

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

SHAIANE SILVA DE OLIVEIRA E COSTA

**A CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE REDES HISTÓRICAS PARA O ENSINO DE
FÍSICA: MÁQUINAS A VAPOR.**

JUIZ DE FORA

2023

SHAIANE SILVA DE OLIVEIRA E COSTA

**A CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE REDES HISTÓRICAS PARA O ENSINO DE
FÍSICA: MÁQUINAS A VAPOR.**

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: Dr. Marlon Cesar de Alcantara

Coorientador: Dr. Bruno Gonçalves

JUIZ DE FORA

2023

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

Costa, Shaiane Silva de Oliveira e.

A construção e análise de Redes Históricas para o ensino de Física : máquinas a vapor / Shaiane Silva de Oliveira e Costa. -- 2023.

150 f. : il.

Orientador: Marlon Cesar de Alcantara

Coorientador: Bruno Gonçalves

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Física, 2023.

1. Ensino de Física. 2. Redes Históricas. 3. Natureza da Ciência. 4. Máquinas a Vapor . 5. História da Ciência. I. Alcantara, Marlon Cesar de , orient. II. Gonçalves, Bruno, coorient. III. Título.

SHAIANE SILVA DE OLIVEIRA E COSTA

**A CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE REDES HISTÓRICAS PARA O ENSINO DE
FÍSICA: MÁQUINAS A VAPOR.**

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 28 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara - Orientador

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Bruno Gonçalves - Coorientador

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Emanuel José Reis de Oliveira

Instituto Federal do Espírito Santo

Wagner Tadeu Jardim

Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais

Juiz de Fora, 25/07/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Marlon Cesar de Alcantara, Usuário Externo**, em 28/07/2023, às 19:12, 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 **Wagner Tadeu Jardim, Usuário Externo**, em 29/07/2023, às 10:56, 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 **Emanuel José Reis de Oliveira, Usuário Externo**, em 01/08/2023, às 20:58, 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 **Bruno Gonçalves, Usuário Externo**, em 09/08/2023, às 10:26, 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-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1379758** e o código CRC **285E5B12**.

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse concluído. Ainda que, mesmo que eu quisesse, seria incapaz de expor em palavras o quanto sou grata por todos que fizeram parte desse processo.

Agradeço à minha família que com carinho e palavras de motivação, sempre apoiou minhas decisões, ainda que essas me fizessem ausente em alguns momentos. Agradeço principalmente a meu pai Luis Carlos, minha mãe Sandra, meu irmão Leonardo e minha avó Concebida, que foram fundamentais para conclusão desta dissertação. E a meu esposo Diego, agradeço pelas incontáveis horas que me ouviu e me aconselhou, pela paciência e compreensão durante esta etapa, pelas revisões de texto e pelos cafés oferecidos.

Agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação, tanto da graduação, quanto do mestrado, fornecendo os subsídios necessários que me permitiram ser a profissional que sou hoje. Agradeço ao meu orientador Marlon, pelas horas de dedicação, por me acompanhar e por me auxiliar de maneira acolhedora. Ao meu coorientador Bruno, agradeço pelas palavras de apoio. Vocês tornaram possível a conclusão desta dissertação e fizeram desta etapa um momento de aprendizado indescritível.

Agradeço aos membros do grupo de pesquisa que me auxiliaram nas pesquisas através de seminários, Bárbara, Rosilene, Lucas e Marlon, nossas discussões foram inspiradoras.

Agradeço aos amigos que a vida acadêmica me proporcionou, em especial, a Renata e ao Genes, que foram minhas parcerias durante o mestrado, que fizeram esta etapa mais acolhedora. Agradeço também aos meus colegas de trabalho, pelas caronas que me permitiram escrever mais um pouquinho, por me escutarem e motivarem, e pelas caminhadas na hora do almoço que foram convertidas em escrita.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas”. (Carl Sagan).

RESUMO

Esta dissertação consiste na proposição e avaliação de um produto educacional que tem por objetivo auxiliar o desenvolvimento das habilidades dos estudantes relacionadas à compreensão de aspectos da Natureza da Ciência. Nosso recorte histórico foi estabelecido no advento das máquinas a vapor nos séculos XVIII e XIX. Para tanto, exploramos a metodologia de construção e análise de redes históricas. A presente dissertação apresenta um percurso metodológico que coloca o estudante como protagonista do processo de pesquisa e construção das redes, obtido a partir de grupos de investigação, em que o(a) professor(a) atua como mediador(a) desse processo. A necessidade de trabalhar aspectos do desenvolvimento da ciência está prevista nos documentos regulamentadores do Ensino de Física, para o Ensino Médio no Brasil, que direcionam o ensino à compreensão das ciências como empreendimento humano, relacionadas ao desenvolvimento sócio-histórico e cultural. Nesta dissertação, reunimos argumentos que reforçam a importância de explorar aspectos da Natureza da Ciência na educação básica, e que pontuam a historiografia da ciência como um recurso promissor para esse fim. Para formar a base necessária e assim auxiliar o(a) professor(a) na aplicação deste produto, a dissertação aborda o conceito de redes sociais, seus elementos e potencialidades, que neste caso, consiste no estabelecimento de relações em sistema complexo que envolvem um episódio histórico. Ainda nessa direção, a dissertação apresenta um texto histórico sobre advento das máquinas a vapor, tratando o conhecimento como uma rede de maneira a evidenciar as relações entre atores humanos e não humanos relevantes a esse recorte histórico, explorando assim, diversos aspectos da Natureza da Ciência. Finalmente, esta dissertação expõe a metodologia utilizada, a aplicação do produto e os resultados obtidos.

Palavras-chave: Ensino de Física, Redes Históricas, Natureza da Ciência, Máquinas a Vapor, Grupos Colaborativos, História da Ciência.

ABSTRACT

This dissertation consists of the proposition and evaluation of an educational product aimed at assisting the development of students' skills related to the understanding of aspects of the Nature of Science. Our historical focus was established in the advent of steam engines in the 18th and 19th centuries. For this purpose, we explored the methodology of constructing and analyzing historical networks. This dissertation presents a methodological path that places the student as the protagonist of the research and network construction process, obtained through research groups, in which the teacher acts as a moderator of the process. The necessity to address aspects of scientific development is foreseen in the regulatory documents of Physics Education in secondary education in Brazil, which direct the teaching towards the understanding of science as a human endeavor, related to socio-historical and cultural development. In this dissertation, we gather arguments that reinforce the importance of exploring aspects of the Nature of Science in secondary education and highlight the historiography of science as a promising resource for this purpose. To form the necessary foundation and assist the teacher in applying this product, the dissertation addresses the concept of social networks, their elements, and potentialities, which, in this case, consist of establishing relations within a complex system involving a historical episode. Furthermore, the dissertation presents a historical text on the advent of steam engines, treating knowledge as a network in order to highlight the relations between relevant human and non-human actors in this historical context, thus exploring various aspects of the Nature of Science. Finally, this dissertation exposes the methodology used, the application of the product, and the obtained results.

Keywords: Physics Education, Historical Networks, Nature of Science, Steam Engines, Collaborative Groups, History of Science.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pontes de Königsberg, representação de grafos.....	26
Figura 2 - Representação da relação de 24 indivíduos.	28
Figura 3- Laços fracos	29
Figura 4- Probabilidade de duas pessoas se conhecerem	31
Figura 5 – Rede de coautoria em medicina evolutiva, em 2007.	33
Figura 6 – Rede de correspondências.	36
Figura 7 – Capa da Revista Isis.	38
Figura 8- G. Garrard, Mr. Whitebread’s Warf (O galpão do Samuel Whitbread, 1784).	47
Figura 9- W. Turner, <i>The Fighting Temeraire tugged to her last berth to be broken up</i> (O Combatente Téméraire, 1838).	47
Figura 10 - Grã-Bretanha, século XVIII.....	49
Figura 11- Representação do dispositivo proposto por Papin.	52
Figura 12– Representação da Máquina de Savery.....	54
Figura 13- Motor para elevar água pelo fogo, 1717 – Motor de Newcomen.....	57
Figura 14- Construção das máquinas de Savery/Newcomen entre 1700 e 1733, na Grã-Bretanha.....	58
Figura 15- Construção das máquinas de Newcomen entre 1733 e 1774, na Grã-Bretanha.	60
Figura 16 – Modelo da máquina de Newcomen.....	63
Figura 17- Preço do carvão por volta de 1800 – Grã Bretanha	67
Figura 19- Construção das máquinas de Watt entre 1755 e 1800.	67
Figura 18- Construção das máquinas de Newcomen entre 1755 e 1800.....	67
Figura 20 – Motor composto.	70
Figura 21- <i>Bull Cornish Engine</i>	71
Figura 22 - Mapa mental do grupo X1.	86
Figura 23 - Rede do grupo X1.	88
Figura 24- Rede EGO do grupo X3.....	90
Figura 25- Rede EGO do grupo X4.....	91
Figura 26- Rede EGO do grupo X5.....	92
Figura 27- Rede EGO do grupo X6.....	93
Figura 28- Rede EGO do grupo X7.....	94
Figura 29- Rede EGO do grupo X8.....	96
Figura 30- Rede do grupo Y1.....	96
Figura 31- Rede do grupo Y1.....	98
Figura 32- Rede EGO do grupo Y3.....	99
Figura 33- Rede EGO do grupo Y5.....	101
Figura 34- Rede EGO do grupo Y6.....	102
Figura 35- Rede EGO do grupo Y7.....	104
Figura 36- Rede EGO do grupo Y8.....	105
Figura 37- Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma X.	109
Figura 38- Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma X, tratada no <i>Gephi</i>	109
Figura 39- Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma Y.	112
Figura 40 - Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma Y, tratada no <i>Gephi</i>	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARS	Análise de Redes Sociais
ASRH	Análise Social de Redes Históricas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CKCC	Circulation of Knowledge and Learned Practices in the 17th-century Dutch Republic
CRMG	Currículo Referência de Minas Gerais
HC	História da Ciência
HFC	História e Filosofia da Ciência
HNR	Historical Network Research
HSS	History of Science Society
JHNR	Journal of Historical Network Research
MRH	Montagem de Redes Históricas
NdC	Natureza da Ciência
PRH	Pesquisa em Redes Históricas
Séc.	Século
SNAC	Social Networks and Archival Context

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	14
2.0 NATUREZA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE FÍSICA:	18
3.0 REDES.....	25
2.1 O QUE SÃO REDES? BREVE HISTÓRICO.	25
2.2 ANÁLISE DE REDES SOCIAIS.....	32
2.3 REDES HISTÓRICAS E O ENSINO.	35
4.0 METODOLOGIA:	39
4.1 ANÁLISE DA LITERATURA E COMPOSIÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO: .	39
4.2 MONTAGEM DO RECORTE HISTORIOGRÁFICO:	39
4.3 O ESTUDO DE CASO: PROPOSTA DE MONTAGEM DE REDES HISTÓRICAS:	40
4.5 COLETA DE DADOS:	40
4.6 ANÁLISE DA ENUNCIÇÃO:.....	41
4.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO:	41
4.8 PERCURSO METODOLÓGICO:	42
5.0 MÁQUINAS A VAPOR:.....	45
5.1 INGLATERRA E EUROPA NO SÉCULO XVIII E XIX.....	45
5.2 CONTRIBUINTES ESSENCIAIS	49
5.2.1 O carvão como fonte de energia.	50
5.2.2 A Grã-Bretanha conhece a energia a vapor.....	56
5.2.3 o modelo de bancada da máquina a vapor.....	61
5.2.4 A indústria de máquinas a vapor.	64
5.2.5 A ciência e as máquinas a vapor.	75
6.0 RESULTADOS	82
6.1 PESQUISA HISTORIOGRÁFICA E REUNIÕES.....	83
6.1.1 Primeira reunião com os grupos	83
6.1.2 Segunda reunião com os grupos.....	85
6.1.3 Terceira reunião com os grupos.....	87
6.2 ANÁLISE DOS VÍDEOS E DAS REDES EGO.	87
6.3 CONSTRUÇÃO DAS REDES HISTÓRICAS GERAIS.	105
6.3.1 MHR - Turma X:.....	105
6.3.2 MHR - TURMA Y:	110
7.0 CONCLUSÕES.....	114

REFERÊNCIAS	117
APÊNDICE 1 – DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS A VAPOR I	
APÊNDICE 2 – ORGANIZAÇÃO DAS ATIVIDADES.	III
APÊNDICE 3 – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DAS REUNIÕES.....	IV

1.0 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o acesso à educação básica e superior foi ampliado, dessa forma um maior número de pessoas teve contato com os conteúdos relacionados às diferentes áreas do conhecimento, incluindo, assim como as outras ciências, a física. No entanto, algumas situações do cotidiano revelam que embora muitas pessoas tenham concluído com êxito a formação básica em ciências, a compreensão do que é a ciência, e de como ela funciona, ainda é distante para elas (RATCLIFFE & GRACE, 2003).

As compreensões equivocadas da ciência, além de afetar negativamente as tomadas de decisão individuais e coletivas, podem ser um fator desestimulante para os estudantes. Estes que ao se depararem com a compreensão de uma ciência que já está finalizada, estabelecida por gênios isolados e alheia a demais aspectos da sociedade, podem tê-la como algo inatingível. Por isso, a escola básica deve ser um espaço que promova discussões sobre a relação das ciências com os mais diversos aspectos da sociedade.

Forato, Martins & Pietrocola (2011), apresentaram argumentos que direcionam a historiografia da ciência como uma ferramenta útil para a promoção da compreensão da ciência como um empreendimento humano. Nessa direção, esta dissertação tem por objetivo a construção de um produto educacional que se baseie na utilização de uma sequência didática que envolve a Montagem de Redes Históricas (MRH) e a Análise Social de Redes Históricas (ASRH), para o Ensino de Física, na educação básica. Espera-se que com essa atividade os estudantes sejam capazes de desenvolver habilidades relacionadas a compreensão de aspectos da Natureza da Ciência (NdC).

O recorte histórico escolhido foi o do advento das máquinas a vapor nos séculos XVIII e XIX, principalmente, por se tratar de uma parte da Física em que, geralmente, os livros didáticos trazem uma breve apresentação. É comum nesses livros a relação desse advento com o desenvolvimento tecnológico que impulsionou a Revolução Industrial. Embora exista a intenção de contextualizar as máquinas a vapor com seu período de desenvolvimento, muitas vezes esses livros o fazem de maneira linear, expondo o desenvolvimento da máquina a vapor de Thomas Savery (1650-1715), que posteriormente foi melhorada por Thomas Newcomen (1664-1729) e, finalmente, a construção da máquina de James Watt (1736-1819) que revolucionou as formas de produção.

Mas, ao não explorarem as motivações desses atores, as inúmeras parcerias estabelecidas entre eles e outros atores, ao meio social em que estavam inseridos, ou ainda, o

porquê de o desenvolvimento desses dispositivos ter ocorrido na Inglaterra, esses livros reforçam as visões distorcidas da ciência.

A utilização da MHR como recurso para promover a discussão de aspectos da NdC com estudantes do ensino médio foi proposta por Alcantara (2018), em sua tese de doutorado de título “A montagem de Redes Históricas no ensino: Uma visão complexa da ciência.”. Nessa mesma direção, Lommi & Koponen (2019) também propuseram a utilização das redes históricas no ensino de Física.

Em 2019, um grupo de pesquisa foi estabelecido no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, campus Juiz de Fora, iniciando uma série de reuniões, a fim de explorar os conceitos da Análise de Redes Sociais (ARS) e as perspectivas da NdC no o ensino de Física. Neste grupo de pesquisa, analisamos e discutimos o livro “*Linked*” de Barabási (2009), que aborda os principais conceitos de redes, desde sua origem às suas diversas aplicações. Também, assistimos ao vídeo “*Connected: The Power of Six Degrees¹*”, que consiste em um documentário abordando a teoria dos Seis Graus de Separação. A partir dessas reuniões e discussões, pude reforçar minhas perspectivas sobre a potencialidade do uso de redes para representar as mais variadas relações que o fazer científico estabelece.

Ainda nesse grupo de pesquisa, analisamos e discutimos sobre o trabalho de alguns autores que defendem a utilização da NdC em sala de aula, na promoção de uma compreensão adequada sobre a ciência e a importância dessa compreensão, como o trabalho de Forato, Martins & Pietrocola (2011), Moura (2012), Gil-Pérez et al., (2001) entre outros trabalhos citados no corpo desta dissertação.

Esses seminários foram essenciais para a consolidação do produto educacional, proposto nesta dissertação. Este produto, consiste em um percurso metodológico de pesquisa historiográfica, através de grupos colaborativos, que culmina na construção e análise de redes históricas, tendo os estudantes o papel de agentes pesquisadores e o(a) professor(a) o papel de mediador(a) de todo o processo.

Ainda em 2019, aplicamos um projeto piloto, presencialmente, a estudantes do 2º ano do ensino técnico integrado ao ensino médio do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora. Este projeto teve como objetivo testar as potencialidades do percurso metodológico desenvolvido e verificar se o uso de MRH auxilia no desenvolvimento de habilidades relacionadas a compreensão de aspectos da NdC. Os resultados dessa aplicação foram positivos e apresentados em 2020 no XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física

¹ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2rzxAY7D7k>>. Acesso em 03 jun. 2023.

(EPEF), sob o título “Tecendo elementos sociais da ciência a partir de grupos colaborativos: máquinas a vapor” (OLIVEIRA; ALCANTARA; MARROCO & GONÇALVES, 2020). Através deste projeto, refinamos alguns detalhes da aplicação e construir o produto educacional, que foi aplicado em 2021.

