comentário, os alunos que estudaram Jansky solicitaram a inclusão de Cyril Jansky, como um dos auxiliares de Karl Jansky que também foi aceito, finalizando nossa rede histórica.

A rede histórica construída em sala de aula está apresentada na figura 31

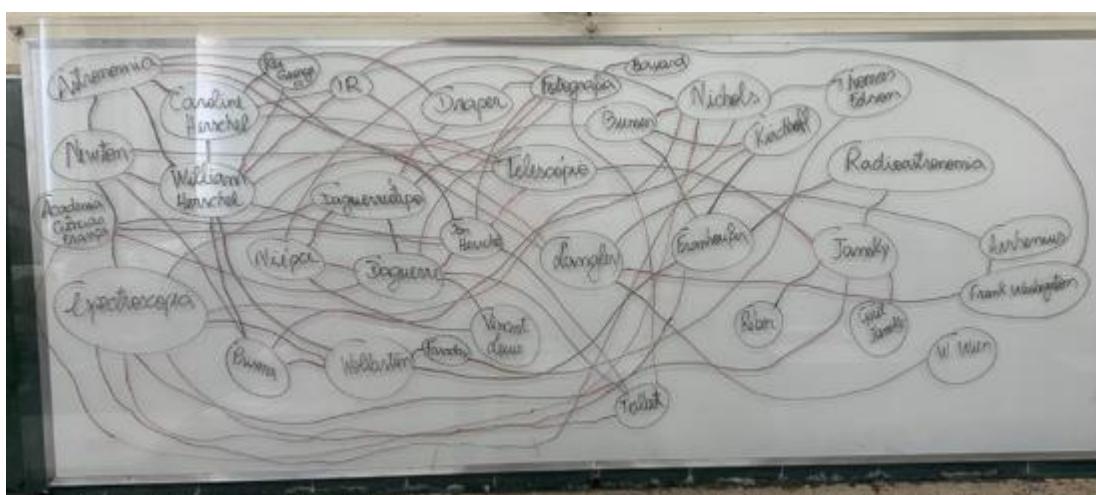


FIG. 31 – Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes

Fonte: autor

6.7 NONO ENCONTRO

No nosso último encontro, ocorrido uma semana após as apresentações dos grupos, discutimos sobre todo o projeto, desde a introdução à astronomia, a apresentação dos telescópios, o surgimento da fotografia e sua relação com a arte, suas pesquisas e a montagem da rede histórica feita pelos estudantes. Ao final, foi mostrada a rede final tratada pelo Software Gephi 10.1.

Os principais comentários foram como começaram a se interessar pela a história da astronomia e observar melhor o céu, tentando ver as estrelas, as constelações e procurarem, em sites, sobre as novidades relacionadas às imagens astronômicas. Quanto às suas pesquisas, relataram sobre a dificuldade de encontrar fontes confiáveis, descobriram assuntos que nunca imaginariam ter coerência e como isso colaborou para o que sabemos do nosso Universo atualmente. Um estudante comentou sobre a preocupação de fazer uma boa pesquisa, fugindo de, principalmente, Fake News e histórias mirabolantes sobre determinadas pessoas que fizeram tudo sozinhas. Outro estudante falou que não tinha ideia que tais assuntos poderiam estar realmente interligados, por anos de diferença e a relação de vários assuntos, como a arte, a física, a química e a astronomia, entre outras.

Ao final de toda discussão, apresentamos a rede tratada, a primeira somente com os atores humanos representada na figura 32, que podemos observar que faltam algumas conexões entre os atores, mostrando que eles estariam conectados por atores não humanos, vendo a importância de, em uma rede histórica, trabalharmos tanto com atores humanos quanto com atores não humanos. A figura 33 mostra a rede histórica que incluem os dois tipos de atores.

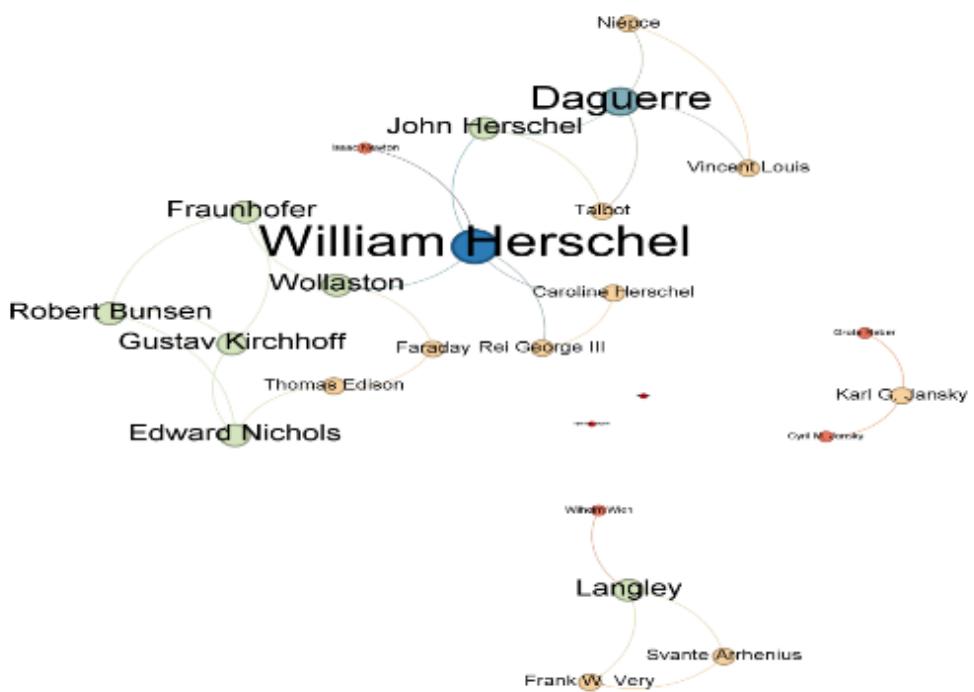


FIG. 32 – Rede de atores humanos construída pelos estudantes, tratada no Gephi

Fonte: autor

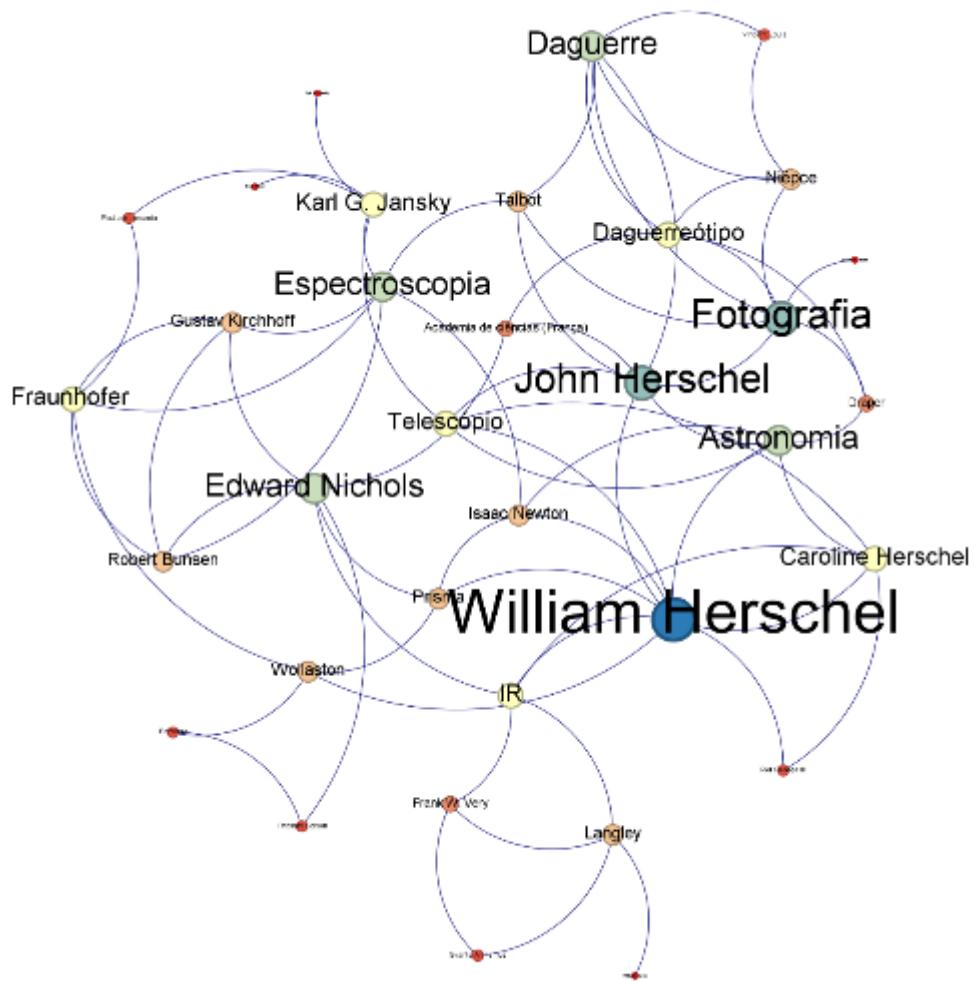


FIG. 33 – Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes, tratada no Gephi

Fonte: autor

As redes compostas apenas por atores humanos se concentram nas interações diretas entre indivíduos ou grupos sociais. Essas redes analisam relações políticas, sociais, econômicas e culturais, como alianças entre líderes, trocas comerciais ou conexões artísticas. Essa abordagem tem como vantagem a clareza ao destacar intenções e motivações humanas, sendo especialmente útil em estudos que priorizam as ações e decisões conscientes das pessoas. No entanto, ela pode ignorar fatores materiais e ambientais que também influenciaram o curso da história.