No segundo capítulo desta dissertação, elencamos diversos autores que ressaltam e argumentam sobre a importância de se saber sobre a ciência. Buscamos evidenciar a relevância das discussões sobre aspectos da NdC na educação básica. Bem como os documentos regulamentadores da educação básica, como a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), entre outros, que direcionam o ensino de Física, à compreensão do mundo em que vivemos, de maneira a formar cidadãos críticos, conscientes e capazes de utilizar os saberes escolares na sociedade.

Já no quarto capítulo, trazemos a metodologia utilizada na aplicação do produto, bem como um relato dessa aplicação. Que ocorreu de maneira remota, devido a pandemia do COVID-19. E que, por isso, passou por adaptações como as reuniões com os grupos por meio de videochamadas, aulas síncronas e assíncronas, a utilização de vídeos para apresentação dos resultados obtidos pelos grupos e a criação de um canal do *youtube*² para disponibilização e monitoramento do acesso a esses vídeos.

Como esta dissertação visa proporcionar as condições necessárias, para que outro (a) professor (a), possa aplicar o produto aqui proposto, foi preciso construir dois capítulos voltados para esse fim. E este é o caso dos capítulos três e cinco.

O capítulo três traz um breve relato sobre a ciência das Redes, evidenciando os seus principais elementos e aplicações. Este capítulo conta com dois subcapítulos, um que trata da ARS, seu desenvolvimento, aplicações e potencialidades. O outro subcapítulo relaciona o uso das redes ao ensino de ciências, expondo como trabalhos que envolvem esse tema vêm aparecendo em algumas revistas voltadas para história da ciência, nos últimos anos.

No quinto capítulo buscamos construir um texto histórico, dentro do recorte do advento das máquinas a vapor, que proporcione a compreensão do(a) professor(a) da complexidade desse advento, estabelecendo conexões com diferentes elementos, incluindo elementos que muitas vezes são invisíveis à ciência. Neste capítulo, evidenciamos as mais variadas conexões relevantes a esse advento, como as motivações, o contexto social, a cultura, a economia, as

² Canal: Máquinas a Vapor Produto Educacional, disponível em: <<https://www.youtube.com/@maquinasavaporprodutoeduca4052>>. Acesso em: 04 jun. 2023. Os conteúdos desse canal foram disponibilizados na categoria “não listados”, a fim de garantir a privacidade dos estudantes. Dessa forma, só é possível acessar os vídeos a partir do *link* de cada um deles separadamente.

condições naturais, a ciência disponível da época e os fatores que influenciaram no desenvolvimento e difusão de diferentes máquinas. Este capítulo é dividido nos seguintes subcapítulos: “Inglaterra e Europa no século XVIII”, “O carvão como fonte de energia”, “A Grã-Bretanha conhece a energia a vapor”, “O modelo de bancada da máquina a vapor”, “A indústria das máquinas a vapor” e “A ciência das máquinas a vapor”.

No sexto capítulo, trazemos os resultados obtidos com a aplicação do produto em questão, a partir da análise de discurso dos estudantes durante todo o percurso metodológico. O primeiro subcapítulo evidencia discurso dos estudantes durante a pesquisa historiográfica, realizada por eles e mediada pela professora, a cada quinzena, durante as três reuniões que ocorreram. Na sequência, o segundo subcapítulo traz a análise dos vídeos e das redes EGO³, construídos por cada grupo ao final da pesquisa historiográfica. O terceiro subcapítulo, aborda os resultados da construção da rede final, nele é possível identificar de fato a potencialidade do produto aqui proposto.

Por fim, o sétimo capítulo, traz as conclusões finais da aplicação desse produto, bem como uma breve comparação entre os resultados obtidos pelo projeto piloto (presencial) e o produto final (remoto). Ressaltamos neste capítulo, os principais desafios encontrados na aplicação do produto e sugerimos maneiras para contorná-los. Evidenciamos também como a percepção dos estudantes sobre a ciência se modificou durante o percurso metodológico.

³ Redes EGO são um tipo particular de rede que mapeia especificamente as conexões de uma única pessoa (um “ego”).

2.0 NATUREZA DA CIÊNCIA E O ENSINO DE FÍSICA:

Num mundo cada vez mais tecnológico, onde o acesso à informação ocorre de maneira rápida e dinâmica, vem se tornando mais evidente a necessidade de estreitar a relação entre os conhecimentos científicos e os conhecimentos sobre a ciência. Principalmente quando pensamos em uma educação em ciências que permita a formação de pessoas capazes de compreender os limites, potencialidades e aplicações da ciência. Alcançar esse tipo de educação se mostra substancial para auxiliar na tomada de atitudes individuais e coletivas frente a questões científicas, que vão desde as intensas inovações tecnológicas, até a prevenção e contenção de novas doenças. Para isso, a formação escolar em ciências deve se atentar à formação de pessoas que sejam capazes de compreender a dinâmica e a complexidade do fazer científico.

Dessa forma, assim como Ryder (2001), concordamos que muito do conhecimento da ciência relevante para as pessoas, se trata do conhecimento sobre a ciência, e não somente do próprio conhecimento científico. Alinhamos também, com Forato, Martins & Pietrocola (2011), no entendimento de que uma educação sobre a ciência não se trata do distanciamento do ensino dos conteúdos específicos da ciência, mas de uma conexão entre esses conteúdos e os demais aspectos culturais, sociais, econômicos, dentre outros, da ciência.

Em concordância com essas colocações, os objetivos do ensino dos conteúdos de ciências da natureza, na educação básica, direcionam aos saberes escolares, também, aos desenvolvimentos de habilidades relacionadas ao conhecimento sobre a ciência. Esse direcionamento pode ser observado em diversos trechos dos documentos que visam estabelecer as competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes durante a sua formação básica, entre eles a BNCC e o CRMG (currículo referência de Minas Gerais). Na direção do entendimento sobre a importância da educação sobre as ciências a BNCC, traz em um trecho da introdução sobre a área de natureza das ciências no ensino médio, a seguinte colocação:

“[...] poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos [...]. Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população. É importante destacar que aprender Ciências da Natureza vai além do aprendizado de seus conteúdos conceituais. Nessa perspectiva, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química – define competências e habilidades que permitem a ampliação e a sistematização das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental no que se refere: aos conhecimentos conceituais da área; à contextualização social, cultural, ambiental e histórica desses conhecimentos; aos processos e práticas de investigação e às linguagens das Ciências da Natureza. [...]” (BRASIL, 2018)

Essa compreensão da ciência, sobretudo da Física, prevista nos documentos regulamentadores, também é defendida por diversos autores, sobretudo, os que se dedicam a Natureza da Ciência, como Abd-El-Khalick e Lederman (2000), Irzik e Nola (2011), Allchin (2011), Martins (2015), entre outros. Mesmo que exista trabalhos acadêmicos e documentos norteadores revelando a importância de se trabalhar conteúdos científicos em composição com aspectos da NdC, ainda existem muitos desafios para romper com as visões deformadas sobre a ciência, como demonstrado por Gil-Pérez e seus colaboradores, em 2001. Os mesmos autores identificam que essas visões distorcidas da ciência não são somente observadas por estudantes do Ensino Médio. Elas estão presentes no ensino universitário, e mesmo na formação de professores de Ciência (Física, Química e Biologia) colaborando para, por exemplo “propagar visões empírico indutivistas da ciência que se distanciam largamente da forma como se constroem e produzem os conhecimentos científicos” (GIL-PÉREZ et al., 2001).

Uma pesquisa feita nos Estados Unidos da América com 16 professores de História da Ciência (HC), procurou investigar, além de outras coisas, as 10 razões principais para justificar o ensino de HC na formação dos professores. Essas razões podem ser observadas no Quadro 1.

Quadro 1 – 10 razões para justificar o ensino de HC.

1	Revela que a ciência é um empreendimento Humano.
2	Mostra o papel da cultura, da sociedade e da política em ciência.
3	A HC pode ilustrar que não existe um único método científico.
4	Conclusões científicas mudam com o tempo.
5	A ciência é um processo e não uma coleção de fatos.
6	A HC pode fornecer uma imagem mais realista da ciência retratando falhas e desacordos. Mostrando a criatividade, o trabalho árduo e a motivação.
7	A HC ajuda os professores a entender melhor o conteúdo de ciências.
8	Aulas de HC fornecem aos professores as habilidades pedagógicas necessárias para ensinar alunos diversos com sucesso.
9	A HC fornece aos professores habilidades para ensinar resolução de problemas, pensamento crítico, categorização e análise.
10	Aprender HC desenvolve o conhecimento dos professores para superar equívocos sobre HC em livros didáticos.

Fonte: (NOURI; MCCOMAS, & APONTE-MARTINEZ, 2019, adaptado - Tradução nossa).

Um trabalho de revisão da literatura de NdC feito por Cofré e seus colaboradores (2019) analisou 52 artigos em nove periódicos internacionais e encontrou semelhanças entre as orientações do trabalho de Nouri; McComas & Aponte-Martinez (2019) e as várias concepções

equivocadas de alunos da educação básica, licenciandos e professores de ciências (*K-12 students, pre-service, and in-service science teachers*). Eles identificaram que estudantes e professores tendem a ver a ciência como uma coleção de fatos, em vez de um processo de investigação. Além disso, os autores destacam que tanto estudantes quanto professores observam a ciência como uma progressão linear, negligenciando a natureza iterativa e autocrítica da investigação científica.

O conhecimento de aspectos da NdC, quando colocados dentro de uma proposta de ensino, passa também por uma questão de análise de objetivos. Uma pergunta importante a ser feita consiste em se perguntar quais são os aspectos mais relevantes da NdC que devem ser trabalhados em sala de aula (OSBORNE, et al., 2003). Essa pergunta pode ser respondida, pelo menos, de duas formas diferentes. Uma tentativa seria investigar quais são os aspectos de NdC que nossos estudantes possuem maior distorção de entendimento. A outra, um tanto controversa, seria elaborar uma lista de elementos gerais aos quais as pesquisas da área apontam como elementos “fundamentais”. Apesar de controversa, a lista de elementos de NdC foi e é, constantemente produzida ou reproduzida, por pesquisadores de ensino de ciências em todo o mundo. Uma das linhas mais conhecidas é conhecida como “aspectos consensuais” apresentados em vários momentos por Norman Lederman (1951-2021), McComas, Abd-El-Khalick entre outros. (ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000; LEDERMAN et al. 2002; LEDERMAN, 2007, ALMAZROA; CLOUGH; MCCOMAS, 1998).

Apesar de em alguns momentos serem apresentadas em uma forma de lista, os “aspectos consensuais” passaram por constantes reformulações e entendimentos, mostrando que de fato, não é uma lista fechada para discussões. Uma dessas novas interpretações pode ser observada no trabalho de Galili (2019).

Galili (2019) apresenta uma perspectiva mais integrada de aspectos da NdC visando uma compreensão mais completa e realista da ciência. este “refinamento” pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 – Refinamento.

listas L1-L5	Refinamento sugerido
1- Conhecimento científico, devido ao conhecimento teórico dos cientistas compromissos, crenças, conhecimentos prévios, experiências de treinamento e expectativas, é inevitavelmente subjetivo.	O conhecimento científico é objetivo como coletivo conhecimento essencialmente independente da vontade pessoal e valores. A investigação científica pode incluir elementos subjetivos na forma e na interpretação. A exclusão de aspectos subjetivos

	<p>ocorre no contexto de justificação do conhecimento, através do experimental multifacetado contínuo verificação, etapas iterativas de exploração, e discurso comunitário de estudiosos.</p>
<p>2- A distinção entre teorias e leis. Leis são declarações ou descrições do relações entre fenômenos observáveis. As teorias, ao contrário, são explicações inferidas para fenômenos observáveis.</p>	<p>O conhecimento científico é composto por Teorias - grupos inclusivos de vários conhecimentos elementos, coerentes e hierarquicamente organizados. Cada teoria é válida em uma determinada área de validade. Uma teoria fundamental é estruturada em um núcleo (base, conceitos e princípios) e um corpo contendo elementos derivados e associativos do conhecimento coerente com o núcleo. Periferia pode ser adicionada incluir os elementos de conhecimento pertinentes em desacordo com o núcleo. As leis apresentam relação funcional estável entre as características dos fenômenos naturais em uma variedade de configurações válidas em uma determinada área de validade. As leis são normalmente filiadas a uma teoria particular. Leis de status diferente (teórico e empírico) pertencem a todas as três áreas da estrutura teórica.</p>
<p>3- O desenvolvimento do conhecimento científico envolve imaginação e criatividade humana</p>	<p>O desenvolvimento do conhecimento científico baseia-se num discurso disciplinar contínuo dentro da comunidade científica. Envolve imaginação e criatividade ao desenhar sobre o anteriormente conhecimento desenvolvido tomado como dado.</p>
<p>4- A natureza empírica do conhecimento científico. A distinção entre observação e inferência.</p>	<p>O conhecimento científico é essencialmente teórico e baseia-se na verificação empírica. Observação e inferência diferem, mas são intrinsecamente entrelaçados como são os aspectos empíricos e teóricos do conhecimento científico.</p>
<p>5- A imersão social e cultural da ciência. O conhecimento científico afeta e é afetado pelos vários elementos e esferas intelectuais da cultura.</p>	<p>A ciência apresenta a teoria objetiva da natureza e, ao mesmo tempo, é um produto cultural. Social e ambientes culturais afetam os cientistas em suas atividades, agenda, formas e formas de conhecimento e produção. Ainda assim, o conteúdo prático da ciência conhecimento, sua essência, conceitual e operacional os significados podem ser independentes do contexto social e cultural. Comprometidos com a objetividade, a ciência, seus produtos e conhecimentos podem ser válidos em sociedades diferentes e independentes delas.</p>
<p>6- A natureza experimental do conhecimento científico; o conhecimento científico nunca é absoluto ou certo. Esse conhecimento, incluindo “fatos”, teorias e leis, são inerentemente provisórios ou sujeito a mudanças</p>	<p>A ciência avança continuamente, produzindo conhecimento de diferentes status de validade e confiabilidade variando de hipotética e tentativa para certo e preciso. Provar afirmações em ciência pressupõe demonstrar sua coerência com uma certa teoria, e/ou verificação experimental usando dados científicos metodologia.</p>

	Todas as teorias científicas fundamentais são empiricamente provadas e válidas em certas áreas de base parâmetros (tais como comprimento, tempo, massa).
7-O Mito do método científico (ausência de passo a passo semelhante a uma receita única procedimento)	O método científico possui uma pluralidade de normas, procedimentos e prescrições e regras proibitivas. A investigação científica se desenvolve em uma sequência espiral de componentes repetidos. Inclui um ciclo iterativo hipotético-dedutivo, experimentação, modelagem (idealização), conta matemática, regras lógicas e qualidade e análise quantitativa dos dados coletados, buscando relações causais estáveis entre as características dos fenômenos naturais e dos sistemas materiais. As teorias fundamentais servem como programas de produção de conhecimento

Fonte: (GALILI, 2019, p. 527-528) tradução nossa.

Neste trabalho não temos a pretensão de analisar todos os pontos referentes ao quadro 2. Nosso objetivo com o referido quadro, foi expor a interpretação de Galili sobre alguns aspectos relacionados com os trabalhos de Lederman e seus colaboradores. Entendemos que, de certa forma, o refinamento dado por Galili, nos mostra o quanto as práticas mais comuns de ensinar física se distancia dos elementos de NdC citados. Além disso, como observado por Nouri; McComas, & Aponte-Martinez (2019) vários fatores contribuem para a formação e prática de ensino com concepções equivocadas de NdC, como a influência de livros didáticos, crenças culturais e oportunidades limitadas para os estudantes se envolverem em práticas científicas autênticas. Eles argumentam que abordar esses fatores é crucial para promover um entendimento mais preciso da natureza da ciência entre estudantes e professores.

Henke e Höttecke (2014) fizeram uma pesquisa com professores de Física do Ensino Médio da Alemanha, buscando levantar as dificuldades apresentadas por eles em utilizar a História e Filosofia da ciência na sua prática profissional, na palavra dos autores:

“encontrar e adaptar material de ensino de História e Filosofia da Ciência (HFC), conhecer e usar os princípios de design instrucional para aulas de HFC, apresentar a história de forma motivadora, lidar com as ideias problemáticas dos alunos sobre a história da ciência, conduzir investigações históricas abertas em sala de aula à luz de resultados históricos conhecidos, usando investigações históricas para ensinar conceitos de ciências modernas, elaborando avaliações para atingir resultados de aprendizado específicos do HPS e justificando a abordagem do HPS em relação ao currículo e aos colegas” (Henke & Höttecke; 2014). Tradução nossa.

Por este motivo, entendemos que a produção de material didático está diretamente relacionada com a abordagem pedagógica proposta. Sobretudo quando se trabalha com a HC.

Para tanto, mostramos neste trabalho como uma atividade investigativa de perfil histórico cultural, associada a um material historiográfico adequado e à metodologia de ensino a ser empregada, pode promover na escola um ambiente em que, os estudantes consigam compreender a Física como empreendimento humano, que influencia e sofre influência da cultura e da sociedade. Em nossa abordagem, os estudantes trabalharam de maneira ativa e construíram, dentro de sua prática investigativa de pesquisa e tratamento de dados, uma concepção mais robusta sobre aspectos da NdC, sobretudo no que se refere aos tópicos 1, 3, 5 e 7 citados no quadro 2.