Por outro lado, as redes que incluem atores humanos e não humanos ampliam o escopo da análise ao incorporar elementos materiais, tecnológicos, naturais e simbólicos como agentes relevantes. Esse modelo, reconhece que objetos, tecnologias e fenômenos naturais também desempenham papéis cruciais nas dinâmicas históricas.

A diferença central entre essas duas abordagens reside na atribuição de agência. Enquanto as redes exclusivamente humanas atribuem agência apenas às pessoas, as redes híbridas reconhecem que elementos não humanos também podem influenciar os acontecimentos. Essa distinção afeta tanto a estrutura da rede quanto as interpretações dos eventos. Redes humanas tendem a ser mais simples e lineares, enquanto redes híbridas são mais complexas, refletindo interações multidimensionais entre humanos, tecnologias, ambientes e objetos (LATOUR, 2005).

Em síntese, a escolha entre redes com atores apenas humanos ou com humanos e não humanos depende dos objetivos analíticos e da natureza da investigação histórica. Redes humanas são eficazes para destacar relações interpessoais e processos sociais diretos, enquanto redes híbridas oferecem uma visão mais integrada, revelando como fatores materiais e naturais moldaram a história. Ambas as abordagens são complementares e, quando usadas em conjunto, podem enriquecer significativamente a compreensão do passado.

Um ponto a se destacar após a conclusão dos trabalhos foi a interligação que fizeram entre essa pesquisa e os trabalhos que vieram pela frente, tanto nessa disciplina quanto nas demais cursadas pelos estudantes. Alguns deles comentaram sobre as pesquisas que tinham feito, aprimorando seus conhecimentos e não mais se limitando as primeiras páginas dos buscadores na internet, vendo aqui que, além do conhecimento no tema abordado, aprenderam a serem mais críticos em relação ao que liam, ao que pesquisavam.

7 CONCLUSÕES

O principal objetivo desta dissertação foi desenvolver um produto educacional que oferecesse um caminho metodológico para que os estudantes compreendessem a ciência como uma atividade humana. Em uma publicação feita por Gil Perez e seus colaboradores (2001) expressa sua preocupação com a visão distorcida sobre os aspectos humanos da prática científica. De forma semelhante a Alcantara e Moura (2022), os autores apontam que, muitas vezes, professores e pesquisadores da área de ciências, por temerem provocar desconfiança entre estudantes e o público em geral, preferem manter uma imagem idealizada da ciência — infalível, conduzida por gênios e marcada por descobertas fortuitas —, em vez de abordar a ciência de uma maneira mais conectada, que reconheça as influências mútuas com fatores sociais e culturais, frequentemente invisíveis na prática científica. Dessa forma, busca-se promover o ensino sobre a natureza da ciência.

Todas as etapas apresentadas nesta dissertação foram elaboradas a fim de atingir os objetivos já citados. No primeiro momento foram discutidos sobre o começo da astronomia, a relação entre a arte e a ciência e a introdução da fotografia e o seu uso na astronomia, parte esta que foi apresentada na 5^a IPHSTLA em 2023, ocorrido na cidade de Porto Alegre – RS, no qual foi debatido sobre o tema desta dissertação e obtendo mais informações que poderíamos realizar com nossos alunos.

Após a primeira parte, começaram os estudos sobre as radiações não visíveis e a fotografia, levantando suas histórias e os atores que seriam usados no nosso produto. Escolhemos atores pouco convencionais para os temas da pesquisa historiográfica, buscando aqueles que geralmente não são associados ao surgimento das radiações não visíveis e da fotografia. Com isso, pretendemos oferecer aos estudantes uma experiência mais profunda e diversificada sobre os diversos aspectos desse desenvolvimento.

Com os atores já definidos, começamos a aplicação do nosso produto, começando sobre a explicação do que seria uma rede histórica e como seria montada, dando exemplos de algumas redes. Posteriormente, dividimos os grupos e falamos dos atores que deveriam pesquisar e analisar. Ao analisarmos o discurso dos estudantes ao longo da aplicação do produto final, identificamos elementos que apontam para o desenvolvimento de suas habilidades ligadas à compreensão de aspectos da Natureza da Ciência (NdC).

Com base nos resultados apresentados no capítulo 6, podemos identificar que, após os primeiros encontros, mais precisamente no terceiro e quarto encontro, tinham dificuldades de encontrar fontes que falavam de seus atores, reportando que só encontravam sites que falavam da biografia dos atores sem relacioná-los com o advento das radiações ou da fotografia, sendo orientados pelo professor como deveriam prosseguir em suas pesquisas. Observamos que de uma semana para outra, no caso do terceiro para o quarto encontro, tiveram um bom progresso, conseguindo encontrar mais informações sobre seus atores.

No quinto e sexto encontro, destinado para o início da montagem das apresentações, notamos que os alunos estavam mais embasados e conseguindo relacionar seus atores com a radiação, a fotografia e com os outros atores dos demais grupos. Notamos aqui a necessidade e a explicação de vários encontros. Para que os alunos conseguissem assimilar sobre o que estavam estudando e montarem uma rede histórica, precisamos dessa quantidade de reuniões, pois somente através das pesquisas, do andamento do projeto que conseguiram entender realmente a proposta. Aos poucos os alunos perceberam que, por exemplo, Edward Nichols teria uma conexão com William Herschel através do estudo da espectroscopia e a radiação IR, Joseph Nièpce, com sua ligação com a fotografia, o daguerreótipo e Louis Daguerre, teria uma conexão com John Herschel, esse filho de William Herschel. Portanto, observamos que os alunos só compreenderam que o objetivo do trabalho não era indicar os grandes feitos do seu tema, mas buscar as relações que os fizesse relevantes para o advento das radiações não visíveis e fotografia após alguns encontros.

No sétimo encontro, o das apresentações, vimos que os alunos compreenderam ainda mais que seus atores estavam conectados de alguma forma. Observamos que um grupo, ao apresentar seu ator, outros grupos comentavam que falariam quase a mesma coisa e chegariam ao mesmo ponto e as mesmas pessoas, evidenciando que o produto estava conseguindo atingir seu objetivo, que a ciência era construída por várias pessoas.

Durante a construção da rede final, observamos que os estudantes, com base nas informações compartilhadas pelos outros grupos, conseguiram conectar seus temas aos temas dos demais. Nesse ponto, ficou claro como alguns alunos utilizaram sua compreensão dos aspectos da Natureza da Ciência (NdC) para formular argumentos que justificassem a inclusão de atores ou conexões na rede, além de defenderem seus pontos de vista em discussões geradas por algumas inserções.

É importante ressaltar que as redes refletem a forma como cada grupo interpreta o desenvolvimento das radiações não visíveis e da fotografia, além das interações entre os estudantes e outros aspectos. Dessa forma, o foco principal da análise dos resultados não está na rede em si, mas nos argumentos utilizados pelos alunos durante sua construção. Ainda assim, uma rede com um grande número de conexões sugere que os estudantes compreendem o progresso científico e tecnológico como um fenômeno dinâmico e interligado.

Concluímos que a abordagem metodológica adotada contribuiu significativamente para a compreensão dos aspectos da Natureza da Ciência, ao mesmo tempo em que incentivou uma participação mais ativa dos estudantes nesse processo. Ao envolver os alunos em uma investigação historiográfica baseada na criação de conexões, um evento frequentemente simplificado nos materiais didáticos da educação básica foi apresentado de forma mais ampla e interligada. Dessa maneira, a ciência passou a ser vista como um campo construído por múltiplas contribuições, influenciado por fatores humanos, sociais, culturais e econômicos. Com essa perspectiva histórica, os estudantes tendem a reconhecer que os avanços científicos ocorrem de maneira dinâmica e interdependente, em vez de serem desenvolvimentos isolados.

REFERÊNCIAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature. **International journal of science education**, v. 22, n. 7, p. 665-701, 2000.
- ABD-EL-KHALICK, F. (2012). Examining the sources for our understandings about science: Enduring confations and critical issues in research on nature of science in science education. **International Journal of Science Education**, 34(3), 353–374. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.629013>
- ALCANTARA, M. C.; BRAGA, M. Elementos histórico-culturais para o ensino dos instrumentos ópticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 109–130, 2017.
- ALCANTARA, M. C. A Montagem de Redes Históricas no Ensino: uma visão complexa da ciência. 2018. 192 f. **Tese** (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2018.
- ALCANTARA, M.C., BRAGA, M. & VAN DEN HEUVEL, C. Historical Networks in Science Education. **Sci & Educ**, v. 29, p. 101–121, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00096-4>
- ALCANTARA, Marlon C.; MOURA, Breno Arsioli. Os caminhos da história da ciência na revista A Física na Escola. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 210906-1, 2022.
- ALLCHIN, D. (2011), Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Sci. Ed.**, 95(3): 918-942. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- ALLCHIN, D. Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources. Saint Paul: SHiPS **Educational Press**. 2013.
- ANDRADE, A. N.; GONÇALVES, C. B. De olho no céu: uma conversa sobre astronomia com as crianças. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5., 2022, Recife. **Anais** [...]. Campina Grande: Realize, 2022. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV127_MD1_SA9_ID11462_16082019000945.pdf. Acesso em: 17 jan. 2024.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Edições 70: São Paulo, 2016.
- BARROS, Lucas Guimarães; ASSIS, Alice; LANGHI, Rodolfo. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 1026-1046, 2016.
- BENJAMIN, Walter. "A Short History of Photography." 1931. **One-Way Street and Other Writings**, p. 240-257, 1980.
- BORGES, Maria Eliza Linhares. **História & fotografia**. 2003.
- BRANDÃO, Juliana Barreto et al. Mapeamento de teses e artigos brasileiros sobre o ensino de Química no ensino CTS por análise de redes sociais. **Educación Química**, v. 35, p. 40-55.

CANABARRO, Ronald; AFFANADOR-LLACH, Maria José. História Transviada e suas comunidades de intelectuais—uma paisagem historiográfica a partir da Análise de Redes Sociais. **La Palabra**, n. 48, 2024.

CARROLL, Bradley W., & OSTLIE, Dale A. **An Introduction to Modern Astrophysics**. Cambridge University Press, 2017.

COBLENTZ, William W. Early history of infrared spectroradiometry. **The Scientific Monthly**, v. 68, n. 2, p. 102-107, 1949.

COSTA, Saulo Sérgio de Oliveira. A construção e análise de redes históricas para o ensino de física: máquinas a vapor. 2023. 149 f. **Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física)** – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2023.

COUTO, Vinicius Assis; DIAS, Camila Caldeira Nunes. Apresentação do Dossiê—Análise de Redes Sociais (ARS) nas Ciências Sociais Brasileira: Teoria, Método e Aplicações Empíricas. **Mediações-Revista de Ciências Sociais**, Londrina, p. 1-13, 2022.

DE SOUZA MONTEIRO, L. et al. A radioastronomia como estratégia de desenvolvimento científico-tecnológico no ensino de física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 24., 2021, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: SBF, 2021. p. 5070-1–5070-11. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxiv/sys/resumos/T5070-1.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

DOBLE, Rick. A brief history of light & photography. [S. l.]: [s. n.], 2013. Disponível em: <http://rickdoble.net/Light-history.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DONOSO, J. P. Datas e personagens na História da Espectroscopia. São Carlos: Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, [sd]. Disponível em: <https://www.ifsc.usp.br/~donoso/espectroscopia/Historia.pdf>. Acesso em: 30 set. 2024.

DUMMER, L. M. E. Concepções das crianças da pré-escola em relação às características astronômicas. 2019. 182 f. **Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica)** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

DUNCAN, Andy D., **History of Photography**, 2020. Disponível em: <https://www.andyyduncan.com/blog/2020/3/5/history-of-photography-part-1>, Acesso 05 jan. 2024.

DA ROSA MORELES, Kimberlly; DA SILVA CAMARGO, Sandro. Encontro de Ciência e Tecnologia do IFSul–Câmpus Bagé: uma análise através da perspectiva das redes sociais. **Revista Thema**, Pelotas, v. 22, n. 3, p. 827-841, 2023.

DE ALMEIDA LIMA, Beatriz Oliveira; ALVES, Lynn Rosalina Gama. Divulgação Científica no âmbito da plataformização: mapeando a rede de canais do YouTube a partir do Science Vlogs Brasil. **Tecnologias, Sociedade e Conhecimento**, Campinas, v. 11, p. 1-20, jan./jun. 2024.

DOS SANTOS SACHETE, Andréia et al. Análise de Redes Sociais: Mapeando Relações entre Pesquisadores nos 13 Anos da Revista EaD em Foco. **EaD em Foco**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. e2284-e2284, jan./mar. 2024.

FACKLER, A. When science denial meets epistemic understanding. **Science & Education**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 445-461, abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00198-y>. Acesso em: 30 nov. 2024.

FERNÁNDEZ, Carlos García; DE ABAJO CASTRILLO, Begoña; LLAMAS, Rubén Gutiérrez. Observe-o invisível. Radiotelescópios: Infraestruturas entre a paisagem e o cosmos. **ZARCH: Revista de estudos interdisciplinares em Arquitetura e Urbanismo**, Zaragoza, n. 20, pág. 140-155, 2023.

FONTES, Daniel Trugillo Martins; RODRIGUES, André Machado. Análise local, pensamento global: estrutura e dinâmica de relações colaborativas na pesquisa em Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 29, n. 1, p. e048995-1–e048995-20, 2024.

FORATO, T. C. M. A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz. 2009. 2 v. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-29102009-173620/pt-br.php>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FORATO, T. C. M. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 1, p. 27-59, abr. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FORATO, T.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Historiadores das ciências e educadores: frutíferas parcerias para um ensino de ciências reflexivo e crítico. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 137-141, 2014. Disponível em: <http://rbhc.sbhc.org.br/index.php/rbhc/article/view/525>. Acesso em: 15 jan. 2025.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, p. 27-59, jan. 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p27>. Acesso em: 30 mar. 2025.

GALILI, I. Towards a Refined Depiction of Nature of Science: Applications to Physics Education. **Science & Education**, [S.I.], v. 28, p. 503-537, maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00042-4>. Acesso em: 17 mar. 2025.

GARCIA-CARMONA, A. The non-epistemic dimension, at last a key component in mainstream theoretical approaches to teaching the nature of science. **Science & Education**, [S.I.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00495-2>. Acesso em: 17 mar. 2025.

GERNSHEIM, Helmut & Gernsheim, Alison. *L. J. M. Daguerre: The History of the Diorama and the Daguerreotype*. New York: Dover Publications, 1968.

GIL-PERÉZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ciedu/v7n2/01.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.

GONÇALVES, P. C. da S.; BRETONES, P. S. O ensino sobre a Lua e suas fases: uma proposta observacional para os Anos Iniciais do Ensino Fundamental. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, Belo Horizonte, v. 23, e29316, 2021. Disponível em: <https://revistas.cefetmg.br/index.php/ensaio/article/view/29316>. Acesso em: 30 jan. 2025.

GRANOVETTER, M. S. The strength of weak ties. **American Journal of Sociology**, Chicago, v. 78, n. 6, p. 1360-1380, maio 1973. Disponível em: <http://doi.org/10.1086/225469>. Acesso em: 10 fev. 2025.

HOSKIN, Michael. **The Herschel Partnership: As Viewed by Caroline**. Cambridge. Science History Publications, 2003.

JORGE, L.; PEDUZZI, L. O. Q. A exemplificação da não neutralidade da observação científica por meio dos desenhos lunares retratados no século XVII. **ALEXANDRIA (UFSC)**, Florianópolis, v. 11, n. 1, p. 179-200, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/1982-5153.2018v11n1p179>. Acesso em: 15 mar. 2025.

KOSSOY, Boris. **Origens e expansão da fotografia no Brasil do século XIX**. Rio de Janeiro: Funarte, 1980.

KUBRUSLY, Cláudio. **O que é fotografia**. 4.ed. São Paulo: Brasiliense, 1991.

KOEHLER, C.; CARVALHO, M. J. S. Análise da coesão em uma rede social acadêmica. **Revista de Educação Pública**, Cuiabá, v. 31, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.29288/rep.v31.7828>. Acesso em: 30 nov. 2024.

LATOUR, Bruno. **Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory**. Oxford: Oxford University Press, 2005.

LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, 29(4), 331–359, 1992.

LOMMI, H.; KOPONEN, I. Network cartography of university students' knowledge landscapes about the history of science: landmarks and thematic communities. **Applied Network Science**, [S. l.], v. 4, n. 6, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41109-019-0113-8>. Acesso em: 30 abr. 2025.

MARTIN, Dra Omaira Gonzalez. Instituto De Radioastronomia Y Astrofísica Presente. Con fundamento en la Convocatoria vigente para participar en el Programa de Primas al Desempeño del Personal Académico de Tiempo Completo (PRIDE), comunico a usted que el Consejo Técnico de la Investigación Científica en su. 2020. **Tese**. Universidad Nacional Autónoma De México.

MARTINS, V. M.; MACAMBIRA, M. O. Análise de redes sociais informais intraorganizacionais: uma revisão sistemática da literatura. **Anuário Unesco/Umesp de comunicação regional**, São Bernardo do Campo, v. 26, n. 26, p. 3-21, jul./dez. 2022. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-metodista/index.php/AUCOM/article/view/1000>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MATTHEWS, M. S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6636/6090>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MAYA, Eduardo Ewald. **Nos passos da história: o surgimento da fotografia na civilização da imagem.** Discursos fotográficos, Londrina, v. 4, n. 5, p. 103-129, 2008.

MERTENS, F. et al. Participação e transdisciplinaridade em Ecosaúde: a perspectiva da análise de redes sociais. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 31, e190903pt, abr. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/L9bWvQ544Y7Y8f46G99x7tC/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

MILLER, F. A. The history of spectroscopy as illustrated on stamps. **Applied Spectroscopy**, Baltimore, v. 37, n. 3, p. 219-225, maio/jun. 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1366/0003702834634863>. Acesso em: 30 jan. 2025.

MILTON, E. J. et al. Progress in field spectroscopy. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 113, p. S92-S109, dez. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.001>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MORAES, L. D. Produção, aplicação e análise de um curso conectivista para a aprendizagem de astronomia observacional. 2021. 154 f. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10900>. Acesso em: 15 nov. 2024.

MOURA, B. A. A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a Natureza da Ciência do Ensino. 2008. 154 f. **Tese** (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-06012009-173620/pt-br.php>. Acesso em: 15 nov. 2024.

MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência?. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan./jun. 2014. Disponível em: <http://rbhc.sbh.org.br/index.php/rbhc/article/view/522>. Acesso em: 14 jan. 2025.

MOURA, B. A.; FORATO, T. C. M. (Org.). **Histórias das ciências, epistemologia, gênero e arte: ensaios para a formação de professores**. São Bernardo do Campo: EdUFABC, 2017.

NEWMAN, M. E. J. **Networks: an Introduction**. New York: Oxford University Press Inc, 2010.

NICKEL, D. R. History of photography: the state of research. **The Art Bulletin**, New York, v. 83, n. 3, p. 548-558, set. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3177258>. Acesso em: 25 nov. 2024.

PAGANELLI, E. Astronomia e espectroscopia. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática (REnCiMa)**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 1-19, 2022. Disponível em: <https://www.revistarencima.com/index.php/renциma/article/view/3990>. Acesso em: 12 nov. 2024.

PERON, Thiago da Silva. Ensino de ciências e a validação do saber científico: um estudo sob a ótica da História Cultural da Ciência e da Sociologia e Filosofia de Bruno Latour. 2020. **Tese** (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2020.

- QUACK, M. Frontiers in spectroscopy. **Faraday Discussions**, Cambridge, v. 150, p. 533-565, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c1fd00078k>. Acesso em: 30 nov. 2024.
- RECUERO, R. **Introdução à análise de redes sociais online**. [S. l.]: [s. n.], 2017. Disponível em: https://www.raquelrecuero.com/artigos/introducao_ars.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.
- REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. A busca de diálogos entre Ciência e Arte como forma de construir caminhos de compreensão do pensamento científico. In: FÁVERO, M. H.; SANTOS, S. C. (Org.). **A história e a filosofia da ciência na pesquisa em ensino**. Campinas: Átomo, 2012. p. 115-132.
- RIEKE, G. H. History of infrared telescopes and astronomy. **Experimental Astronomy**, Dordrecht, v. 25, p. 125-141, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10686-009-9140-5>. Acesso em: 05 nov. 2024.
- RING, E. F. J. The discovery of infrared radiation in 1800. **The Imaging Science Journal**, London, v. 48, n. 1, p. 1-8, fev. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13682829.2000.10118501>. Acesso em: 05 nov. 2024.
- ROGALSKI, A. History of infrared detectors. **Opto-Electronics Review**, Varsóvia, v. 20, n. 3, p. 279-308, set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/s11772-012-0036-y>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- SACHETE, Andréia dos Santos et al. Análise de redes sociais: mapeando relações entre pesquisadores nos 13 Anos da Revista EaD em Foco. **EAD em Foco: revista científica em Educação a distância**. Rio de Janeiro, RJ. Vol. 14, n. 1 (2024), e2284, 18 p., 2024.
- SALLES, F. **Breve história da fotografia**. São Paulo: [s. n.], 2004. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=Filipe+Salles+Breve+história+da+fotografia>. Acesso em: 30 nov. 2024.
- SANTOS, Moisés Diego Cipriano et al. Conhecendo a Radioastronomia com O GNU RADIO. **Caderno Impacto em Extensão**, v. 5, n. 2, 2024.
- SILVA, Isabelle Garcia et al. Astronomia e elaboração de história em quadrinhos: uma proposta para o ensino de Ciências. **Revista Práxis**, v. 13, n. 1sup, 2021.
- SOUZA, Willian Matheus Felix et al. Um estudo da análise de redes em negócios sociais. **Revista Ciências Administrativas**, v. 30, p. 1-19, 2024.
- THOMAS, N. C. The early history of spectroscopy. **Journal of Chemical Education**, Washington, D.C., v. 68, n. 8, p. 631, ago. 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed068p631>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- WALKER, H. J. A brief history of infrared astronomy. **Astronomy & Geophysics**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 5.10-5.13, out. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/astrokeo/41.5.5.10>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- WATTS, Duncan. **Six degrees: the new science of networks**. New York: Random House, 2003.
- WELLMAN, B. Network analysis: some basic principles. **Sociological Theory**, Washington, D.C., v. 1, p. 155-200, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/202051>. Acesso em: 30 nov. 2024.

ZUIDERVAART, H. J. The ‘true inventor’ of the telescope: a survey of 400 years of debate. In: **The origins of the telescope**. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW), 2012. p. 9-44. Disponível em: <https://www.dwc.knaw.nl/nl/publicaties/book/the-origins-of-the-telescope>. Acesso em: 30 nov. 2024.

APÊNDICE 1 – ORGANIZAÇÃO DAS ATIVIDADES.

TURMA	SIGLA	DIA E HORÁRIO DAS AULAS	QUANTIDADE DE ESTUDANTES
2º ANO	G	TER – 07:50 SEX – 7:00/10:40	26

Cronograma das atividades/datas importantes:

1º Encontro: O que são redes! Atores Humanos, Atores não humanos; Rede egocêntrica!

08/03

2º Encontros: Dividir os grupos e apresentar o que é o trabalho (dever de casa para próxima aula- trazer as pesquisas)

12/03

3º Encontro: Olhar o que os pesquisaram e tentar ajudar a definir coisas. Retirar discurso triunfalista, analisar fontes conflitantes e etc. (Dever de casa, corrigir os erros e tentar avançar na pesquisa)

19/03

4º Encontro: Olhar o que os pesquisaram e tentar ajudar a definir coisas. (Dever de casa: Montar slides para a apresentação em sala de aula ; apresentações de 10 minutos ou vídeo de 10 minutos)

26/03

5º Encontro: Ajudar na montagem dos slides correção das informações.

05/04

6º Encontro: Fechamento dos slides (dos alunos).

12/04

7º Encontro: Apresentação dos Grupos.

19/04

8º Encontro: Montagem das redes (atores humanos) (atores humanos e não humanos)

26/04

9º Encontro: análise dos resultados e apresentação da rede final tratada e o fechamento do que foi o projeto.

30/04

APÊNDICE 2 – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DAS REUNIÕES

Ficha de Acompanhamento

Nº do Encontro:

O objetivo deste encontro é: _____.