Neste trabalho, utilizamos a construção de redes históricas (ALCANTARA; BRAGA; VAN DEN HEUVEL, 2020) como um dos caminhos para explorar os aspectos da NdC. A utilização da HC como recurso para evidenciar a ciência como um produto social, histórico, cultural, entre outros aspectos da NdC, é apoiada por trabalhos nacionais e internacionais. Entre eles podemos citar o trabalho de Forato, Martins & Pietrocola (2011) que discute os desafios previstos na introdução da HC como elemento promotor do pensamento crítico e criativo dos estudantes. Eles reforçam que, ao utilizar a HC como estratégia pedagógica é possível, também, discutir aspectos epistemológicos do desenvolvimento científico. Os autores reforçam ainda a importância de os professores estarem familiarizados com uma historiografia moderna, que seja capaz de fornecer narrativas históricas contextualizadas, contribuindo para a compreensão da construção do conhecimento científico, destacando a influência dos contextos socioculturais. Entretanto, os mesmos autores alertam para alguns erros comuns, pois deve-se ter clareza de que as narrativas históricas carregam visões da ciência e de seus processos de construção. Os autores também asseveram que a inserção dos conhecimentos especializados da História e Filosofia da Ciência para o ambiente escolar requer enfrentar desafios e superar obstáculos, a fim de harmonizar as prescrições da didática das ciências e da historiografia.

Atentos às recomendações de trabalhos orientadores como Matthews (1995), Forato, Martins & Pietrocola (2011), Moura (2012), Alcantara (2018), Jardim (2019) e Lommi & Koponen (2019) produzimos uma dissertação de mestrado que busca estar consoante com as recomendações acadêmicas da área de História da Ciência e Ensino, sobretudo a que trata o conhecimento a partir de uma visão histórico cultural, mas também, que busque dentro do panorama inovador da Pesquisa em Redes Históricas reunir elementos que tornem a Construção e Análise de Redes Históricas para o Ensino de Física uma metodologia capaz de intensificar a compreensão da complexidade do fazer científico, dentro de uma metodologia ativa de ensino.

3.0 REDES

Se olharmos à nossa volta, conseguiremos enxergar várias nuances de conexões no nosso universo. Conexões que vão das respostas dos neurônios a diferentes estímulos, conexões entre aeroportos, nossas amizades e desafetos, modismos, entre infinitas outras atividades e situações. Redes apresentam representações simples de fenômenos extremamente complicados e questões que possuem complexa dinâmica de funcionamento (WATTS 2003; BARABÁSI, 2009).

Na disseminação de doenças e controle de pandemias como o COVID-19, por exemplo, observamos medidas de isolamento social cujo objetivo é impedir que se tenham diversos casos em estado grave ao mesmo tempo, dificultando assim, a possibilidade de tratamento. Isso porque uma pessoa infectada pode contaminar outras pessoas, que por sua vez, podem infectar outras e assim por diante, o número de casos cresce exponencialmente (KARAIIVANOV, 2020). Como alguém que nunca saiu de seu bairro pode ser infectado por um vírus que tem sua origem a vários quilômetros de distância? Quais medidas diminuem a velocidade de contágio? Ao analisar como o vírus chega a diversos países e atinge diversas pessoas, com diversas culturas, idades e ocupações, podemos perceber como estamos de alguma forma todos conectados e que distâncias geográficas não representam distâncias sociais.

Neste capítulo, trazemos um breve histórico sobre o que vem sendo o estudo de redes, desde suas primeiras manifestações até os dias atuais, familiarizando o leitor com aspectos básicos sobre esse tema. É importante reforçar que não nos preocupamos em expor as demonstrações matemáticas das propriedades dessa nova ciência, temos como foco os aspectos principais de estruturação e interpretação qualitativa das informações obtidas através de redes. Em seguida, falaremos do campo de estudo denominado Análise de Redes Sociais, de suas possibilidades de análise através de suas propriedades que nos permite compreender características presentes nas relações entre atores humanos e não humanos (LATOUR, 2011). Para finalizar, mostraremos trabalhos que apontam para a utilização da ARS no campo do ensino de ciências. Sobretudo, na construção e análise de redes históricas com a finalidade de trabalhar aspectos da Natureza da Ciência (NdC) em aulas de Física.

2.1 O QUE SÃO REDES? BREVE HISTÓRICO.

O estudo referente às redes e suas propriedades, embora formulado matematicamente, abrange diversas áreas do conhecimento. Para Ruth Ahnert (2016), uma rede é basicamente a

representação da correlação entre objetos e entidades. Suas propriedades estão intimamente ligadas às conexões e, por isso, redes de diferentes origens possuem características semelhantes. Os primeiros fundamentos da ARS estão contidos na obra de Leonhard Euler (1707-1783) e sua posterior composição com a sociometria do psiquiatra romeno Jacob Levy Moreno (1889-1974). Buscaremos neste capítulo fazer um pequeno resgate histórico dessa construção.

No século XVIII, o desafio das pontes de Königsberg, hoje Kaliningrado, intrigava moradores dessa região da Prússia Oriental. Cortada pelo rio Pregel, Königsberg possuía sete pontes para que seus moradores pudessem passar para as diversas partes da cidade cujo leito rio se postava como um obstáculo. O referido desafio consistia em cruzar as sete pontes sem passar por uma mesma ponte duas vezes, em 1736, Euler propôs matematicamente a solução e com isso demonstrou que com as sete pontes não seria possível realizar tal feito. Euler desenvolveu essa solução dando origem a teoria dos grafos, considerou as pontes como links e as porções de terra como nós, estabelecendo assim um grafo formado por quatro nós e sete links, demonstrando matematicamente que nós que possuem um número ímpar de links devem ser o ponto de partida ou de chegada do percurso, e para realização do desafio só podia ter um único ponto de partida e chegada (BARABASI 2009, p. 11). Portanto, a travessia de todas as pontes, como pedia o desafio, seria impossível, pois todos os nós possuem números ímpares de links (FIG. 1). Alguns anos após esse feito, foi construída mais uma ponte o que fez com que o desafio fosse factível.

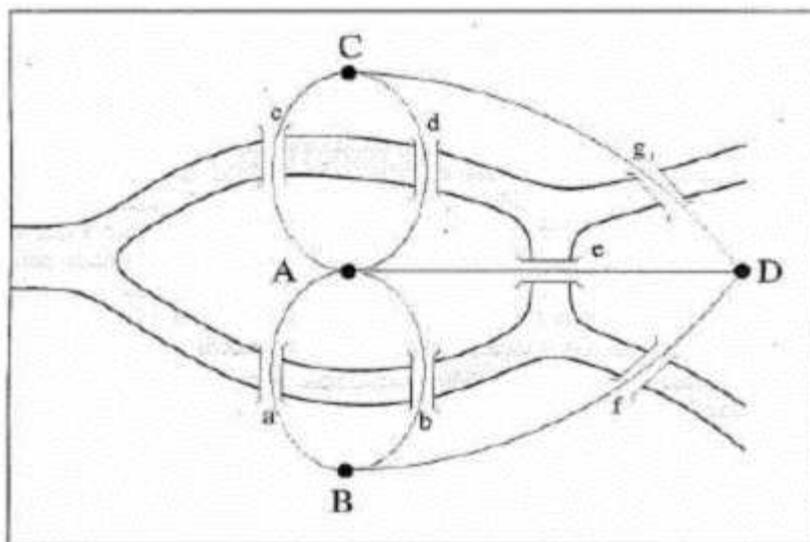


Figura 1 - Pontes de Königsberg, representação de grafos.

Fonte: Barabási (2009).

Na Figura 1 podemos ver representados os nós (A, B, C, D) e os links (a, b, c, d, e, f, g), compondo um grafo.

A teoria dos grafos é a base do que conhecemos hoje por redes. A abordagem matemática de Euler demonstrou que ao se conectar objetos, entidades, locais, entre outros, de acordo com suas relações ou implicações trazia consigo propriedades em comum. No século XIX, vários autores como Kirchhoff (1824-1887) e Cayley (1821-1895) se dedicaram ao desenvolvimento da teoria dos grafos sendo que em 1878 o termo “graph” aparece no artigo “*Chemistry and Algebra*⁴”.

Na década de 1930 estudos relacionados à psicologia social eram emergentes. Moreno “buscou analisar e mensurar as relações interpessoais, firmando se assim os métodos da sociometria” (SCHMIDT, 2007). Associando os resultados sociológicos à matemática, Moreno trouxe em seu livro de 1934, intitulado de *Who Shall Survive?* resultados de sua pesquisa. Na qual aplicou um teste sociométrico a relações interpessoais e, com base nos resultados, apresentou diagramas sociais e análises estatísticas. Schmidt (2007) afirma que, “o teste sociométrico não se reduz apenas a seleção de pessoas num determinado grupo, mas sinaliza que essa técnica contém elementos potenciais que permitem o reconhecimento profundo das estruturas do grupo”. Essas estruturas de grupo trazem propriedades semelhantes aos grafos pois associam pessoas por meio de relações a (FIG. 2) retirada da segunda edição (1953) do livro de Moreno, onde ele traz além dos diagramas presentes na primeira edição, diagramas sociométricos de outros indivíduos que também se dedicaram a esses estudos.

⁴ SYLVESTER, J. Chemistry and Algebra. Nature 17, 284 (1878). <https://doi.org/10.1038/017284a0>

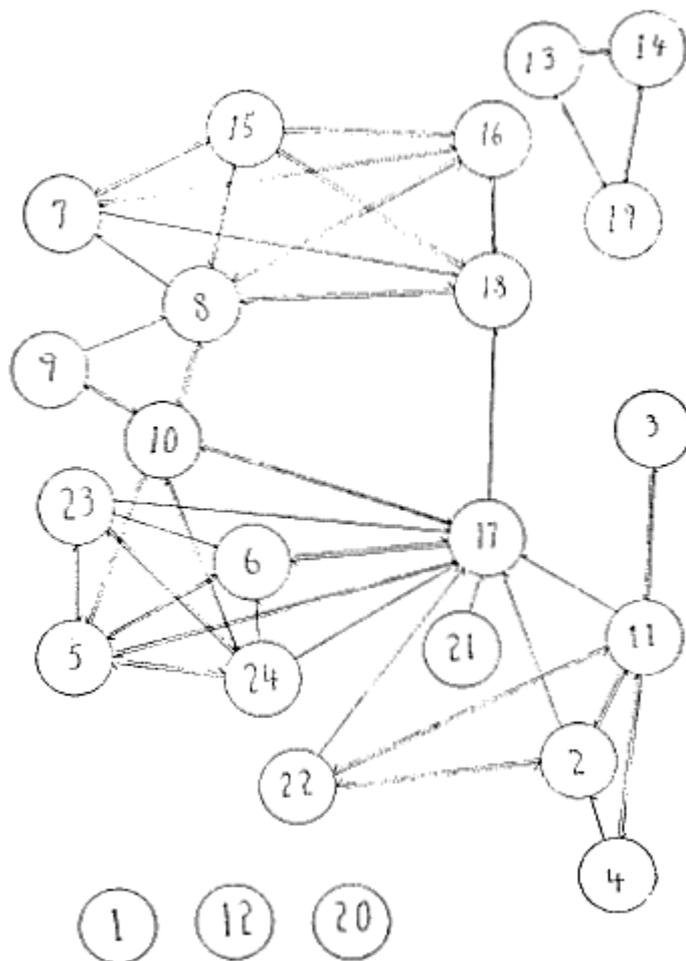


Figura 2 - Representação da relação de 24 indivíduos.

Fonte: Jacob Levy Moreno, p. 145, (1978).

A teoria dos grafos se une a grupos sociais em 1959 com Paul Erdős (1913 - 1996) e Alfred Rényi (1921 -1970), dois matemáticos, que se dedicaram a compreender como as redes se formam e as propriedades de suas conexões. Eles propuseram o conceito de grafos aleatórios ou redes randômicas (ERDÖS & RÉNYI; 1960). Para esses matemáticos, as conexões em redes complexas como relações pessoais, por exemplo, se davam de maneira aleatória, diferente dos grafos regulares como os presentes em treliças quadradas, em que os nós possuem números iguais de *links*. Essa teoria estabelecia que ao adicionar *links* a um grafo, até que cada nó obtenha em média uma conexão, obtemos um ponto crítico, ou transição de fase, em que um nó passa do estado (ou fase) desconectado, para o estado conectado (ERDÖS & RÉNYI; 1959). Se em uma rede as conexões se estabelecem de maneira aleatória, cada nó não exibe nenhuma preferência sobre outro, diante da possibilidade de receber ou não conexões.

Mark Granovetter, publicou em (1973) um artigo que trata, como seu próprio nome diz, da “Importância dos laços fracos”. Laços fracos são aqueles que unem *clusters* (agrupamentos) diferentes (FIG. 3). Granovetter buscou compreender uma questão simples, como as pessoas conseguiam emprego, buscando compreender como as relações se estabelecem, contrapondo em partes a aleatoriedade das redes. Como resultado dessa pesquisa, ele obteve que não são os amigos mais próximos que o auxiliam a obter novas possibilidades de emprego. Uma vez que, seus amigos mais próximos provavelmente são próximos entre si, formando um *cluster* denso e, portanto, tendo contato com as mesmas informações. Nesta situação, então, ele concluiu que na verdade é mais útil uma pessoa conhecida que não compõem seu grupo de amigos mais próximos e, portanto, dispõe de informações diferentes das de seu grupo (GRANOVETTER, 1973). “Então são os laços mais fracos que nos conectam à maior variedade de classes e de cultura” (ERICKSON, 1996, p 236 – tradução própria).

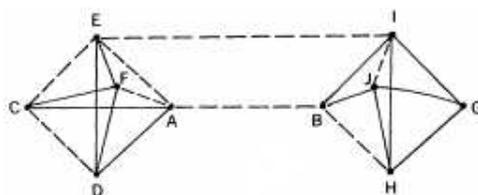


Figura 3- Laços fracos⁵

Fonte: Granovetter, p. 1365. (1973).

Em 1967, Stanley Milgram (1933 – 1984), professor de Harvard, trabalhava com psicologia experimental, realizou um experimento que buscava descobrir a “distância” entre duas pessoas que não se conheciam de locais distintos nos Estados Unidos. Seu experimento envolveu o envio de mais de cem cartas a pessoas aleatórias de Wichita e Omaha, as convidando a participar de um estudo social, as cartas possuíam orientações e o objetivo era que a carta chegasse a um destinatário-alvo. A pessoa que recebesse a carta só poderia enviá-la ao alvo se o conhecesse pelo primeiro nome e já tivesse tido contato direto com ele, caso contrário a pessoa deveria enviar a carta a um amigo que possuiria maior chance de conhecer o destinatário-alvo pelo primeiro nome, e assim por diante até que as cartas atingissem o objetivo. Para acompanhar a trajetória das cartas, as pessoas que aceitassem participar da pesquisa, deveriam adicionar seu

⁵ Na figura 3, temos os nós representados por letras do alfabeto maiúsculas de A a J, e as linhas que as conectam, são os *links*, formando assim dois *clusters*. O primeiro conectando A, C, D, E, F; e o segundo, B, G, H, I, J; esses clusters se conectam por dois laços fracos, entre E e I, e A e B.

nome a uma lista presente na correspondência antes de encaminhá-la. As cartas foram enviadas a regiões remotas entre Nebraska e o condado de Sharon, havia de se esperar que fossem necessárias centenas de conexões (BARABASI, 2009). Mas, ao final do experimento, 42 cartas atingiram o objetivo e chegaram a Boston com média de 5,5 passos (conexões) (MILGRAM, 1967).

Curiosamente esse valor é próximo do apresentado em um conto de Karinthy (1887-1938) intitulado de “*Láncszemek*” em 1929, onde o autor diz que podemos conectar quaisquer pessoas no mundo com no máximo 5 conexões. Essa foi a primeira manifestação que se tem notícia do conceito que hoje conhecemos como “seis graus de separação” (*six degrees*) (BARABÁSI 2009, p. 25), em 1991, uma peça de teatro de John Guare que posteriormente foi adaptada ao cinema, levou esse nome e trazia a mesma temática. Que quaisquer pessoas no mundo, estão a seis graus de separação de qualquer outra pessoa. Esse termo se popularizou, e tivemos nos anos 90 uma "brincadeira" que foi feita por estudantes sobre a quantos passos, ou graus, qualquer ator de Hollywood estaria do ator Kevin Bacon. Em 2000, no âmbito da matemática, existiu o projeto intitulado “*The Erdős Number Project*”⁶, que mostrava qual a distância de algum matemático a Erdős através de colaborações.

Duncan Watts e Steven Strogatz, em 1998, apontaram semelhanças entre a rede de atores de cinema, a rede de distribuição de eletricidade dos Estados Unidos e a rede de neurônios de um verme. Introduziram o coeficiente de *chusterização* ou agrupamento, que determina a capacidade de um grupo estar conectado entre si. Em outras palavras, a probabilidade de duas pessoas se conhecerem, uma vez que possuem um amigo em comum (WATTS, 2003). No modelo de “*small worlds*”, mundos pequenos, proposto por esses matemáticos, a probabilidade disso acontecer é bem maior do que no modelo aleatório de Erdős e Rényi. Apesar do modelo se chamar “mundos pequenos”, em referência ao experimento de Milgram e aos “seis graus de separação” (WATTS, STROGATZ, 1998), esse modelo não se restringe apenas às redes sociais, mas a diversas outras redes reais. Tem como propriedades um coeficiente de *clusterização* alto e uma distância entre nós pequena. A (FIG. 4) mostra a probabilidade (p) de duas pessoas se conhecerem por terem um amigo em comum, do ponto de vista dos grafos regulares (*Regular*), dos mundos pequenos (*Small-world*) e dos grafos aleatórios (*Random*) respectivamente. Para Watts e Strogatz (1998) “esse sistema (mundo pequeno) pode ser altamente agrupado, como

⁶ *The Erdős Number Project*, Universidade de Oakland, disponível em :< <https://oakland.edu/enp/>> Acesso em 12/09/2021.

treliças regulares, mas ter pequenos comprimentos de caminho característicos, como grafos aleatórios”.