Conhecer suas fontes de pesquisa, verificar o enfoque dado por cada um.

É esperado que os grupos tenham realizado uma pesquisa evidenciando

Turma:	Grupo:	Tema:
Data:	Hora:	Duração:

Estudantes:	Presente	Ausente	Observações

Atividades desenvolvidas pelo grupo:

Principais orientações:

Dúvidas trazidas pelos alunos:

Anotações gerais:

Metas para o próximo encontro:



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Leonardo Zampieri de Souza

PRODUTO EDUCACIONAL

**ENSINO DO ESPECTRO DA LUZ A PARTIR DA CONSTRUÇÃO DE REDES
HISTÓRICAS**

Juiz de Fora

2025

PRODUTO EDUCACIONAL:

Sequência didática para explorar aspectos da Natureza da Ciência a partir da construção e análise de redes históricas a partir do ensino do espectro da luz.

Produto Didático elaborado pelo aluno Leonardo Zampieri de Souza para apresentação junto à dissertação “**Ensino do espectro da luz a partir da construção de redes históricas**”, apresentados ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

JUIZ DE FORA

2023

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5	
1	FORMATO DA PRIMEIRA AULA	8
1.1	Identificação	8
1.2	Objetivos	8
1.3	Metodologia	8
1.4	Recursos Utilizados	9
1.5	Proposta de Avaliação	10
2	ROTEIRO DOS ENCONTROS COM OS GRUPOS	11
2.1	Objetivos Gerais	12
2.2	Objetivos Específicos	12
2.3	Metas Gerais para cada reunião	13
2.4	Recursos Utilizados	13
2.5	Proposta de Avaliação	13
3	APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS PELOS GRUPOS	14
3.1	Orientações para a elaboração dos trabalhos	14
3.2	Orientações para avaliação dos trabalhos	14
3.3	Apresentação dos trabalhos	14
4	PLANO DE AULA – CONSTRUÇÃO DA REDE HISTÓRICA	15
4.1	Identificação	15
4.2	Objetivos	15
4.3	Metodologia	15
4.4	Recursos Utilizados	16
4.5	Proposta de Avaliação	16
5	PLANO DE AULA – ANÁLISE DA REDE CONSTRUÍDA PELA TURMA	17
5.1	Identificação	17
5.2	Objetivos	17
5.3	Metodologia	17
5.4	Recursos Utilizados	18
5.5	Proposta de Avaliação	18
6	RECORTE HISTORIOGRÁFICO	19
7	REFERÊNCIAS	25

INTRODUÇÃO

Uma proposta de didática para o ensino da Natureza da Ciência (NdC) tomando como referencial a construção e análise de redes históricas, o caso do desenvolvimento dos estudos do espectro da luz e a trajetória da evolução dos telescópios entre os séculos XVIII e XX. Para a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é um dos principais propósitos que a física quântica esteja no padrão de educação científica como um de reflexão e discussão sobre a natureza da ciência como histórica, social e cultural (BRASIL, 2018). Segundo Watrin, a visão reducionista e linear da ciência deve ser desafiada por ferramentas didáticas que mobilizem práticas investigativas, o estudo de fontes e a construção ativa do conhecimento. Nesse contexto, este artigo traz um produto para a educação a partir da construção de redes históricas em torno da trajetória dos estudos sobre o espectro da luz e a evolução dos telescópios nos séculos XVIII, XIX e XX.

A proposta didática aqui apresentada está estruturada com base em dois referenciais principais: (i) as diretrizes para o ensino de história e ciência propostas por Forato, Martins e Pietrocola (2011), que defendem a contextualização histórica bem como a problematização epistemológica no ensino de ciências; e (ii) a metodologia de análise e elaboração de redes históricas delineada por Alcantara (2018), que nos permite mapear as interações entre sujeitos, instrumentos, teorias e instituições em diferentes momentos.

À luz dos fundamentos da Teoria Ator-Rede (Latour, 2012), a proposta toma a ciência como um processo coletivo com várias mediações, controvérsias e articulações, onde tanto atores humanos quanto não-humanos (instrumentos, textos, experimentos) intervêm ativamente no processo de produção do conhecimento.

A produto educacional foi desenhada para incentivar a autonomia dos estudantes — o professor é o mediador. As principais etapas incluem:

- Formação de grupos de estudantes em colaboração;
- Reuniões regulares de mediação e supervisão de pesquisa;
- Desenvolvimento de vídeos ou apresentações de slides baseados nas redes EGO criadas pelos grupos;
- Desenvolvimento conjunto de uma rede histórica de aula;
- Análise em grupo sobre a rede.

O foco temático – análise do espectro da luz – fornece terreno fértil para a compreensão de diferentes concepções teóricas, desacordos científicos e mudanças tecnológicas que possibilitam a construção de redes intrincadas que fazem sentido, como é argumentado na dissertação de mestrado à qual este produto pedagógico está associado.

Para a aplicação da proposta, foram desenvolvidos:

- Plano de aula introdutório;
- Dicas para seleção de questões de pesquisa;
- Roteiro e agenda para as sessões de mediação consideradas itens essenciais;
- Planos de aula detalhados para construção e análise de redes;
- Texto de apoio para a história (capítulo 5 da dissertação) de forma não-linear, mais indireta, penetrando no panorama de conexões historiográficas menos tradicionais.

A exposição proposta aqui demanda que o professor já esteja previamente familiarizado com o conteúdo histórico sendo abordado, para que a mediação durante as atividades seja qualificada. A partir de uma perspectiva não-linear e relacional dentro de uma história da ciência, ao construir redes históricas, os estudantes devem ser capazes de apreender melhor o quadro histórico geral da ciência e estar cientes da contribuição dos fatores humanos, instrumentais e institucionais envolvidos nas práticas científicas.

A seguir, apresenta-se o cronograma detalhado das atividades realizadas, previamente disponibilizado aos estudantes como instrumento de organização e planejamento.

Cronograma das atividades:

1º Encontro: O que são redes! Atores Humanos, Atores não humanos; Rede egocêntrica!

2º Encontros: Dividir os grupos e apresentar o que é o trabalho (dever de casa para próxima aula- trazer as pesquisas)

3º Encontro: olhar o que os alunos pesquisaram e tentar ajudar a definir coisas. Retirar discurso triunfalista, analisar fontes conflitantes e etc. (Dever de casa, corrigir os erros e tentar avançar na pesquisa)

4º Encontro: Reavaliar o que os alunos pesquisaram e tentar ajudar a definir coisas. (Dever de casa: Montar slides para a apresentação em sala de aula; apresentações de 10 minutos ou vídeo de 10 minutos)

5º Encontro: Ajudar na montagem dos slides correção das informações.

6º Encontro: Fechamento dos slides (dos alunos) e ensaios de apresentação.

7º Encontro: Apresentação dos Grupos em sala de aula.

8º Encontro: Montagem das redes (atores humanos) (atores humanos e não humanos), atividade coordenada pelo professor com a turma.

9º Encontro: análise dos resultados e apresentação da rede final tratada e o fechamento do que foi o projeto.

1 FORMATO DA PRIMEIRA AULA

1.1 Identificação

Nível: Ensino Médio;

Tema: Apresentação do trabalho e aula expositiva sobre conceitos básicos de redes;

Duração: 50 minutos.

1.2 Objetivos

- Apresentação do tema de pesquisa e objetivos do trabalho, com ênfase nos elementos de NdC e o uso de redes históricas;
- Apresentação do cronograma de atividades;
- Divisão dos grupos e tema;
- Exposição dos conceitos básicos de redes e foco nas redes EGO;
- Estabelecimento da meta a ser alcançada no próximo encontro.

1.3 Metodologia

Na etapa inicial da aplicação didática, o(a) docente deve realizar a apresentação do tema central da proposta pedagógica, destacando os fundamentos históricos e epistemológicos que sustentam a construção da rede histórica, cujo foco é a evolução dos estudos sobre o espectro da luz e a evolução dos telescópios nos séculos entre os séculos XVIII, XIX e XX. Essa contextualização deve evidenciar os objetivos da investigação historiográfica e explicitar sua relevância para a compreensão da ciência enquanto prática situada social e historicamente.

Posteriormente, deve-se proceder à explicitação da organização metodológica da sequência didática, incluindo o delineamento das fases da pesquisa, os instrumentos de mediação a serem utilizados, bem como o cronograma detalhado das atividades, com indicação das datas previstas para os encontros de orientação, socialização e análise.