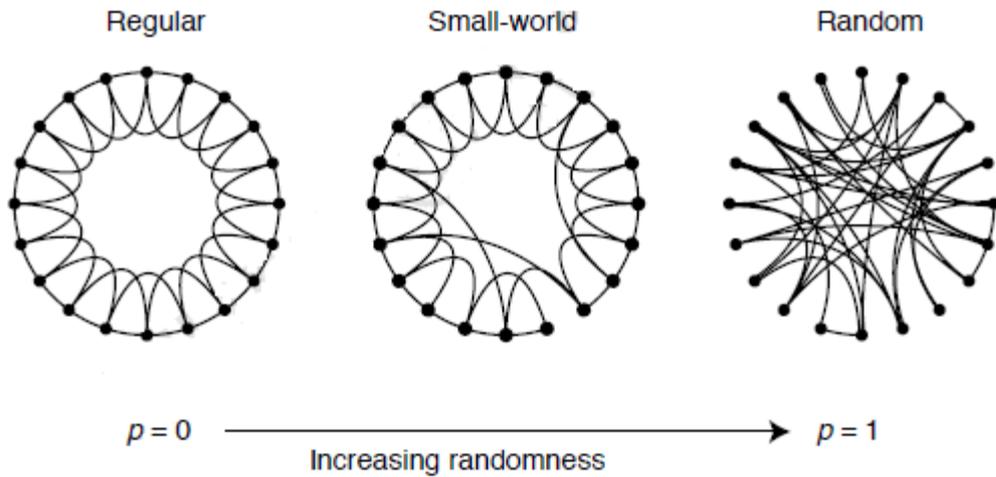


Figura 4- Probabilidade de duas pessoas se conhecerem

Fonte: (WATTS, STROGATZ, 1998).

Nos modelos apresentados até aqui, se analisavam como em uma rede com o número de nós fixos, as conexões se estabeleciam. Albert-László Barabási e Réka Albert (1998), levaram a atenção ao fato de que, em redes reais, nós somos adicionados ou retirados com o tempo. Ou seja, ao longo do tempo, amizades podem ser feitas ou desfeitas, empresas podem falir ou outras novas entrarem no mercado, novas páginas de web podem surgir e outras acabarem. “Redes expandem continuamente pela adição de novos vértices (nós), e novos vértices se ligam preferencialmente a já bem conectados” (BARABASI & ALBERT; 1999), como consequência dessas propriedades temos uma rede sem escalas (*scale-free*) (BARABASI & ALBERT, 1999, BARABASI; ALBERT & JEONG, 2000; BARABASI, 2020). Os nós ou vértices que possuem grande número de conexões, são chamados de *hubs*, e estes, exibem uma preferência em adquirir novas conexões. A preferência por se conectar um *hub* pode ser percebida ao se escrever um artigo, por exemplo, ao selecionar suas referências é mais comum se embasar em um documento que possua grande número de citações do que a um documento que jamais foi citado, isso é percebido em diversas redes reais com topologias diferentes. A essa preferência, Barabasi & Albert (1999) deram o nome de “*rich-gets-richer*”, “os ricos ficam mais ricos”, e, além disso, destacam a auto-organização das redes reais.

A ciência das redes demonstra grande interdisciplinaridade, uma vez que através de suas propriedades e características é possível compreender fenômenos de sistemas extremamente complexos e com topologias diferentes. Que vão, desde a rede de internet, a

síntese de proteínas em um organismo, a organização de empresas, a epidemias, a citações e cocitações, entre tantos outros sistemas, analisando-os isolados ou não.

2.2 ANÁLISE DE REDES SOCIAIS.

Para iniciar nossa discussão sobre análises de redes sociais, vamos retornar a (FIG. 2) que mostra quais indivíduos se conhecem dentro de uma rede composta por vinte e quatro pessoas (nós). Ainda que sem uma formação conceitual forte sobre redes, podemos verificar qual indivíduo possui mais relações, como é o caso do indivíduo 17, qual indivíduo possui menos relações, e neste caso temos os indivíduos 1, 12 e 20 que não possuem conexões. A partir da representação de rede, podemos nos questionar sobre possíveis ações a serem tomadas nesse grupo, como por exemplo, ao buscar informar o maior número de pessoas, o ideal seria passar a informação a qual indivíduo? Qual indivíduo, se retirado desse grupo, causaria mais impacto, e qual não mudaria significativamente a estrutura? Qual relação é mais significativa para coesão deste grupo?

Respostas a essas perguntas, parecem passíveis de dedução simples para grupos pequenos, mas em grupos reais, extensos e complexos essa dedução torna-se inviável. Propriedades matemáticas das redes possibilitam responder, de forma precisa, a esses questionamentos. Adiante estão características presentes na análise de redes sociais e algumas de suas propriedades.

“Procedimentos estatísticos especiais projetados para formalizar noções de ARS sobre a densidade dos laços (qual a proporção de todos os laços em potencial realmente existentes), a centralidade dos atores (que ator pode ser alcançado pela maioria das pessoas), e equivalência estrutural (os atores têm padrões semelhantes de vínculos), entre outros, todos contribuem para um vocabulário analítico exclusivo e uma caixa de ferramentas que distingue ainda mais o ARS da análise social convencional “. (WETHERELL 1998, p. 127 - tradução nossa).

Em redes sociais, usualmente chamamos de atores os nós ou vértices, e de laços, as conexões e as relações, entre os atores humanos e não humanos. Atores podem ser pessoas ou quaisquer entidades socialmente criadas, e suas relações podem ser de amizade, comerciais, de trabalho, de compartilhamento de informações, entre outras (TOMAÉL, MARTELETO, 2006; SILVA, FERREIRA, 2007).

Existem ainda, dois tipos de redes sociais, as chamadas redes egocêntricas (EGO) onde as conexões são estabelecidas a partir de um único ator central, e rede inteira (*whole network*) que busca estabelecer as relações relevantes entre todos os atores dentro de um grupo social (ERIKSON, 1997; WETHERELL, 1998). Essas redes, bem como outros tipos, podem ser

dinâmicas, ou seja, podem sofrer alterações em sua estrutura ao longo do tempo. E para sua análise, é necessário determinar qual a sua abrangência, ou seja, determinar quais atores irão compor essa rede e quais tipos de relações são relevantes para o objeto de estudo, “uma definição cuidadosa do corpus não é trivial e é fundamental para criar significados conclusões interessante” (PAINTER, 2019).

Em Painter (2019) temos uma rede de coautoria em medicina evolutiva (FIG. 5). O autor traz a análise dessa rede e, através de suas propriedades, revela características importantes dessa área da medicina. Expõe qual ator é responsável por unir dois grupos de pesquisa diferentes, o que já conhecemos pelo nome de laço fraco. Mostra também, quais indivíduos possuem maior grau de centralidade, ou seja, o maior número de conexões, sendo neste caso, quais pesquisadores possuíam maior número de colaboradores. Traz ainda, qual laço é importante para manter grupos colaborativos coesos.

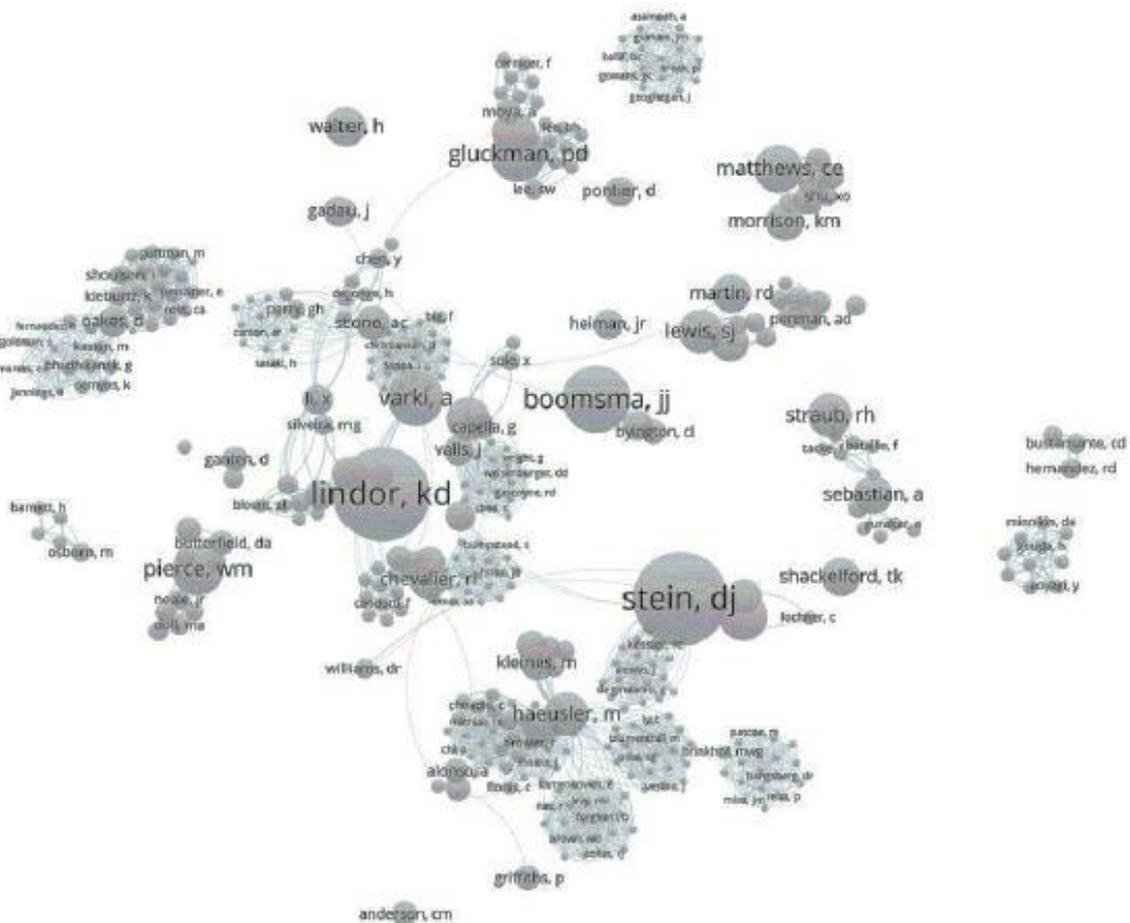


Figura 5 – Rede de coautoria em medicina evolutiva, em 2007.

Fonte: (PAINTER, 2019).

A representação gráfica (FIG. 5), também evidencia características desta rede. Observe que os nós apresentam diâmetros diferentes, de acordo com a quantidade de conexões que estabelecem, sendo assim, os nós que possuem maior centralidade também são os maiores em extensão. Como essa rede traz informações sobre coautorias em trabalhos acadêmicos é possível que entre dois indivíduos haja mais de um trabalho, por isso os laços possuem espessuras diferentes de acordo com a recorrência das coautorias.

Alguns softwares permitem a criação de redes com essas características gráficas, através dos tratamentos de dados referentes a nós e arestas. Neste trabalho, utilizamos Gephi para tratamento dos dados e criação das redes através dos dados obtidos pelos alunos, com o objetivo de facilitar a análise, uma vez que características importantes relativas ao grupo social são destacadas e evidenciadas.

É importante dizer que, as propriedades das redes obtidas através de equações matemáticas elaboradas traduzem quantitativamente e objetivamente as características do corpus analisado. Essas características, podem ser modeladas através de tabelas e gráficos que podem auxiliar nas tomadas de decisões e ações específicas para cada sistema analisado.

Como é o exemplo encontrado no trabalho de Karaivanov (2020), que traz o modelo de rede social do COVID-19, ou seja, utiliza ARS para compreender os avanços da pandemia e prever possíveis cenários. Segundo o autor, o modelo padrão utilizado prevê a possibilidade uniforme de alguém se infectar, baseado na taxa de infecção da população. Já o modelo de ARS, evidencia situações de contágio dependentes da rede social de cada indivíduo, ou seja, como medidas individuais podem afetar a taxa de transmissão da doença, uma vez que todos estamos, de alguma forma, conectados. “O modelo aumentado de rede do COVID-19 permite a avaliação de um amplo conjunto de políticas e comportamentos econômicos e de saúde, aplicáveis a toda ou a um subconjunto da população” (KARAIVANOV, 2020). Regiões altamente conectadas, com o coeficiente de clusterização elevado, as taxas de transmissão da doença também se mostram mais expressivas (KARAIVANOV, 2020; KUCHLER; RUSSEL & STROEBEL, 2020).

Os dois exemplos aqui expostos, mostram como a ARS pode ser aplicada a diversas áreas trazendo dados específicos e importantes ao grupo analisado. Sendo passível a compreensão, de como uma área de pesquisa se desenvolveu, analisando o foco do trabalho de vários pesquisadores, detalhes específicos de correlação entre trabalhos e autores poderiam não ser evidenciados em uma pesquisa bibliográfica sem a utilização de redes. Ou ainda servindo de base para tomadas de decisões relativas a um processo pandêmico, analisando como cada medida (individual ou geral) em determinado momento e tempo de duração, pode implicar na

saúde e economia de um grupo todo. Poderíamos aqui citar outros muitos trabalhos que contenham em sua essência a ARS, mas nosso foco nesse momento é apresentar ao leitor redes como uma ferramenta eficaz, para organizar dados e extrair informações de sistemas complexos. Além disso, a possibilidade de perceber de maneira clara as influências que cada ator e cada dado gera no grupo analisado como um todo.

2.3 REDES HISTÓRICAS E O ENSINO.

Uma Rede Histórica é basicamente a utilização de metodologias derivadas da análise de redes, sobretudo a ARS, aplicadas a dados históricos. Diversos trabalhos, ao longo das últimas décadas, utilizaram os recursos vindos da ARS e se mostraram eficazes no campo das humanidades (DÜRING, 2018). Por exemplo, no estudo de correspondências, movimentos sociais, parentesco, história econômica e história da ciência.

A Análise Social de Redes Históricas pode ter caráter quantitativo, ou seja, foco em reconhecer padrões e verificar propriedades da rede como a centralidade, por exemplo, ou caráter qualitativo que tem como objetivo explicar os impactos locais ou individuais na estrutura geral da rede estudada (SCHICH et al., 2014). Wetherell (1998), afirma que a ASRH “ajuda os historiadores a conectar a vida das pessoas comuns a mudanças em larga escala de maneira significativa”.

Algumas plataformas e aplicativos da *web* possibilitam a visualização gráfica de redes históricas, como é o exemplo do repositório de cartas ePistolarium⁷, criado pelo projeto “Circulation of Knowledge and Learned Practices in the 17th-century Dutch Republic” (CKCC). Esse repositório reúne 20.000 cartas escritas e enviadas e recebidas por estudiosos holandeses do séc. XVII. Além da leitura e análise do conteúdo das cartas, a plataforma permite quatro tipos de visualização desses dados: geograficamente, em linha do tempo, em rede de correspondências (FIG .6) e em rede de citações.

⁷ Plataforma ePistolarium disponível em: <http://ckcc.huygens.knaw.nl/epistolarium/> acesso:10/07/2020

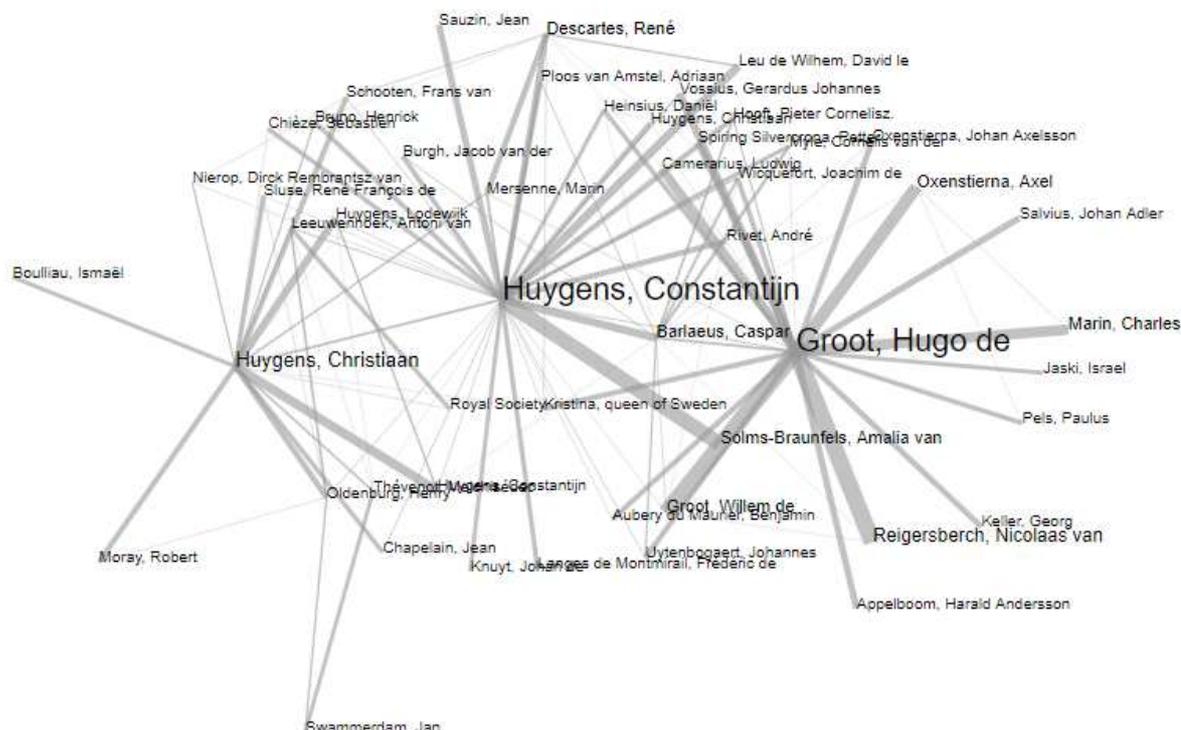


Figura 6 – Rede de correspondências.

Fonte: ePistolarium (2020).

Na figura 6, as espessuras dos laços são diferentes devido ao número de cartas trocadas entre dois atores, já o tamanho da letra dos nomes, tem relação com o número de cartas recebidas por eles. Nesta rede, observamos que Constantijn Huygens (1596-1687) recebeu o maior número de cartas, revelando também que ele trocou mais correspondências com Amália de Solms-Braunfels (1602-1675).

Outra plataforma de web que traz a representação gráfica de redes sociais de personagens históricos é o SNAC⁸ (*Social Networks and Archival Context*), esta não possui objetivo de analisar ou expor a circulação do conhecimento como a anterior e, também, não utiliza documentos originais como principal fonte de dados, mas nessa plataforma é possível visualizar as redes de 1º, 2º e 3º grau de conexão. Esses são apenas exemplos de onde é possível encontrar redes sociais baseadas em dados históricos na *internet*.

A utilização de redes na pesquisa histórica vem se intensificando nas últimas décadas. Desde 2013, a *Historical Network Research*⁹ (HNR) promove conferências anuais, com o objetivo de divulgar trabalhos que utilizam a ARS aplicados a disciplinas históricas. Sua

⁸ SNAC, disponível em: <https://snaccooperative.org/>, acesso em 10/07/2020.

⁹ Historical Network Research, disponível em: <http://historicalnetworkresearch.org/>, acesso em 22/08/2020.

plataforma online possui cerca de 1000 referências bibliográficas diversificadas sobre o tema. Em 2017, o HNR em parceria com a *Université du Luxembourg*, fundou o JHNR¹⁰ (*Journal of Historical Network Research*) que, desde então, possui edições anuais, ampliando ainda mais a divulgação e colaboração de acadêmicos que se interessam por pesquisa em rede histórica.

Outras revistas e meios acadêmicos destinados a estudos em história também começaram a expor a análise de redes. Como por exemplo o *The East Asian Journal of British History*, que em uma edição especial de 2016¹¹, explorou artigos apresentados na Conferência Anglo-Japonesa de Historiadores, ocorrida em 2015. Esta recebeu como nome: *Changing Networks and Power in British History: Politics, Society, Trade*, e abordou a abrangência de redes sociais no mundo e como ela transforma a estrutura de poder da sociedade, em seus aspectos pessoais e organizacionais (AKITA, 2021).

A revista *Isis*, pertencente a HSS (*History of Science Society*) da Universidade de Chicago, trouxe, na edição de número 3 do volume 110 de setembro de 2019, um editorial cujo foco era história computacional e filosofia da ciência, já e em sua capa (FIG. 8) há a representação de uma rede. Nesta edição, estão presentes artigos que tratam da utilização de da análise de redes sociais e históricas, aplicadas à circulação de conhecimento científico. De 2015 a junho de 2020, esta revista apresentou 19 trabalhos em que em seu título continham a palavra *network* e suas variações, com uma média de três a quatro artigos por ano, com exceção de 2020 (duas primeiras edições) e 2017 que apresentaram apenas dois. É importante ressaltar que, embora alguns historiadores que utilizem a palavra *network* ou rede, nos títulos de suas publicações, não necessariamente se envolvem explicitamente com análise de redes sociais (INNES, 2016).

¹⁰ Journal of Historical Network Research, disponível em: <http://jhn.uni.lu/>, acesso em 22/08/2020.

¹¹ Changing Networks and Power in British History: Politics, Society, trade, disponível em: https://www.academia.edu/27240701/Networks_in_British_History, acesso 12/09/2021.

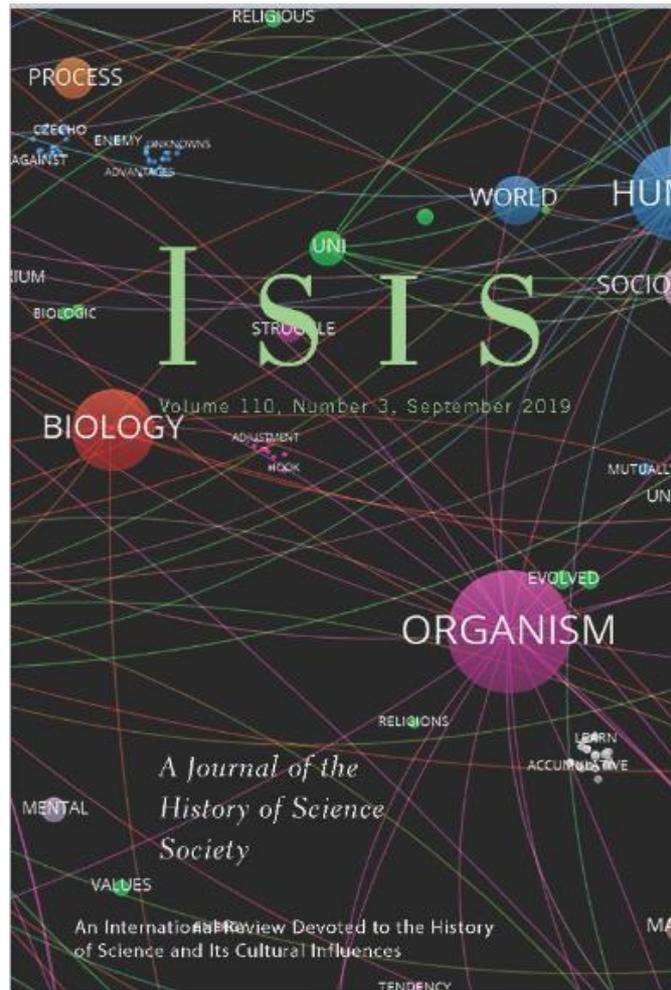


Figura 7 – Capa da Revista Isis.

Fonte: Revista ISIS, v. 110, n. 3, 2019.

Vale ressaltar que nos últimos anos os grupos dedicados a Pesquisa em Redes Históricas (PRH) também estão se esforçando para a produção de bibliografia atualizada o que pode ser observado nas obras *The Network Turn: changing Perspectives in the Humanities* (2020) e em *The Power of Networks: prospects of Historical Network Research* (2020).

Em relação a ligação da aplicação da ARS, o trabalho de Koponen & Mäntylä (2020) faz um levantamento de diversos trabalhos na área de educação que utilizam a ARS de variadas formas. Neste levantamento também podemos encontrar dois trabalhos que utilizam a Montagem de Redes Históricas (MHR) como uma atividade de ensino (LOMMI & KOPONEN, 2019) e o trabalho de (ALCANTARA; BRAGA & VAN DEN HEUVEL, 2020) que serviu como a metodologia orientadora para esta dissertação.

4.0 METODOLOGIA:

Apresentamos neste capítulo as etapas percorridas pela pesquisadora até chegar ao produto final, ou seja, a construção de redes históricas sobre máquinas a vapor feita pelos participantes deste estudo.

4.1 ANÁLISE DA LITERATURA E COMPOSIÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO:

Esta pesquisa buscou o encontro entre duas áreas distintas, a Pesquisa em Redes Históricas e A História da Ciência e Ensino. apesar de fundamentada no trabalho de Alcantara, Braga e Van den Heuvel (2020) e em Lommi & Koponen (2019) ainda são necessários mais esforços para investigar os benefícios da Análise de Redes Sociais para o aprendizado de Física e sobretudo para as discussões de aspectos da NdC por meio de uma abordagem histórica.

Por esse motivo, fizemos uma discussão de trabalhos orientadores da área de NdC no capítulo 1 esta análise passou por encontrar trabalhos orientadores e de revisão bibliográfica que pudessem trazer o panorama das diversas frentes de trabalhos em NdC. Destacamos nestes capítulos os artigos presentes no volume 28 números 3-5 da revista *Science & Education*, assim como a revisão da literatura de NdC na recente publicação de Khishfe (2022).

Sobre a Análise de Redes Sociais com foco na história, optamos por fazer uma breve descrição da área. Iniciamos essa narrativa histórica estabelecendo alguns dos principais fundamentos da Análise de Redes Sociais conjugando com trabalhos recentes de aplicações do tema em questões educacionais sintetizadas por Koponen & Mäntylä (2020). (capítulo 3).

4.2 MONTAGEM DO RECORTE HISTORIOGRÁFICO:

Para trabalharmos a hipótese levantada por Alcantara (2018) de que a MRH por estudantes possui potencial para promover discussões importantes sobre aspectos do empreendimento científico. Nosso recorte historiográfico se refere ao desenvolvimento das máquinas a vapor nos séculos XVIII e XIX. Pela dificuldade de encontrar fontes primárias durante toda a pesquisa, trabalhamos principalmente com fontes secundárias compostas por artigos, livros, fotos de reprodução de instrumentos e tabelas.

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

A proposta de MRH, inserida no Curso de Termologia e Termodinâmica, foi realizada em dois momentos distintos, o projeto piloto em 2019 que ocorreu de forma presencial e a execução do produto educacional em 2021 que ocorreu de forma remota, devido a pandemia do COVID-19 e a consequente paralisação das atividades presenciais. Estas atividades foram promovidas dentro do plano da disciplina de Física Básica para o segundo ano de alunos de duas turmas distintas do Curso Técnico, de mecânica e eletrotécnica, Integrado ao Ensino Médio de um instituto federal, totalizando 59 alunos, com faixa etária média de 16 anos. Os dois momentos, presenciais e remotos, foram distintos e por isso faremos a descrição de cada um deles.

Durante o ensino presencial utilizamos aulas expositivas sobre conteúdos de Termologia e Termodinâmica, reuniões com grupos, apresentações e uma dinâmica final. As atividades aconteceram em sala de aula e no laboratório interdisciplinar de ensino de ciências. Os equipamentos foram os mais comuns para uma sala de aula dos dias atuais: Lousa, Projetor e Computador. Sem apresentar custos adicionais aos alunos e a instituição.

Durante o ensino remoto foram utilizados diferentes recursos de áudio e vídeo em momentos síncronos e assíncronos. Na exposição dos conteúdos de termologia e termodinâmica foram utilizados vídeos gravados pela plataforma LOOM, além de videochamadas através do *google meet*, mesa digitalizadora e como material didático livro virtual. Nas reuniões com os grupos e na dinâmica final foram realizadas videochamadas, também, através do *google meet*, foram usados também os recursos do *google docs* (*word* e *excel*), mesa digitalizadora e o recurso de lousa interativa do google (*jamboard*). Já nas apresentações os estudantes confeccionaram vídeos com recursos próprios, que foram disponibilizados de maneira não listada em um canal do *youtube* criado para esse fim.

4.5 COLETA DE DADOS:

Para a coleta de dados, foram utilizadas as seguintes ferramentas e equipamentos: relatórios de aula, relatório de encontro com grupos, e gravações pela plataforma *google meet*.

Análise dos dados:

Para realizar a análise e o tratamento dos dados, foram utilizados os seguintes equipamentos: programa de computador para análise e tratamento de redes sociais Gephi versão (0.9.2), lousa interativa (*jamboard*) e computador ideapad. Para a produção do

referencial teórico e análise dos resultados, utilizamos a Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), com foco na Análise da Enunciação.

4.6 ANÁLISE DA ENUNCIÇÃO:

A escolha pela Análise de Conteúdo (BARDIN, 2016), se deu pela sua potencialidade de extrair dos discursos dos estudantes, ao longo do processo de pesquisa historiográfica até a MRH, elementos que conferem significado as mensagens expressas por eles. Em outras palavras, esse método auxiliou na inferência dos significados das falas dos estudantes a partir da análise, nesse caso, dos argumentos utilizados por eles que, de alguma forma, evidenciaram aspectos da natureza da ciência.

Dentro do tipo de análise escolhido, demos ênfase à Análise da Enunciação que, segundo Bardin (2011), considera a palavra como um processo, partindo do princípio que o discurso não é um produto acabado, mas um momento num processo de elaboração. A partir da análise exaustiva de todo o discurso, a fim de buscar analisar tudo que foi exposto, passa-se para uma etapa denominada inferência, que consiste em uma técnica de tratamento de resultados pautada em polos de comunicação (BARDIN, 2011). Para exemplificar esse processo de análise de resultados, Santos (2012) apresentou o quadro a seguir, baseado nos propostos de Bardin.

Quadro 3 – Características dos Polos de Comunicação.

Polos de Comunicação			
Emissor	Receptor	Mensagem	Canal
Produz a mensagem; Pode ser um indivíduo ou um grupo.	Pode ser um indivíduo; Recebe a mensagem e estuda sobre a que ela se destina.	É o ponto de partida da análise; Estuda-se o conteúdo, significado, significantes, código e significação.	Serve mais como procedimento experimental do que para análise de conteúdo.

Fonte: (SANTOS, 2012, p. 386).

Nessa direção, analisamos as falas dos estudantes durante as reuniões e a construção da rede, a fim de atribuir significado a elas. Utilizamos elementos e argumentos chave que indicaram a compreensão, ou não, de aspectos da natureza da ciência em seus discursos, seja de maneira direta ou indireta.

4.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO:

Esta dissertação foi organizada em duas partes. A primeira parte trata das questões sobre o Ensino com foco na discussão de aspectos da Natureza da Ciência e os referenciais

teóricos da Análise de Redes sociais e da História da Ciência. A segunda parte se refere aos objetos. As seguintes etapas serviram como fio condutor do estudo:

- A) Breve exposição dos conceitos básicos sobre redes;
- B) Divisão dos grupos e distribuição dos temas;
- C) Reuniões quinzenais com os grupos;
- D) Recebimento e análise dos vídeos desenvolvidos pelos estudantes;
- E) Disponibilização dos vídeos ao restante da turma;
- F) Construção das redes históricas juntamente aos estudantes;
- G) Elaboração e disponibilização de um vídeo de análise e comparação das redes construídas com cada turma.

4.8 PERCURSO METODOLÓGICO:

O presente produto foi aplicado em paralelo aos conteúdos de termologia e termodinâmica, em duas turmas do segundo ano do ensino médio integrado ao ensino técnico, turmas de mecânica e eletrotécnica. Uma turma era composta por 29 estudantes e a outra por 30 estudantes, ambas foram divididas em 8 grupos contendo no mínimo 3 integrantes e, no máximo, 5 integrantes. Esses grupos pesquisaram sobre a relação dos seus temas com o advento das máquinas a vapor, tendo os Grupos 1 e 2, de cada turma, desenvolvido pesquisas sobre a relação desse advento com os aspectos sociais e culturais do período e da região em que estava inserido, e os Grupos 3, 4, 5, 6, 7 e 8, de cada turma, desenvolvido pesquisa sobre a relação entre as suas personalidades temas e o advento das máquinas a vapor. Todos os grupos buscaram estabelecer conexões, evidenciar colaboradores e influências, que julgassem relevantes, entre seus temas e os diversos aspectos que abrangem o desenvolvimento, aprimoramento, impactos e implementação dessas máquinas. Foram realizadas reuniões quinzenais, com cada grupo, a fim de mediar a pesquisa historiográfica, que juntamente com as aulas de apresentação do produto, construção e análise das redes históricas, totalizaram 9 semanas de aplicação do produto. A organização das atividades e cronograma de aplicação estão dispostos no Apêndice 2 desta dissertação.

Foram estabelecidas algumas ferramentas de registro das atividades, tais como: relatórios de aula, relatório das reuniões dos grupos, gravação do áudio das reuniões dos grupos, armazenamento dos vídeos desenvolvidos pelos grupos. Nas duas turmas, iniciamos o curso com uma breve discussão a respeito dos aspectos básicos sobre redes e suas aplicações

cotidianas. Imediatamente após cada aula e reunião, era feito um relatório com o intuito de registrar, com maior precisão, os fatos e as discussões ocorridas (Apêndice 3).

Ao final do primeiro encontro síncrono foi apresentada a proposta de trabalho para os estudantes. Apresentamos os temas, e os estudantes tiveram a liberdade de se organizar e decidir qual ator ou qual tema escolheriam para trabalhar no desenvolvimento da atividade. Vale ressaltar que, nossa vivência como professores e pesquisadores na área de ensino de ciências leva-nos à seguinte afirmação: quanto maior a variedade de temas na proposta, maior a chance de um estudante se identificar com a atividade. Os temas disponibilizados para os grupos foram:

- 1) Aspectos socioeconômicos da Inglaterra nos séculos XVIII e XIX;
- 2) Arte Ciência e Tecnologia na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX;
- 3) Denis Papin;
- 4) Joseph Black;
- 5) William Murdock;
- 6) Nicolas Léonard Sadi Carnot;
- 7) John Roebuck;
- 8) Jhonatan Hornblower.