Concluída a fase de apresentação, o(a) docente deve apresentar os atores da investigação definidos previamente e conduzir a formação dos grupos de trabalho. A constituição dos grupos pode seguir critérios diversos, a serem definidos em consonância com as características da turma e os objetivos pedagógicos da proposta, tais como diversidade de perfil dos estudantes, nível de autonomia ou afinidade temática.

Os atores utilizados nesse trabalho são:

1 – Caroline Herschel (1750 – 1848);

2 – Joseph Nièpce (1765 – 1833);

3 – John W. Draper (1811 – 1882);

4 – Samuel P. Langley (1834 – 1906);

5 – Edward Nichols (1854 – 1937);

6 – Willian Wollaston (1766 – 1828);

7 – Karl Jansky (1905 – 1950).

Na etapa de constituição dos grupos, é fundamental que o(a) professor assegure a homogeneidade quantitativa entre as equipes, de modo a garantir uma distribuição equitativa dos alunos, promovendo a eficiência colaborativa e a equidade na condução das tarefas investigativas. Uma vez definidos os agrupamentos, os respectivos temas de pesquisa e o cronograma de execução das atividades, procede-se à fase de introdução aos fundamentos conceituais da análise de redes.

Nesse momento, o(a) docente deve ministrar uma exposição sistematizada dos elementos estruturais que compõem uma rede, abordando categorias fundamentais como *nós* (entidades participantes), *laços* (relacionamentos estabelecidos) e *atores* (elementos humanos e não humanos implicados nas interações), de modo a instrumentalizar teoricamente os estudantes para as etapas subsequentes de modelagem e interpretação.

Em sequência, é introduzido o conceito de rede EGO, ressaltando sua função analítica como estrutura centrada em um ator focal e suas respectivas conexões de primeiro nível. Concluída essa introdução conceitual, o(a) docente deverá estabelecer os objetivos específicos para o primeiro encontro de orientação com os grupos, momento em que se dá início formal ao processo de investigação historiográfica orientada.

1.4 Recursos Utilizados

- Quadro.
- Televisão.
- Computador.

- *Software* de apresentação de slides.

1.5 Proposta de Avaliação

A avaliação dos estudantes está condicionada ao comparecimento e participação na aula.

2 ROTEIRO DOS ENCONTROS COM OS GRUPOS

O período compreendido entre a aula inicial e o momento destinado à elaboração coletiva da rede histórica deve ser inteiramente voltado à condução da investigação historiográfica por parte dos grupos de estudantes, com base nos temas previamente definidos. Nesse intervalo, ocorrem encontros de acompanhamento com os grupos, previamente organizados pelo(a) docente. Esses encontros devem ser distribuídos semanalmente ao longo do cronograma, a fim de assegurar tempo adequado para o avanço da pesquisa, a análise das fontes e a elaboração preliminar das redes EGO.

A cada reunião deve-se preencher o modelo de ficha de acompanhamento abaixo:

Ficha de Acompanhamento

Nº do Encontro:

O objetivo deste encontro é: _____.

Conhecer suas fontes de pesquisa, verificar o enfoque dado por cada um.

É esperado que os grupos tenham realizado uma pesquisa evidenciando _____.

Turma:	Grupo:	Tema:
Data:	Hora:	Duração:

Estudantes:	Presente	Ausente	Observações

Atividades desenvolvidas pelo grupo:

Principais orientações:

Dúvidas trazidas pelos alunos:

Anotações gerais:

Metas para o próximo encontro:

Figura 1- Ficha de Acompanhamento. Fonte: Costa (2023)

2.1 Objetivos gerais

- Estimular o interesse dos estudantes pela investigação histórica crítica;
- Oferecer suporte contínuo ao desenvolvimento das pesquisas em andamento;
- Orientar a resolução de impasses teóricos e metodológicos ao longo do processo investigativo;
- Contribuir para a avaliação da confiabilidade e da relevância das fontes utilizadas.

2.2 Objetivos específicos

Quadro 2 – Etapas e Objetivos do Processo Investigativo.

Etapa	Descrição
1. Reunião Inicial	Levantamento diagnóstico das concepções prévias dos discentes sobre o episódio histórico e sobre a natureza do conhecimento científico. Observação das estratégias metodológicas utilizadas pelos estudantes.
2. Reuniões Subsequentes	Encontros com caráter formativo e mediador. Estabelecimento de metas específicas considerando o progresso, dificuldades e potencialidades de cada grupo. Orientação contínua e acompanhamento individualizado da pesquisa.
3. Definição de Metas	Metas devem orientar a identificação e análise das articulações entre o tema investigado e o contexto histórico da evolução dos telescópios, com destaque ao impacto da fotografia. As conexões podem ser intelectuais, científicas, econômicas, tecnológicas ou empresariais, desde que analiticamente pertinentes.
4. Produto Final	Elaboração de material audiovisual que sintetize as relações entre o objeto de estudo e a emergência das tecnologias a vapor. Construção de uma rede EGO com o ator principal como nó central, conectando-se a outros atores históricos, formando uma malha interpretativa das interações.

Quadro 2 – Etapas e Objetivos do Processo Investigativo.

Fonte: o autor, 2025

2.3 Metas gerais para cada reunião

Quadro – Metas das Reuniões do Processo Investigativo.

Etapa	Descrição
1. Levantamento Bibliográfico Inicial	Apresentação do levantamento bibliográfico inicial realizado pelos grupos, visando identificar conexões entre o tema investigado e a evolução da radiação não visível. Exposição de documentos, fontes e materiais consultados para avaliação da coerência, relevância e diversidade das bases utilizadas.
2. Sistematização das Relações	Aprofundamento da análise das inter-relações entre o objeto investigado e o desenvolvimento histórico das tecnologias. Apresentação de sistematizações com representações gráficas iniciais que evidenciem articulações entre atores, eventos e contextos.
3. Consolidação e Apresentação Final	Consolidação dos resultados da investigação e elaboração de apresentação didática. Apresentação da rede EGO com o ator central e seus vínculos representados de forma clara, fundamentada e coerente com os dados historiográficos.

Quadro 3 – Metas das Reuniões do Processo Investigativo.

Fonte: o autor, 2025

2.4 Recursos utilizados

- Computadores com acesso à internet.

2.5 Proposta de Avaliação

A avaliação se constituirá no progresso e comentários dos alunos do decorrer do encontro.

3 APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS DESENVOLVIDOS PELOS GRUPOS.

3.1 Orientações para a elaboração dos trabalhos:

- Deve-se estabelecer uma data para que os estudantes apresentem os trabalhos feitos por eles;
- Os trabalhos podem ser elaborados da forma que os alunos preferirem, apresentação de slides, vídeos, entre outros;
- Os trabalhos devem possuir, na sua apresentação, duração mínima de 10 minutos e máxima de 15 minutos;
- Os trabalhos devem expor as justificativas para as conexões estabelecidas entre cada tema e demais elementos e devem conter a rede EGO de seu tema;

3.2 Orientações para a avaliação dos trabalhos:

- O(a) professor(a) deve analisar continuamente os trabalhos, observar os progressos e avaliar os conhecimentos adquiridos;
- Deve verificar se trazem a rede EGO e as referências utilizadas pelo grupo;
- Ao analisar os trabalhos é importante se atentar se o conteúdo é adequado ao ambiente escolar.

3.3 Apresentação dos trabalhos:

Recomenda-se realizar um sorteio antecipado, a fim de evitar possíveis contestações e insatisfações.

Feito isso, os estudantes devem comentar e fazer anotações de cada grupo da turma para que possam opinar sobre a construção da rede geral da turma.

4 PLANO DE AULA - CONSTRUÇÃO DA REDE HISTÓRICA GERAL

4.1 Identificação

Nível: Ensino Médio;

Tema: Construção da rede histórica geral da turma.

Duração: 50 minutos.

4.2 Objetivos

Promover a construção coletiva de uma rede histórica, com base na identificação e articulação de atores humanos e não humanos relevantes ao contexto do desenvolvimento dos estudos sobre o espectro da luz e a evolução dos telescópios, visando representar de forma relacional e sistêmica os múltiplos fatores — científicos, tecnológicos, econômicos e sociais — que contribuíram para esse processo histórico.

4.3 Metodologia

A aula será iniciada com uma pergunta motivadora, que visa instigar a reflexão dos estudantes sobre os limites do avanço científico no contexto das inovações tecnológicas. Um exemplo de questão é: *“Com as melhorias nos telescópios, cada vez maiores e capazes de observar novas partes do Universo, como os astrônomos poderiam ir além? Seriam as observações da Via Láctea o limite? Construir telescópios maiores seria a solução?”*. Caberá ao professor desenvolver a melhor questão para o seu contexto, levando em consideração aos seus alunos e comunidade.