Uma vez selecionados os temas, cada grupo iniciou suas pesquisas historiográficas. Com o objetivo de mediar a pesquisa, cada grupo se reuniu com a professora através do *Google meet* a cada duas semanas. Essas reuniões foram previamente agendadas, sendo assim, cada grupo pode escolher o dia e horário para que elas acontecessem. Nessas reuniões, os estudantes apresentavam o andamento de suas pesquisas, suas dúvidas e fontes utilizadas, com isso, a professora pode esclarecer essas dúvidas, auxiliar na checagem da confiabilidade das fontes, além de traçar, junto aos grupos, as estratégias para as próximas reuniões. É importante ressaltar, que o papel da professora, durante todo processo de pesquisa, se restringiu a auxiliar e motivar, em alguns casos, indicar fontes para os estudantes que se encontravam com dificuldades em focar suas pesquisas, sendo assim, o direcionamento e aprofundamento das pesquisas foram escolhas de cada grupo. Aconteceram três reuniões de, no máximo, 15 minutos com cada grupo e elas serviram, principalmente, para o refinamento da pesquisa que resultou na construção dos vídeos sobre os temas.

Uma vez que os vídeos foram elaborados, eles foram disponibilizados em um canal do *YouTube*, para que todos os estudantes de cada turma tivessem acesso ao trabalho de cada grupo. Após o período que os estudantes tiveram para assistir aos vídeos, ocorreu um encontro com toda a turma, para a construção da Rede Histórica, a partir das redes egocêntricas construídas por cada grupo e expostas nesses vídeos. Nessa construção, os estudantes, munidos

das informações de cada tema, puderam estabelecer as conexões entre cientistas, artesãos, engenheiros, universidades, localidades, empresas, patentes, financiamentos, entre outros atores humanos e não humanos.

Nesta dissertação, objetivamos a construção de um produto educacional e expomos ao longo do texto os referenciais teóricos e os resultados obtidos através de todo o percurso, da pesquisa historiográfica à construção da rede histórica, que dão forma a esse produto. A fim de investigar as potencialidades da construção de redes históricas, que a apresentam como um recurso metodológico para explorar os aspectos da natureza da ciência em sala de aula.

5.0 MÁQUINAS A VAPOR:

5.1 INGLATERRA E EUROPA NO SÉCULO XVIII E XIX.

Ao se falar em Revolução industrial ou em advento das máquinas a vapor é comum as pessoas se referirem a Inglaterra, mas o que passa por vezes despercebido ao estudar tais eventos é que o Ato de União de 1707 uniu a Inglaterra e a Escócia em um Reino Unido da Grã-Bretanha e no século seguinte a Irlanda foi incorporada a essa união. Por isso, é comum, que ao buscar informações sobre a Inglaterra, nestes séculos, encontrarmos o nome Grã-Bretanha.

O século XVIII foi de intensas transformações tanto na forma de produção e de trabalho, quanto nos costumes e nas práticas sociais. Uma dessas alterações foi a mudança da concentração da população que migrou dos campos para as cidades, mas esse processo não foi instantâneo, pois a população urbana na Inglaterra só ultrapassou a rural em 1851 (HOBSBAWM, 1996).

Nesse período, a Europa como um todo, vivenciou muitos problemas religiosos e políticos, a Inglaterra participou de diversas guerras, além de desastres naturais e conflitos internos. Devido a essas adversidades, a vida no campo era dificultada, faltavam suprimentos, o frio intenso, as guerras e colheitas ruins, fizeram com que a população trabalhasse para sobreviver (KOOIJ, 2015). Existiam também, pequenas indústrias têxteis, com foco na produção de tecidos de lã, conhecidas como empresas familiares, nelas trabalhavam os membros da família e, em alguns casos, poucos trabalhadores assalariados. A família, dona da terra, era quem produzia a lã e fabricava os tecidos.

A revolução agrícola, em meados do século XVIII, fez com que novas técnicas de produção e plantio fossem adotadas, o que influenciou o êxodo rural. Algumas áreas de produção agrícolas foram compradas e se converteram em pastagem, sobretudo para produção de lã, com o objetivo de acumular capital. Com a melhora na produção a população aumentou em número e em expectativa de vida, o que trouxe a necessidade de se produzir cada vez mais. Em decorrência da revolução agrícola, veio a mecanização inicial das indústrias têxteis, máquinas de tração humana, animal e hídrica, o desenvolvimento de técnicas de fabricação de ferro e o aumento do uso do carvão (KOOIJ, 2015).

O carvão era utilizado no aquecimento e em substituição a madeira, na produção de alimentos. Trabalhadores assalariados estavam presentes nas extrações das minas de carvão e de outros minérios. Com o objetivo de aumentar a produção de carvão era necessário extraí-lo em minas cada vez mais profundas e, por isso, muitas vezes inundadas. Para controlar os

alagamentos nas minas, os setores econômicos da sociedade, da Inglaterra, iniciaram investimentos de tempo e técnica para o desenvolvimento de máquinas que fossem capazes de extrair a água, do fundo das minas (SILVA & ERROBIDART, 2019). O que favoreceu o desenvolvimento das máquinas a vapor.

“Das 317 patentes emitidas na Inglaterra pela 1561 a 1688, cerca de 75% (43% diretamente; 32% indiretamente) foram preocupadas com algum aspecto da indústria de mineração. (...) que cerca de 20% das invenções patenteadas entre 1620 e 1640 eram de dispositivos para o aumento da drenagem das minas. Esta é uma indicação reveladora do grau em que esta única dificuldade atraiu a atenção do interesse inventivo. Esta relação entre um problema levantado pelo desenvolvimento econômico e o esforço tecnológico é bem definida e definitiva. Representa uma conexão que tem sido frequentemente observada, também, na sociedade contemporânea.” (MERTON, 1937, p.: 502-503- tradução nossa).

O advento das máquinas a vapor, no final do séc. XVII e início do séc. XVIII, acelerou o processo de modificação na forma de produção e na organização das cidades. Várias melhorias foram implementadas nas máquinas durante os anos que se seguiram. No final do séc. XVIII, “a tecnologia do vapor já havia se tornado fonte de energia capaz de ser usada em uma ampla variedade de processos de produção e em diferentes contextos locais” (NUVOLARI, 2003, p.12).

As máquinas que inicialmente tinham a função de bombear água das minas de carvão, após modificações, foram implementadas em outras áreas, como indústrias e posteriormente no transporte, na função de motor (MENDOZA, 1988; HESSEN, 1992; BORGES, 2016).

A Revolução Industrial, que ocorreu por volta de 1780 (HOBSBAWM, 1996), trouxe mudanças na forma de produção e na sociedade, o trabalho rural e a agricultura, deixaram de ser a principal forma de trabalho. Para Borges e Forato (2017), este período separa as pinturas (FIG. 8 e FIG. 9), de George Garrad (1760-1826) e Willian Turner (1775-1851).



Figura 8- G. Garrard, Mr. Whitebread's Warf (O galpão do Samuel Whitbread, 1784).

Fonte: Borges, p.35 (2016).



Figura 9- W. Turner, *The Fighting Temeraire tugged to her last berth to be broken up* (O Combatente Téméraire, 1838).

Fonte: Borges, p.37 (2016).

A pintura de G. Garrad (Fig.8) mostra os recursos disponíveis para produção e atividades cotidianas, anteriores à Revolução Industrial. Podemos ver a tração animal e humana, roldanas e polias, elementos que sozinhos não supriram as demandas operacionais e energéticas da Inglaterra no século XVIII (HOBSBAWM, 1996). Já pintura de Turner (fig.9), retrata a “chegada de novos tempos” (BORGES, 2016 p. 33), ela traz um barco a vapor rebocando o barco de guerra Temerarie. Nesta tela podemos ver a tecnologia a vapor substituindo a

tecnologia anterior, a imagem esfumada retrata, também, a poluição que veio junto com a nova tecnologia.

As situações políticas e econômicas, da Inglaterra, favoreceram seu pioneirismo na Revolução Industrial, enquanto outros países da Europa travavam conflitos, como a Revolução Francesa, e disputas territoriais onde hoje temos a Alemanha e Itália (SILVA & ERROBIDART, 2019). O que não significa dizer que a Grã-Bretanha, estava alheia aos conflitos deste período, mas sim que outras condições britânicas permitiram o desenvolvimento de sua indústria.

Allen (2011), atribui o pioneirismo da Grã-Bretanha no desenvolvimento de técnicas de produção e novas tecnologias, principalmente, a dois fatores fundamentais, os altos salários e o baixo custo da energia. O incentivo à mecanização da produção britânica, era maior que na França, Alemanha e Áustria, por exemplo, devido aos altos salários pagos aos trabalhadores, resultado de uma política de estado iniciada no século XVI. As condições geográficas da Inglaterra eram favoráveis, o carvão era abundante em diversas regiões, e por isso, mais barato, o que tornava a energia barata.

Haviam depósitos de carvão, tão acessíveis quanto os britânicos, passando pelo noroeste da França, Alemanha e Bélgica. No entanto, eles não foram explorados pela facilidade de comprar da indústria carvoeira em Newcastle, Inglaterra. A República Holandesa também possuía altos salários, mas não possuía carvão barato. (ALLEN, 2011).

Embora, no final do séc. XVIII, a Inglaterra tenha se tornado a principal potência econômica e industrial da Europa, esse fato não foi caracterizado por sua superioridade tecnológica e científica (HOBSBAWM, 1996). O advento das máquinas a vapor teve sua base na prática, não exigiu mais que o conhecimento artesão, de carpintaria, e de mecânica, embora não se pode afirmar que esta foi isenta de conhecimento científico contemporâneo (KERKER, 1961). O conhecimento científico que permeou os primeiros modelos das máquinas a vapor estava relacionado aos estudos envolvendo pressão atmosférica e a mecânica newtoniana, e são anteriores a 1700 (ALLEM, 2011). Teorias envolvendo o uso da força motriz produzida pelo vapor e o funcionamento das máquinas foram desenvolvidas a partir do final do século XVIII.

A educação inglesa era conflituosa e destinada às elites sociais, particularmente a nobreza e a alta burguesia, classes sociais muito específicas (THOMPSON, 1998). Nesse sentido, a França estava à frente dos ingleses, a Revolução Francesa, estimulou ainda mais os estudos nas áreas de ciências naturais, principalmente na matemática e na física (HOBSBAWM, 1996).

Para suprir as demandas do contexto social, as melhorias técnicas das máquinas a vapor, já não eram suficientes, sendo assim necessário unir teoria à prática e buscar explicações teóricas para assim implementar essas melhorias (SILVA & ERROBIDART, 2019). A situação educacional da França propiciou o desenvolvimento da teorização e compreensão, dos processos envolvidos no funcionamento das máquinas a vapor (BORGES & FORATO, 2017).

O desenvolvimento de tecnologias envolvendo o vapor e o carvão, tiveram seu pioneirismo na Grã-Bretanha, o que propiciou a Revolução Industrial. Entretanto, existem outros fatores que foram determinantes nesse processo. Os fatores vão desde a relação entre os salários e o custo da energia, á problemas envolvendo inundações nas minas de carvão, o que atribuíram a invenção das máquinas a vapor valor social (ALLEM, 2011). As demandas sociais, as condições econômicas, a geografia e as condições de trabalho, foram motivadoras das invenções que envolveram inúmeras pessoas.

5.2 CONTRIBUINTES ESSENCIAIS

Buscamos neste tópico explorar diversos elementos relevantes ao advento das máquinas a vapor. Relacionamos várias pessoas que contribuíram, seja na invenção de dispositivos ou na implementação de melhorias, mas também, no investimento financeiro, no apoio acadêmico, no estabelecimento de empresas, na compra das máquinas, entre outros.

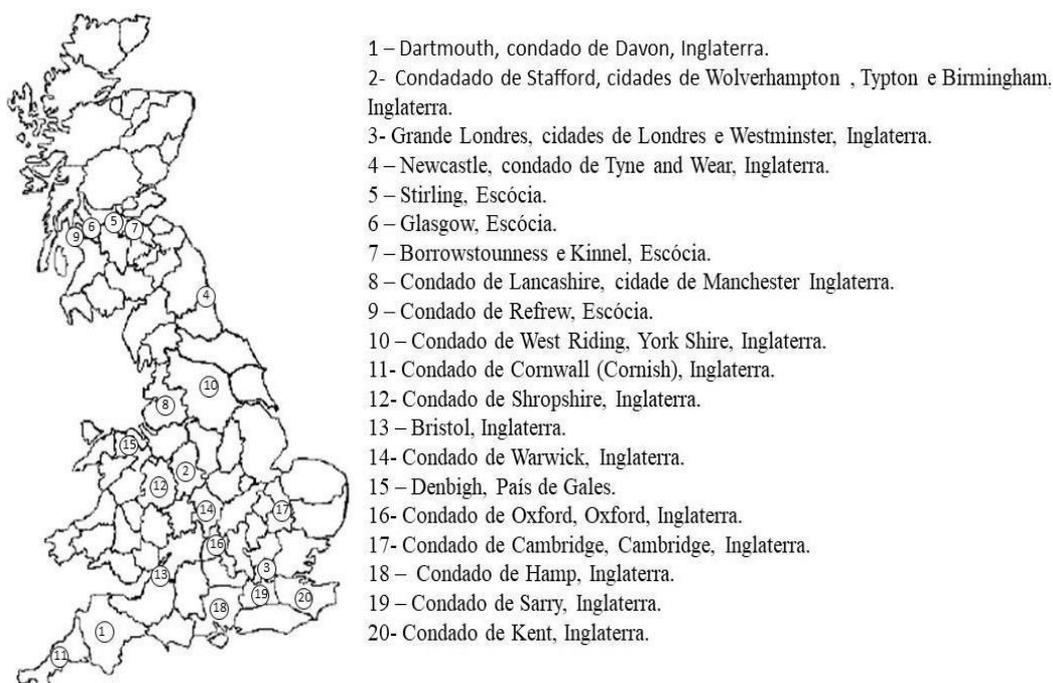


Figura 10 - Grã-Bretanha, século XVIII.

Fonte: Autora, (2021).

Nomes que muitas vezes não são mencionados como participantes diretos desse advento. Além das pessoas, falamos das cidades, empresas, instituições de ensino e sociedades que também contribuíram para este complexo advento.

A figura 10, apresenta um mapa da Grã-Bretanha, nele indicamos a localização. das regiões, condados e cidades citadas nesta dissertação, a fim de que o leitor possa acompanhar as disposições geográficas. Uma vez que elas se mostram relevantes ao desenvolvimento e difusão das máquinas a vapor.

Não é nossa pretensão estabelecer todas as conexões relacionadas às máquinas a vapor, mesmo porque não seria possível, pois são inúmeras e sem escala (BARABASI, 2020). Nosso objetivo é retratar este advento, evidenciando sua complexidade, distanciando da ideia de gênios isolados (ALLCHIN, 2004). Mostrando como a sociedade, a cultura, a economia, esforços pessoais, redes de contatos, são determinantes no desenvolvimento de tecnologias e ciência, e estabelecem influências mútuas.

5.2.1 O carvão como fonte de energia.

O carvão foi largamente utilizado na Inglaterra desde o final do séc. XVI, inicialmente para uso doméstico, como combustível para o aquecimento e o preparo de alimentos. Com o crescimento das cidades e a diminuição das florestas, tornou-se necessária a sua mineração (HOBSBAWN, 1996).

A mineração, a princípio, se concentrava em depósitos próximos à superfície, mas com a utilização crescente do carvão, os depósitos foram se esgotando. Devido a isso, foi necessária uma mineração cada vez mais profunda, para retirada, além de carvão, de minérios como cobre e estanho (KOOIJ, 2015). Com o aumento da profundidade das minas, aumentaram também os riscos aos quais os trabalhadores eram expostos, como a explosão de gases e, principalmente, o alagamento. Isso porque, em diversos casos, a profundidade da mina ultrapassava a do lençol freático, causando infiltrações nos estágios finais (SILVA & ERROBIDART, 2019). Além dos riscos e perdas humanas, estavam as perdas materiais, o que, de certa forma, prejudicava o crescimento da exploração do carvão.

A necessidade de retirar água das minas era clara. O que resultou num grande desenvolvimento de patentes relacionadas à resolução deste problema entre 1561 e 1688, como visto na seção anterior. Seguindo os estudos de Pascal (1623-1662) e Torricelli (1608-1647), muitos mineradores buscaram elevar a água por meio da pressão atmosférica (NUVOLARI, 2003), mas sem sucesso para profundidades abaixo de 32 pés (9,75 m). Já no final do séc. XVII

e início do séc. XVIII, as máquinas que utilizavam o vapor, com o carvão como combustível, ganharam espaço na mineração.

Um dos primeiros a idealizar a utilização do vapor (gerado a partir da queima do carvão) para gerar do vácuo e, com isso, força motriz, que posteriormente trouxe a solução para as inundações, foi o médico francês, Denis Papin (1647 - 1713). Embora suas ambições não estavam direcionadas, a princípio, a retirada da água das minas profundas.

Papin, juntamente com Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716), foi contratado como colaborador de Christiaan Huygens (1629 - 1695) em 1672 (KOOIJ, 2015). Um dos resultados desta colaboração, foi o estudo e a modificação do experimento de Otto von Guericke (1602 - 1686), a bomba de ar, em um motor capaz de utilizar a explosão de pólvora em trabalho útil (VALENTI, 1979). A explosão seria responsável por gerar vácuo no interior de um cilindro, fazendo com que, devido à pressão atmosférica, um pistão em seu interior se movesse para baixo.

Em 1675, Papin fugiu da França, devido à revogação do Édito de Nantes¹², foi para Inglaterra, onde trabalhou com Robert Boyle (1627 - 1691) (KERKER, 1961), um dos fundadores da *Royal Society* de Londres. Em uma carta¹³, enviada a Henry Oldenburg¹⁴ (1619-1677), neste mesmo ano, Christiaan Huygens recomendou que Papin fosse a Londres e que conhecesse Boyle e William Brouncker¹⁵ (1620 – 1684). Nesta carta, Huygens, também relata que Papin morou com ele por dois anos e que o auxiliou em diversos experimentos.

Boyle continuou os estudos de von Guericke, sobre o vácuo e a pressão atmosférica, além de pesquisas sobre o vapor e a fervura da água, nesse contexto, por intermédio de Christiaan Huygens, iniciou sua parceria com Papin (KOOIJ, 2015). Em 1680, Papin apresentou o “New Digester”, um dispositivo que facilitava o cozimento de carnes e alimentos em geral, em pouco tempo e com baixo custo. O digestor utilizava o vapor confinado para gerar altas pressões, semelhante a panela de pressão que utilizamos atualmente. Com o objetivo de monitorar e controlar a pressão dentro do dispositivo, ele desenvolveu a válvula de segurança, com ela seria possível prever quando a carne estaria de fato cozida e, também, evitaria explosões. Um peso acoplado à válvula se movimentava devido a variação da pressão, dessa forma era possível conhecer, além da pressão interna, o tempo necessário para o cozimento

¹² Édito de Nantes foi um decreto promulgado pelo rei Henrique IV da França em 1598. Ele concedia direitos e liberdades religiosas aos protestantes, garantindo-lhes o direito de praticar sua fé em certas áreas designadas.

¹³ Carta na íntegra disponível em: <http://ckcc.huygens.knaw.nl/epistolarium/>. Acesso em 23 de setembro de 2021.

¹⁴ Henry Oldenburg foi o primeiro secretário da Royal Society.

¹⁵ Um dos fundadores da Royal Society, sendo seu segundo presidente.

ideal. E é a válvula de segurança que traz o vapor associado à realização de trabalho, Papin calculou a pressão necessária para levantar um determinado peso e o adaptou, por meio do de uma haste, ao digestor.

Entre 1679 e 1680, Papin propôs algumas formas de elevar as águas das minas de carvão à *Royal Society*, em uma delas utilizando o vapor para gerar vácuo e movimentar um pistão, atendendo às demandas econômicas da época (MERTON, 1938). Já como curador da *Royal Society*, a partir de 1685, ele desenvolveu e apresentou uma bomba atmosférica para elevar a água (PAPIN, 1685). E em 1690, escreveu um artigo chamado “*Nouvelle Méthode pour obtenir à bas prix des forces considérables*” (Novo Método de Obter a Baixos Preços forças consideráveis), onde expôs sua invenção (FIG. 11) que utilizava o vapor produzido pelo aquecimento de água em uma caldeira, através da queima de carvão, para mover um pistão e também para gerar vácuo, substituindo a pólvora no dispositivo que inventou com Christiaan Huygens (VALENTIM, 1979).



Figura 11- Representação do dispositivo proposto por Papin.

Fonte: (SILVA & ERROBIDART, 2019 p. 78).

No artigo de 1690, Papin, não chegou a mencionar a válvula de segurança, ainda que esta seja uma parte importante das máquinas a vapor modernas. Embora acreditasse que seu novo dispositivo seria implementado na indústria, isso não aconteceu, ele recebeu diversas críticas devido ao arranjo grosseiro, a falta de um dispositivo de segurança entre outros motivos. Dentre seus críticos estava o físico inglês Robert Hooke (1635 - 1703), que expôs as

desvantagens da máquina de Papin, entre elas a necessidade de retirar o fogo constantemente e a lentidão na movimentação do pistão (FIGUIER, 1867).

Com as críticas de Hooke e a dificuldade de desenvolver o dispositivo para aplicação prática, Papin se dedicou a outros temas. O desenvolvimento de dispositivos, capazes de retirar as águas das minas de carvão e de novas tecnologias de produção, eram incentivados na Grã-Bretanha, neste período, mas para isso era necessário o investimento financeiro.

“Uma invenção seria socialmente útil apenas se fosse utilizada, portanto, dependia da adoção. (...)Um o inventor com uma patente executável poderia recuperar os custos de desenvolvimento por meio royalties” (ALLEM, 2011, p.: 368-369 - tradução nossa).

A primeira máquina, que se tem registro, a utilizar o carvão como combustível para gerar vapor, e assim, força motriz capaz de drenar as minas, bem sucedida, foi desenvolvida pelo engenheiro militar inglês, Thomas Savery (1650-1715) (NUVOLARI, 2003). Savery, nascido e criado no condado de Devon, já havia trabalhado em minas de carvão antes de se tornar militar e estava envolvido em buscar formas de solucionar o problema das minas. Suas ideias foram baseadas em outras máquinas para bombeamento de água e máquinas a vapor da época, como a de Edward Somerset (1602-1667), o marquês de Worcester (KERKER, 1961; KOOIJ, 2015).

Devido às críticas ao dispositivo de Papin, feitas por Hooke, Savery abandonou o uso do cilindro e pistão (FIGUIER, 1867). Focou no desenvolvimento de um dispositivo com princípios de funcionamento diferentes, ao invés de corrigir limitações apontadas no dispositivo anterior. Sua máquina utilizava a queima do carvão para gerar vapor e criar vácuo e a pressão atmosférica se encarregava de elevar a água para fora da mina. Savery demonstrou seu dispositivo ao rei William III¹⁶ (1650-1702) em 1698 e à *Royal Society* de Londres, em 1699, nessa época presidida por Isaac Newton (1643-1727). Com essas demonstrações, ele obteve a patente para construção de seu motor, que foi o primeiro implementado para elevação das águas nas minas de carvão.

A patente, Nº. 356, 2 de julho de 1698, deu a Savery a proteção de 14 anos e em 1699 foi estendida pela lei *Fire Engine Act*, promulgada pelo Parlamento, o que fez com que a patente durasse até 1733. Ela garantia ao inventor a exclusividade de construção de qualquer máquina para elevar a água utilizando fogo, seja para drenar minas, abastecer cidades ou movimentar moinhos (KOOIJ, 2015).

¹⁶ Rei William III (Guilherme III) da Inglaterra, também conhecido como William de Orange, impulsionou a união dos reinos da Inglaterra e Escócia com o nome de Grã-Bretanha, que ocorreu depois de sua morte, em 1707 (MURDOCH, 2007). William III teve como tutor Constantijn Huygens (1628 - 1697) (KOOIJ, 2015).

O motor foi desenvolvido e recebeu diversas melhorias entre os anos de 1695 e 1702, quando Thomas Savery escreveu o livro “*The Miners Friend: Or, an Engine to Raise Water by Fire*” (O amigo mineiro: Um motor para aumentar água pelo fogo) trazendo a descrição de seu funcionamento. Nesse livro, além de explicar o funcionamento, ele descreve como montar e realizar manutenções no motor, fala de outras possibilidades de aplicações e responde a algumas dúvidas que poderiam aparecer, sobre a sua máquina.

Sua máquina (FIG. 12) dispunha de uma caldeira contendo água, que ao ser aquecida, gerava vapor. Esse vapor pressionava a água contida em um outro reservatório e a expelia, gerando vácuo. Todo processo contava com abertura e fechamento de válvulas para garantir a direção do fluxo de vapor e água. Devido a ação da pressão atmosférica e do vácuo, no interior do recipiente, a água corria através de um tubo, do interior da mina para o reservatório.

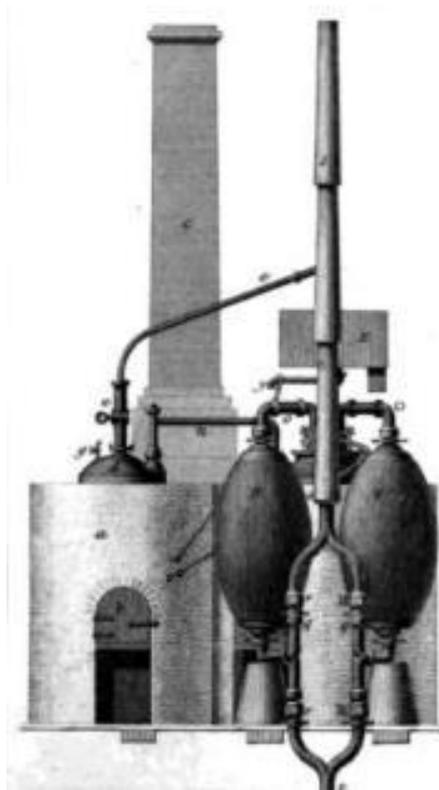


Figura 12– Representação da Máquina de Savery.

Fonte: (SAVERY, 1827).

Embora inovadora, a máquina de Savery, apresentava problemas estruturais e um alto consumo de carvão, o que a tornava ineficiente. A máquina tinha capacidade de elevar a água a uma altura de 20 pés (6 m), com segurança. O aumento da profundidade poderia resultar em explosões, e a inexistência de um dispositivo de segurança era uma de suas limitações.

Savery (1827) fala da possibilidade de elevar a água até quinhentos ou cem mil pés (152,4 m, 30,5 km), caso houvesse meios de obter recipientes de material forte o suficiente (FIGUIER, 1867). As limitações da máquina de Savery não eram devidas a dificuldades de se implementar princípios científicos, mas a imperfeições na construção e nos materiais utilizados (KERKER, 1961).

Em 1705, Papin, soube por Leibniz, do uso de máquinas a vapor na Inglaterra. Então retomou seus trabalhos nessa área e desenvolveu um novo dispositivo, incentivado por Carlos I (1654 - 1730). O expôs em um pequeno livro chamado “*Nouvelle Manière d’élever l’eau par la force du feu*” (Nova maneira de elevar a água pela força do fogo), publicado na Alemanha. Neste livro, ele menciona a válvula de segurança associada à máquina a vapor. Também propôs à *Royal Society* de Londres em 1708, a construção de um barco a vapor, mas sua proposta foi recusada. Um dos motivos foram as críticas feitas por Thomas Savery ao cilindro pistão devido ao atrito (KOOIJ, 2015).

Essas críticas ao dispositivo de Papin podem evidenciar uma certa resistência dos britânicos a considerar um dispositivo desenvolvido em outro país.

“Muito mais pode ser dito sobre esses homens e seus contemporâneos, mas esta descrição ilustra as condições que muitos estudiosos estavam enfrentando: dependência, ciúme e a síndrome do "não inventado aqui" exibida tão bem por Savery” (KOOIJ, 2015, p. 30 – tradução nossa).

Outro francês, John Theophilus Desaguliers (1683-1744), em 1718, foi o primeiro a implementar a válvula de segurança proposta por Papin, em uma máquina de Savery, talvez estimulado pelas manifestações do primeiro. Mas nessa época, poucas máquinas de Savery ainda estavam em operação (FIGUIER, 1867). Desaguliers também era membro da *Royal Society* de Londres e estava envolvido na construção de máquinas para elevação da água em jardins, para atender a aristocracia.

As limitações da máquina de Savery, não tiram sua importância, a primeira máquina a vapor, em uso prático, a operar na Europa. Pois ela foi responsável por apresentar as potencialidades e o uso mecânico do vapor d'água, não só aos trabalhadores e donos de minas, mas a população dos grandes centros manufatureiros e trabalhadores de diferentes profissões (FIGUIER, 1867).

5.2.2 A Grã-Bretanha conhece a energia a vapor.

A máquina de Savery despertou o interesse de trabalhadores de diversas áreas, entre eles estavam Thomas Newcomen (1664 - 1729), um comerciante e ferreiro inglês e seu sócio, o vidraceiro, John Calley (1663 - 1725). Newcomen estava inteirado sobre os problemas com as inundações das minas de carvão, pois entre seus clientes estavam alguns proprietários de minas (CORFIELD, 2013). Os sócios tiveram seu primeiro contato com a máquina de Savery, após uma delas ser instalada em uma mina nas proximidades de Dartmouth, condado de Devon, cidade em que viviam (KOOIJ, 2015). Eles uniram o sistema de cilindro-pistão de Papin à caldeira e a injeção de água de Savery, para criar vácuo, em um novo dispositivo.

Newcomen, assim como seu pai e avô, além de comerciante, era membro ativo em sua religião. Sua família tinha uma certa ligação com a monarquia, mas perderam terras em decorrência de conflitos políticos e religiosos. Ele possuiu uma certa educação, e assim como outros pregadores batistas, tinha propensão pelo aprendizado (KITSIKOPOULOS, 2013). A educação batista pode ter sido o que o colocou em contato com o dispositivo de Papin. Além disso, Newcomen trocava correspondências com seu compatriota, Robert Hooke, nas quais apresentava seus projetos (FIGUIER, 1867). Essa é outra relação que pode ter colocado o ferreiro em contato com o trabalho de Papin.

Newcomen e Calley, buscaram uma licença para produção de uma nova máquina a vapor, mas não obtiveram sucesso. A abrangência da patente de Savery, dificultou o desenvolvimento e implementação de novas máquinas entre 1699 e 1733. Para reproduzir uma máquina, com características e objetivos próximos, era necessário um alto investimento financeiro (SILVA & ERROBIDART, 2019). Devido a patente e a objeção de Savery na concessão da licença aos sócios, uma parceria teve de ser formada. Após o pagamento de *royalties*, o acordo e a sociedade entre Newcomen, Savery e Calley, permitiu a construção de um novo motor a vapor, que seria comercializado sob a patente de Savery.

A máquina de Newcomen e Calley (FIG. 13), resolveu de maneira prática a limitação de altura da máquina de Savery. Devido ao seu princípio de funcionamento, os motores construídos a partir dessa sociedade, também eram conhecidos como motores atmosféricos. Em 1712, foi implementada a primeira máquina, seguindo esse modelo, há divergências sobre onde ela foi construída, se em Wolverhampton, ou próximo ao Castelo de Dudley em Coneygree, Tipton (ANDREW & ALLEN, 2009), ambos no condado de Stafford, ou ainda, no condado de Cornwall.

Em pouco tempo, o motor atmosférico foi instalado na maioria dos distritos de mineração importantes na Grã-Bretanha (KOOIJ, 2015). Principalmente nas regiões onde havia abundância de carvão, e com isso mais barato, pois essa máquina ainda apresentava um alto consumo.



Figura 13- Motor para elevar água pelo fogo, 1717 – Motor de Newcomen.

Fonte: Klingender, 1975- p. 196.

Além do alto consumo, assim como a máquina de Savery, a máquina de Newcomen também apresentava limitações estruturais, devido aos materiais e técnicas disponíveis na época. Mas ele conseguiu desenvolver uma máquina prática, um pesado dispositivo feito de latão, ferro e madeira, que bombeou as minas de maneira eficiente, rendendo lucros reais, tanto para os proprietários das minas quanto para a empresa que, mais tarde, adquiriu a patente de Savery (KERKER, 1961). Com a morte de Savery em 1715, a patente foi concedida a uma empresa chamada “*The Proprietors of the Invention for Raising Water by Fire*” (Os Proprietários da Invenção para Aumentar a Água pelo Fogo). Essa empresa emitiu licenças para a produção, instalação e operação dos motores a vapor, mediante o pagamento de altos *royalties*. O que fez com que, no período que se estendeu de 1715 a 1733 (ano de término da patente), a difusão do motor a vapor tenha sido dificultada. Contabilizando a instalação de 97 motores, entre 1700 e 1733, (NUVOLARI, 2003), distribuídos como mostra a figura 14.

Newcomen, no entanto, não obteve muitos ganhos com sua invenção, pois faleceu quatro anos antes do término da patente (KOOIJ, 2015).

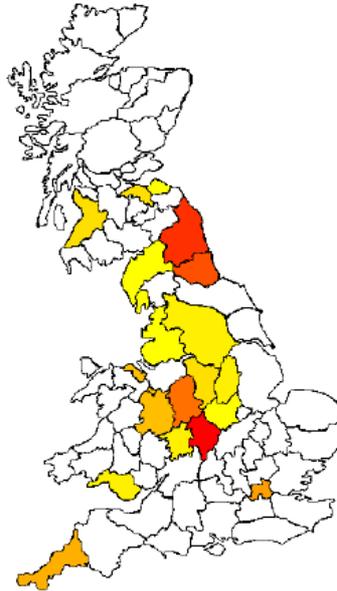


Figura 14- Construção das máquinas de Savery/Newcomen entre 1700 e 1733, na Grã-Bretanha.

Fonte: (NUVOLARI, 2003 p. 6).

Neste mapa, quanto mais intensas são as cores (do amarelo ao vermelho), maior a concentração de máquinas construídas na região, as regiões que estão em branco não possuem registros de máquinas neste período. “Vale a pena observar que este conjunto de dados pretende cobrir a construção do motor e não a utilização do motor” (NUVOLARI, 2003, p. 4 – tradução nossa).

As melhorias nas máquinas de Newcomen, foram, durante muitos anos, estruturais, sem que houvesse modificação nos princípios de funcionamento. Isso pode se dar ao fato de que uma teoria científica, que envolvesse as propriedades elásticas do vapor, só foi desenvolvida por volta de 1760 (FIGUIER, 1867).

Em 1713, uma melhoria proposta por Humphrey Potter (1689 -1718), permitiu que o próprio movimento da máquina abrisse e fechasse as válvulas, o que aumentou também a quantidade de pancadas por minuto, ou seja, sua velocidade de funcionamento (THURSTON, 1878). Potter, operava uma máquina de Newcomen, na abertura e fechamento das válvulas e ao implementar sua proposta conseguiu automatizar a máquina utilizando cordas.

O tio de Potter, de mesmo nome, Humphrey Potter (1622 - 1676), era conhecido de Newcomen, devido a relações batistas. Essas relações de Newcomen, favoreceram também a

difusão de sua máquina. Edward Wallin (?-?)¹⁷, um ministro sueco e batista, membro da empresa que obteve a patente de Savery, tornou-se um divulgador da máquina em Londres (CORFIELD, 2013). A melhoria feita por Potter, sobrinho, foi relatada por Desaguliers (GREENER, 2018).