Após a exposição da questão, o(a) professor(a) escreverá o nome mais votado pelos estudantes e os incentivará a estabelecer conexões entre esse ator e outros que considerem relevantes para a pesquisa. O(a) docente atuará como mediador(a), conduzindo o processo e orientando os estudantes a justificarem cada inserção de ator ou relação na rede, com base em argumentos coerentes.

A cada inserção de ator ou relação, o(a) professor(a) solicitará à turma que valide as justificativas apresentadas. Caso algum estudante discorde de uma justificativa, ele(a) deverá apresentar uma argumentação alternativa, sendo que a turma, de forma coletiva, decidirá se a justificativa será aceita ou não.

Uma vez estabelecidas as relações entre os atores humanos, o(a) professor(a) orientará os estudantes na inserção de atores não humanos na rede, sendo que, assim como com os atores humanos, cada novo ator ou relação deverá ser acompanhado de uma justificativa clara. A definição do que constitui um ator não humano será determinada em conjunto pelos estudantes.

Por fim, é fundamental que o desenvolvimento da aula seja registrado, seja por meio de gravações audiovisuais ou anotações, garantindo que todo o processo de construção da rede histórica seja devidamente documentado.

4.4 Recursos Utilizados

- Quadro e canetas
- Computador;
- *Software* de apresentação de slides;
- Televisão.

4.5 Proposta de Avaliação

A avaliação dos estudantes está condicionada ao comparecimento e participação na aula.

5 PLANO DE AULA - ANÁLISE DA REDE CONSTRUÍDA PELA TURMA

5.1 Identificação

Nível: Ensino Médio;

Tema: Análise da rede histórica geral da turma.

Duração: 50 minutos.

5.2 Objetivos

Analisar as diversas relações estabelecidas pelos estudantes durante a construção da rede histórica geral, com foco na identificação e interpretação das conexões entre atores humanos e não humanos, e na compreensão das implicações dessas relações para o contexto histórico do estudo do espectro da luz e evolução dos telescópios.

5.3 Metodologia

Após a construção coletiva da rede histórica pelos estudantes, o(a) professor(a) deve realizar uma análise aprofundada da rede e das relações estabelecidas. Nesse processo, é crucial que o(a) docente identifique os atores com maior e menor número de conexões, permitindo a discussão sobre as características estruturais da rede, como a centralidade de certos atores e a dispersão das relações.

Além disso, o(a) professor(a) deverá destacar os diversos elementos presentes na rede, explorando os diferentes tipos de relações entre os atores humanos e não humanos. Este momento deve ser utilizado para investigar como essas interações refletem os múltiplos aspectos da natureza da ciência, abordando questões como a construção coletiva do conhecimento, a influência dos contextos históricos e sociais e as conexões entre agentes humanos e não humanos.

Ao concluir a atividade, o(a) docente revisará o percurso metodológico, desde a pesquisa historiográfica até a construção da rede histórica, sintetizando os resultados obtidos e

reforçando os conceitos fundamentais discutidos ao longo do processo. A conclusão deve proporcionar uma reflexão crítica sobre as aprendizagens dos estudantes e as implicações da atividade para a compreensão do processo científico e histórico.

5.4 Recursos Utilizados

- Computador;
- *Software* de apresentação de slides;
- Televisão.

5.5 Proposta de Avaliação

A avaliação dos estudantes está condicionada ao comparecimento e participação à aula.

6 RECORTE HISTORIOGRÁFICO

A implementação deste produto exige que o professor tenha um entendimento simples e algum interesse no contexto histórico do desenvolvimento dos telescópios e da análise espectral da luz. E que essa apreciação do momento deva realmente ser tanto das causas - os precipitados sociais, econômicos, culturais e científicos que levaram a essas mudanças - quanto do efeito ou consequências, o resultado dessas inovações. Isso é razoável, pois o pedido pretende desvendar como as muitas relações relativas entre atores humanos e não-humanos foram cruciais para trazer à tona as técnicas e instrumentos da observação astronômica. A tarefa do professor é identificar tais assuntos que normalmente são deixados de fora da história convencional da ciência, mas que foram cruciais na formação histórica do telescópio e da espectroscopia, assim como apontar as múltiplas facetas que compuseram esse avanço técnico e epistêmico significativo.

A apreciação do telescópio como instrumento científico não deve ser considerada como uma série de passos mecânicos. Não é uma questão de natureza, mas sim um processo histórico, caracterizado por um estudo complicado da forma como sujeito, conhecimento, contextos sociais e materiais interagem. No intervalo do século XVIII ao início do século XX, o telescópio foi radicalmente transformado não apenas como um instrumento óptico, mas em seu status e papel nas práticas científicas e epistemológicas. Nesse período, a astronomia não era apenas uma ciência de observação a olho nu e registro empírico, mas durante esse período também começou a evoluir para uma ciência que era capaz de estender a sensibilidade humana além do alcance fornecido pelos cinco sentidos. O uso de lentes acromáticas, espelhos parabólicos de melhor qualidade e montagens equatoriais mais estáveis anunciaram uma revolução na produção e interpretação de dados astronômicos. Ademais, no que diz respeito ao uso da luz visível, as lentes foram um elemento essencial. Os telescópios eram refratores que dependiam de lentes para coletar e focar a luz. No entanto, eles tinham problemas como a aberração cromática que tingia as cores e tornava as imagens menos nítidas. A invenção das lentes acromáticas, lentes feitas de dois tipos diferentes de vidro que não têm o mesmo índice de refração, foi um grande desenvolvimento, pois as imagens eram muito mais precisas e livres de distorção.

Além disso, o aumento do tamanho da lente objetiva (e mais tarde do espelho dos refletores) permitiu uma maior coleta de luz, o que muitas vezes é um determinante crítico para observar objetos fracos no universo. Um segundo fator importante foi o aumento do tamanho

dos telescópios. Quanto maior o tamanho (diâmetro) da lente objetiva (ou espelho, no caso de um telescópio refletor), mais luz o instrumento pode coletar — um atributo importante para observar objetos celestes mais distantes ou fracos. Telescópios maiores também fornecem maior resolução angular, o que torna possível ver detalhes em objetos como a Lua e planetas, e em grandes aglomerados estelares. No universo da astronomia do século XVIII, Herschel aparece como uma peça importante no desenvolvimento de instrumentos científicos. Astrônomo e fabricante de instrumentos, Herschel fez e projetou grandes telescópios com espelhos de metal (cobre e estanho, em particular) que eram capazes de coletar a luz de objetos estelares fracos. Essa flexibilidade instrumental permitiu a astrônomos detectar um planeta (Urano), registrar nebulosas e aglomerados estelares, esboçar a forma de disco da galáxia Via Láctea e antecipar o debate cosmológico do século XX. O telescópio já não era apenas um simples instrumento de observação, mas um aparato experimental articulado com conjecturas teóricas e o potencial material da época. Além de suas atividades astronômicas, em 1800 William Herschel realizou uma série de experimentos elementares para investigar a natureza da luz solar, que levaram à descoberta da radiação infravermelha. Ao experimentar o efeito de aquecimento de diferentes porções do espectro solar além da extremidade vermelha, conforme refratado por um prisma, Herschel observou que a região além da extremidade vermelha - que não era visível ao olho humano - produzia o aumento máximo de temperatura. Essa descoberta apontou para a existência de radiação fora do visível e abriu caminho para o início da física da radiação térmica antes mesmo de o termo astrofísica infravermelha ser cunhado. Revelando mais sobre o que é a luz, sobre o que como fenômeno físico multiespectral é capaz de fazer, e por isso para o telescópio como um artefato com a promessa de sustentar a captura impossível do invisível — quebrando a percepção humana.

Sua irmã, Caroline Herschel (1750–1848), por sua vez, empregou esses instrumentos para catalogar cometas e objetos nebulosos; e ela foi celebrada por sua contribuição independente para a produção de conhecimento astronômico, uma exceção entre as mulheres na ciência de sua época. Não apenas sua parceria com William ilustrou a importância das redes familiares nas redes científicas, como também ampliou o escopo da observação astronômica no início do século XIX.

Concomitantemente, mudanças no mundo das imagens técnicas, por Joseph Nicéphore Niépce (1765–1833) e Louis Daguerre (1787–1851) acima de tudo, tiveram uma grande influência epistemológica. A fotografia, apesar de seu uso inicial para o registro da cena terrestre, foi logo adotada em procedimentos astronômicos. A opção de montar uma câmera no

telescópio serviu não apenas para despersonalizar (automatizar), mas também para aprimorar o registro e a replicabilidade das observações e seus objetos. A maioria dos detalhes é quase certamente dependente de sua exposição à astronomia, mas toda a descrição exemplifica um interesse mais amplo da criança real na fotografia inicial: o negativo, da invenção de Fox Talbot, torna-se uma extensão do olho humano e, assim, um certo tipo de progresso enorme para os astrônomos: com Fox Talbot eles poderiam "possuir" a lua. Esse suporte foi essencial para o estabelecimento da astrofotografia como um satélite e, posteriormente, como uma parte componente da astronomia observacional. Neste local, o filho de William, John Herschel (1792–1871) (sobrinho de Caroline) foi instrumental na articulação da fotografia, espectroscopia e ciência astronômica. Com uma curiosidade científica herdada ("os germes de instrução" colocados aos pés de seu pai), John não apenas continuou o trabalho de seu pai, mas emergiu como uma luz líder da fotografia científica trabalhando pessoalmente com Talbot. Seu trabalho ajudou a solidificar a fotografia como a linguagem técnica da ciência e ajudou a fundir o olhar espectral e o registro visual dentro do mesmo regime epistêmico. No entanto, assim como, do lado das humanidades, a colaboração a três mãos fala da convergência da erudição textual e histórica e dos recursos arquivísticos, assim, do lado científico, a presença de três gerações de Herschel testemunha a influência localizadora da tradição familiar, biografia científica, mudança técnica.

Por outro lado, John William Draper (1811–1882) emerge como um dos protagonistas na fusão da fotografia e espectroscopia. Draper, por quem foi tirada a primeira fotografia bem-sucedida da Lua, também está entre os fundadores do registro astro fotográfico de imagens espetrais, integrando vários métodos de registro e avaliação para as placas fotográficas. Seu trabalho sintetiza a formação de um novo regime visual na ciência em que a imagem é mais do que apenas um suporte para ilustrar, mas também é uma forma constituinte de conhecimento. Durante esse mesmo período, a ascensão da espectroscopia levou especialistas a discernir a composição elementar das estrelas a partir de sua luz, levando a novos grandes insights sobre as leis da física, e uma nova subdisciplina seria lançada: a astrofísica. Da mesma forma, a introdução da "fotografia astronômica" - com referência específica ao trabalho inovador realizado no final do século XIX - mudou completamente a prática observacional: onde o olho humano foi substituído pelas placas fotográficas, capazes de armazenar a informação meteorológica mais sensível e menos distorcida.

A mudança da identificação visual para a espectroscópica foi iniciada por William Hyde Wollaston (1766–1828), que observou linhas escuras no espectro solar (na verdade, essas linhas

já haviam sido vistas vários anos antes por outros, mas sua natureza não foi reconhecida), antecipando o esboço da espectroscopia. Esse mecanismo abriu um novo aspecto do telescópio como um dispositivo que não apenas ampliava a visão, mas servia como um dispositivo para facilitar e mediar a decomposição e exame da luz celestial, permitindo inferências sobre a composição físico-química dos corpos sob observação. É interessante notar que Wollaston manteve correspondência científica com William Herschel e compartilhava seus interesses na natureza da luz e no espectro solar. Essa proximidade epistêmica revela como o desenvolvimento dos instrumentos de observação estava fortemente entrelaçado com a difusão de teorias em física e astronomia que caracterizavam o mundo intelectual da época. A importância dessa descoberta não passou despercebida pelos cientistas do século XIX. Wollaston, que foi contemporâneo e interlocutor de Herschel, notou, enquanto experimentava com prismas, que havia linhas escuras no espectro da luz solar, embora, na época, ele não atribuísse a elas a significância sistemática que só foi revelada mais tarde por Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826), que, ao desenvolver o espectroscópio e investigar a luz solar, distinguiu ali mais de 500 linhas escuras estacionárias — atualmente chamadas de linhas de Fraunhofer. Isso costumava ser um novo papel do telescópio, que se tornou não apenas "amplificador" da visão, mas mediador da decomposição e análise da luz celestial, e consequentemente das deduções sobre a composição físico-química dos corpos observados. Por acaso, Wollaston correspondia-se com William Herschel e, como ele, tinha preocupações semelhantes sobre a luz e o espectro solar. Essa proximidade epistêmica mostra que o desenvolvimento dos instrumentos de observação estava intimamente ligado à troca de ideias entre os físicos e astrônomos da época. A aproximação concomitante de Herschel e Wollaston mostra uma convergência de interesses na decomposição da luz e no discernimento de seus fenômenos físicos, e aponta para a constituição de uma nova epistemologia da observação, em que o invisível se torna mensurável, e que o espectro é o objeto de investigação científica por excelência. A revolução nas técnicas e instrumentos da astronomia no final do século XIX revelou novos resultados importantes que solidificaram novas perspectivas científicas.

Um dos atores que contribuíram para esse processo foi Samuel Pierpont Langley (1834–1906), que desempenhou um papel criativo na construção do bolômetro, um dispositivo térmico altamente sensível projetado para detectar pequenas variações de temperatura devido à presença de radiação infravermelha. Baseando-se no trabalho inovador de William Herschel, Langley ampliou significativamente o alcance do espectro visível ao estudar a radiação do Sol e da Lua. Seu trabalho exigiu grandes modificações nos telescópios de sua época, que tiveram que ser

transformados em instrumentos híbridos equipados com sensores térmicos, ópticos e elétricos. Essa combinação de diferentes tecnologias significou o aumento do nível de complexidade e refinamento dos aparelhos científicos — o alcance da exploração não estava mais limitado à luz visível. Ao fazer da radiação infravermelha um assunto de pesquisa astronômica, Langley não apenas confirmou a utilidade dos tesouros científicos anteriores, mas também liderou o surgimento da astrofísica moderna, particularmente na fotometria térmica.

Ao mesmo tempo, Edward Nichols (1854–1937) estava encarregado da atualização metrológica dos instrumentos ópticos e da precisão dos métodos espectroscópicos. Em seu trabalho, ele lidou com o exame exato das propriedades da radiação eletromagnética e das propriedades ópticas de uma variedade de materiais, o que levou a um aumento significativo na estabilidade e precisão dos instrumentos que medem a luz do cosmos. Nichols também refinou técnicas para leituras mais precisas e confiáveis de dados espectroscópicos, o que, por sua vez, expandiu o conhecimento científico sobre o caráter físico, químico e cósmico da radiação. Inspirado pelas descobertas e técnicas de Herschel e Langley, Nichols foi uma amalgama intelectual que sintetizou os legados empiricamente saborosos do século XVIII com os desenvolvimentos metrológicos precisos do século XX, garantindo a espectroscopia como uma modalidade central da astronomia observacional.

Finalmente, no início do século XX, a história do telescópio tomou um rumo dramático quando sinais foram descobertos vindo do centro da galáxia por Karl Jansky (1905–1950) com uma antena que ele construiu para examinar a interferência de rádio. A partir desse ponto, a radioastronomia fez sua aparição, o que não apenas alterou o escopo da observação astronômica, mas também o significado do próprio telescópio, que começou a ser interpretado como um dispositivo tecnológico sensível a diferentes bandas eletromagnéticas.

As conexões entre essas várias personagens históricas — William e Caroline Herschel, Wollaston, Niépce, Daguerre, Talbot, Draper, Langley, Nichols e Jansky — articulam uma rede entrelaçada de infraestrutura intelectual e técnica da qual instrumentos ópticos, fotografia, espectroscopia e tecnologia de rádio estavam sendo absorvidos na prática da astronomia. Em vez de uma criação isolada, ou simplesmente a consequência do trabalho de gênios individuais, o telescópio tornou-se solidificado como um artefato coletivo, criado por camadas sucessivas de conhecimento material e por vários tipos de sensibilidade instrumental. Essa trajetória é uma indicação não apenas do caráter incremental da ciência, mas também de sua natureza

colaborativa, na qual várias áreas do conhecimento e atores — humanos e não humanos — colaboram na construção de novas possibilidades para visualizar e entender o universo.

7 REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, M. C. A Montagem de Redes Históricas no Ensino: uma visão complexa da ciência. 2018. 192 f. **Tese** (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2018.
- COSTA, Shaiane Silva de Oliveira e. A construção e análise de redes históricas para o ensino de física: máquinas a vapor. 2023. 151 f. **Dissertação** (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2023.
- FORATO, Thaís C. M.; MARTINS, Roberto de A.; PIETROCOLA, Maurício. Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, p. 27-59, jan. 2011.
- LATOUR, B. **Reaggregando o social**: uma introdução à teoria do Ator-Rede. Bauru: Edusc, 2012.