Também em 1718, o mecânico e engenheiro Henry Beighton (1687 - 1743), substituiu as cordas utilizadas por Potter, por uma barra de ferro. E instalou a primeira máquina de Newcomen, em Newcastle, condado de Tyne and Wear, que não dependia da operação humana (FIGUIER, 1867).

As máquinas eram robustas e estacionárias e, por isso, erguidas no local onde operariam. Isso fez com que as inúmeras máquinas construídas fossem, de certa forma, únicas (KOOIJ, 2015).

Embora a construção e manutenção da máquina a vapor de Newcomen fosse simples, exigia mais do que habilidades normais de engenharia. Sendo assim, alguns engenheiros empenharam-se na formação e consolidação das bases de competências para construção dos motores. Henry Beighton era um deles, que além de aprimorar o motor, registrou em uma tabela regras básicas de proporções, para sua construção. Entre outros estavam, os engenheiros ingleses Joseph Hornblower (1696 - 1762) e filho de John Calley e o engenheiro e físico sueco, Marten Triewald (1691- 1747). Essas habilidades e competências eram determinantes no sucesso da implementação dos motores. Por isso, esses engenheiros trabalhavam, a serviço dos donos das minas, na construção, supervisão ou manutenção dessas máquinas (NUVOLARI, 2003). A difusão desta máquina se deu em regiões em que haviam pessoas capazes de realizar sua construção e operação.

O engenheiro inglês, John Smeaton (1724 - 1792), fez melhorias em diversas máquinas de Newcomen que foi contratado para construir. Suas melhorias, assim como as anteriores a ele, foram estruturais. Ele melhorou a fabricação do pistão e do cilindro, evitando assim, perdas de energia. As modificações na construção da caldeira e na disposição da lareira, possibilitaram a economia de combustível (FIGUIER, 1867).

A contribuição de Smeaton foi além de melhorias nas máquinas, em 1759, ele publicou, no *“Philosophical Transactions of the Royal Society”*¹⁸, um importante meio de

¹⁷ Assim como Wallin, alguns outros atores que integram esta dissertação não estão descritos com suas respectivas datas de nascimento e morte, isto por que não encontramos essas informações nas literaturas utilizadas, tampouco suas biografias.

¹⁸ Smeaton, publicou 18 artigos no *Philosophical Transactions of the Royal Society*, dentre eles, o que tratava das máquinas a vapor, recebeu o título: *“An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion”* (Uma investigação experimental sobre os poderes naturais da água e do vento para girar mols e outras máquinas, dependendo de um movimento circular).

divulgação científica nesse período, um inquérito experimental sobre rodas d'água e outras máquinas. O que trouxe a discussão desses dispositivos, antes predominantemente na engenharia, para a comunidade científica (KOOIJ, 2015).

Após 1733, com o término da patente dos “Proprietários”, as máquinas passaram a ser construídas por artesãos locais. Alguns componentes eram fabricados por siderúrgicas e encaminhados ao local de instalação da máquina. O que possibilitou sua maior difusão entre os anos de 1734 a 1774, em que o número de máquinas instaladas passou de 97 para 539 (Fig. 15) (NUVOLARI, 2003).

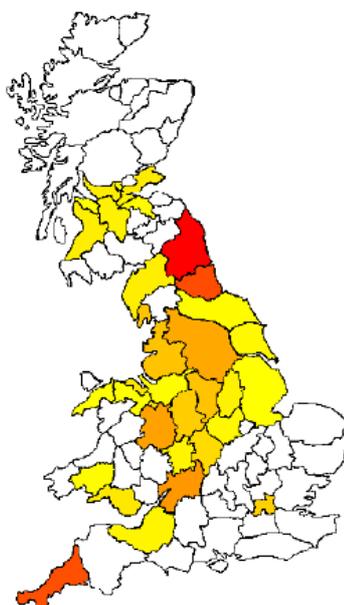


Figura 15- Construção das máquinas de Newcomen entre 1733 e 1774, na Grã-Bretanha.

Fonte: (NUVOLARI, 2003 P. 6).

Em comparação com o cenário anterior (1700 - 1733), podemos observar que as máquinas passaram a ocupar um número maior de regiões. Foram construídos motores em mais 4 regiões, passando de 3 para 7 na Escócia e na Inglaterra de 17 para 26 regiões. O esquema de cores deste mapa é semelhante ao do mapa anterior (Fig. 14), e a intensidade das cores¹⁹ indicam números de máquinas construídas com relação às demais regiões.

Uma possível causa da difusão das máquinas a vapor na Escócia, foi a instalação da siderúrgica Carron em Stirling, em 1760, que utilizava os cilindros propostos por Smeaton.

¹⁹ Em regiões como Cornwall é possível ver que a intensidade de sua cor aumentou (passou do amarelo para o laranja), mas em outras regiões como Warwick a intensidade diminuiu (passou do vermelho ao amarelo escuro). Embora isso não signifique que as regiões aumentaram ou diminuíram o número de máquinas em utilização, mas sim que, em comparação com as demais regiões no mesmo período, o número de construídas em regiões representadas na cor vermelha foi maior, por exemplo.

Assim como a Carron fundada por John Roebuck (1718–1794), outras siderúrgicas importantes, em funcionamento na época, podem ter auxiliado na difusão das máquinas a vapor pela Grã-Bretanha, pois forneciam cilindros para a construção das máquinas. Essas siderúrgicas são: Bersham, assumida por Jhon Wilkson²⁰ (1728 –1808) em 1761, em Denbigh no País de Gales, Coalbrookdale, a mais antiga, fundada em 1709 e a New Willey (1757), que também tinha como sócio Wilkson, as duas últimas de Shropshire na Inglaterra. Neste período as máquinas eram utilizadas, também, em outros tipos de indústrias, como as indústrias têxteis e na fabricação de lã (NUVOLARI, 2003).

As siderúrgicas, além de construírem componentes para as máquinas, também começaram a utilizar desta tecnologia nos fornos, para produção do “ferro-gusa”. Isso mostra como uma gama de desenvolvimentos influenciou outra gama de desenvolvimentos. O carvão era utilizado para derreter o minério de ferro no “ferro-gusa” de carvão. A utilização das máquinas a vapor, nas siderúrgicas e fundições, auxiliou a produção de “ferro-fundido” (KOOIJ, 2015). O que implicou em melhorias na fabricação dos componentes, possibilitando a construção de máquinas mais eficientes.

5.2.3 o modelo de bancada da máquina a vapor.

Com a difusão das máquinas a vapor e o desenvolvimento industrial, na Grã-Bretanha, da exploração de uma nova forma de produção de força motriz, era de se esperar que cada vez mais pessoas, empresas e até instituições de ensino, buscassem desenvolver novos dispositivos que usassem esse princípio. Em cerca de 74 anos (1700-1774), o número de máquinas a vapor construídas foram de 0 a 539, espalhadas por diversas regiões britânicas, o que mostrava além da aplicabilidade do vapor, um mercado consumidor ativo e a possibilidade de retorno financeiro.

Essa exposição possibilitou o estudo de bancada das máquinas, ou seja, protótipos reduzidos, com o propósito de reconhecer os elementos e padrões de funcionamento, e assim, propor soluções para as limitações, como o alto consumo de combustível. Foi o que colocou

²⁰ Mais informações sobre o expoente do ferro John Wilkson, e suas siderúrgicas em: PEE, R; HAWES, M. “John Wilkinson e a Two Willey Ironworks”, 1988. Disponível em: <<https://www.broseley.org.uk/wilkfiles/THE%20TWO%20WILLEY%20IRONWORKS.htm>> Acesso em 20 de novembro de 2021.

James Watt (1736-1819), em contato com uma máquina de Newcomen, pertencente à disciplina de filosofia natural²¹ da Universidade de Glasgow, em 1763 (FIGUIER, 1867).

O contato de Watt com a máquina de Newcomen foi como um instrumento de laboratório. Diferente do contato que os engenheiros e operadores que haviam aplicado melhorias à máquina. Eles implementaram soluções, práticas e técnicas, a máquinas em operação. Watt analisou o motor cientificamente, realizou testes e experimentos a fim de conhecer as propriedades físicas de seu funcionamento e, também, as propriedades do vapor (THURSTON, 1878).

A educação inglesa no século XVIII era conflituosa e destinada a poucos (THOMPSON, 1989). Embora houvesse duas universidades na Inglaterra, a Universidade de Oxford (desde 1096) e a Universidade de Cambridge (desde 1209), elas não tiveram impacto direto no advento das máquinas a vapor. A Escócia, por sua vez, possuía aproximadamente sete²² instituições de ensino superior, entre elas a Universidade de Glasgow, próximo a Stirling. Na época, a universidade possuía um laboratório contendo modelos reduzidos da máquina de Newcomen para estudos.

Neste período, também na Universidade de Glasgow, o químico Joseph Black (1729 - 1799), em 1761, desenvolveu a teoria do calor latente, ao realizar experimentos envolvendo aquecimento de gelo e de vapor d'água. Os efeitos e teorias sobre o calórico e o desenvolvimento de dispositivos capazes de medir a variação da temperatura, já permeavam a mente de cientistas desde o final do século XVII. Black expôs sua teoria em duas memórias²³ no *Philosophical Transactions*, e em suas palestras na universidade, tendo como um de seus ouvintes o mecânico James Watt (FIGUIER, 1867).

Watt nasceu em Greenock, uma cidade portuária da Escócia, e seu pai estava envolvido com negócios marítimos, o que o colocou em contato com equipamentos mecânicos. Sua mãe vinha de uma família que possuía certa educação (KOOIJ, 2015).

²¹ Em boa parte das Universidades, junto aos estudos literários, ganhava espaço a exposição de elementos de mecânica aplicada (FIGUIER, 1867).

²² Universidade de Edimburg (desde 1583), Universidade de Glasgow (desde 1451), Universidade Strathclyde (fundada por John Robinson), Universidade de Aberdeenn (desde 1495), Universidade de Andrews (desde 1413), Marischal College (desde 1593) e Royal College of Physycians & Surgeons of Glasgow (desde 1599).

²³ A primeira publicação mencionada, foi uma carta de Black, destinada a Jhon Pringle (1707 -1782), presidente da *Royal Society* de 1772 a 1778, de título: "The supposed effect of boiling upon water, in disposing it to freeze more readily, ascertained by experiments" (O suposto efeito da fervura sobre a água, ao descartá-la para congelar mais prontamente, verificado por experimentos) em 1755. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1775.0014>. Acesso em: 05 de outubro de 2021. A segunda, em 1783, um artigo de título: "Experiments for ascertaining the point of mercurial congelation" (Experimentos para determinar o ponto de congelamento mercurial), escrito juntamente com Thomas Hutchins (1742-1790).

Desde novo, ele mostrou uma inclinação para matemática e gosto pela mecânica. Por isso, James, foi enviado a Glasgow para morar com parentes maternos e desenvolver suas habilidades na fabricação de instrumentos. Neste período, ele conheceu Robert Dick Jr. (1722-1757), professor de Filosofia Natural da universidade, que reconheceu o seu talento e o aconselhou a ir para Londres. Watt, seguiu o conselho e, em 1755, foi trabalhar com John Morgan (?-?), produtor de instrumentos matemáticos, em Cornwall (THURSTON, 1878). Essa parceria durou um ano, quando James, devido a problemas de saúde, retornou a sua cidade natal. Em 1756, ele retornou a Glasgow, com o objetivo de abrir um comércio para fabricação e manutenção de instrumentos, mas devido a sua posição social foi impedido pelos sindicatos e guildas locais. Mais uma vez contou com a ajuda de seu amigo, Dr. Dick, que o contratou para consertar dispositivos na Universidade de Glasgow, onde assumiu a posição de criador de instrumentos matemáticos (THURSTON, 1878).

Estando na Universidade, Watt, frequentou algumas palestras e aulas mantendo contato e amizade com cientistas, como Black e John Robinson (1739-1805). Durante os anos de 1763 e 1764, o professor John Anderson (1726 - 1796), questionou James, se ele conseguiria consertar um modelo de bancada da máquina de Newcomen (FIG.16). O que deveria ser investigado era o alto consumo do combustível das máquinas em utilização. O único contato que ele teve, anteriormente, com uma máquina a vapor, foi com o dispositivo de Papin (KERKER, 1961).



Figura 16 – Modelo da máquina de Newcomen.

Fonte: *The Hunterian, University of Glasgow – Instrumentos Científicos*²⁴.

²⁴ Disponível em:

<<https://www.gla.ac.uk/hunterian/collections/collectionsummaries/scientificinstruments/modelnewcomensteamengine/>>. Acesso em 21 de novembro de 2021.

Com os testes, Watt obteve o volume de vapor produzido para certa quantidade de carvão e o volume de água levado à fervura para a obtenção de determinado volume de vapor. Embasado pela teoria do calor latente de Black, determinou a quantidade de água fria, que deveria ser injetada no cilindro de uma bomba de Newcomen, de dimensões conhecidas, para otimizar a condensação. O que permitiu estabelecer a relação entre a força elástica do vapor correspondente à variação de temperatura (FIGUIER, 1867).

James, chegou à conclusão que a perda de energia estava relacionada ao processo de resfriamento do cilindro pistão, e que este deveria se manter tão quente quanto o vapor, durante todo o processo. Para isso, era necessário que o resfriamento do vapor ocorresse em um recipiente separado (KOOIJ, 2015). Desenvolveu, então, o “condensador separado”, que algum tempo depois, lhe renderia sua primeira patente. Esse condensador foi implementado em um modelo de máquina a vapor reduzido, que Watt desenvolveu para testes.

Watt, se dedicou a aprimorar seu modelo e à construção de um modelo maior. Em 1765, alugou uma casa onde trabalhou com um mecânico John Gardiner (?-?), por várias semanas, trabalhou também na exploração de minas de carvão em um bairro de Glasgow, para magistrados da cidade (THURSTON, 1878). Sua casa era o local de convivência com seus amigos Black, Robinson, Anderson, e de outras personalidades como, o matemático e restaurador de obras matemáticas, Robert Simson (1687-1768) e, o economista e filósofo, Adam Smith (1723 - 1790). Por meio desses contatos, ele conheceu John Roebuck, a quem apresentou suas adaptações na máquina de Newcomen e seu modelo (FIGUIER, 1867).

O estudo de um modelo reduzido de uma máquina a vapor a fim de conhecer seu funcionamento e propor melhorias, foi o diferencial do trabalho desenvolvido por Watt. Contudo, não foi neste momento que uma teoria científica que abarcasse a tecnologia do vapor foi desenvolvida. Sadi Carnot (1796-1832), evidenciou, mais tarde, na primeira metade do século XIX, a necessidade do desenvolvimento desta teoria.

5.2.4 A indústria de máquinas a vapor.

Depois de dois anos, em 1767, Roebuck, médico e empresário, tornou-se o primeiro parceiro comercial de Watt. Ele investiu financeiramente nos planos de James, o que possibilitou a continuidade do desenvolvimento da máquina e a quitação dos empréstimos que o inventor havia adquirido, com seus amigos, para o desenvolvimento de seu modelo. Em troca, o inventor concordou em entregar ao parceiro, dois terços dos ganhos da empresa (THURSTON, 1878).

Essa parceria não foi por acaso, Roebuck em 1760 entrou para o ramo de fabricação de ferro e estabeleceu, junto com outros sócios, a “*Carron Company Ironworks*”²⁵ em Stirling. Para alimentar sua fábrica ele precisava de carvão, e foi aí, ao alugar, do Duque de Hamilton, minas de carvão e salinas, em Borrowstounness, que ele teve contato com o problema das inundações. As máquinas de Newcomen, não eram suficientes para drenagem destas minas, isso que o levou a entrar em contato com Watt, por já ter ouvido falar sobre seu trabalho e pretensões (KOOIJ, 2015).

Com o investimento de Roebuck, Watt construiu em Kinnel, em 1768, próximo Borrowstounness, sua máquina a vapor, para esgotamento de água. Esta máquina foi construída como um tipo de último teste, e ela passou por várias modificações até atingir sua potencialidade. Após alcançar seus objetivos com a máquina, James Watt se ocupou em garantir a exclusividade de sua invenção. E em 1769, obteve sua primeira patente, No. 913, sobre o condensador separado (FIGUIER, 1867).

Nesse tempo, Roebuck foi à falência, e por isso, abandonou o empreendimento e a esposa de Watt faleceu. Diante dessas adversidades, Watt voltou-se à profissão de mecânico, trabalhou na elaboração de planos e construção de canais de escoamento de carvão, esteve envolvido na construção de pontes. E só retornou ao campo das máquinas a vapor, quatro anos depois, ao estabelecer uma nova parceria empresarial, com Matthew Boulton (1729 - 1809). Parceria essa que foi significativa para a difusão de sua máquina.

Boulton possuía uma fábrica no Soho²⁶ e estava trabalhando no desenvolvimento de sua própria máquina à vapor, por isso compreendeu a relevância do trabalho de Watt. Eles se conheceram em 1768, quando James foi a Londres para obter a patente, mas sua parceria foi firmada em 1773, depois de acordos estabelecidos com Roebuck (KOOIJ, 2015).

Durante um ano, Watt concluiu os trabalhos que havia iniciado, se mudando para Soho (Westminster) em 1774, ano em que informou a seu antigo parceiro os resultados positivos da máquina instalada em Kinnel. Neste ano também, Watt foi a Londres buscar a ampliação do prazo de sua patente, que expiraria em 1783. Com ajuda de seus amigos influentes e de Boulton, sua patente foi estendida por 24 anos, em 1775. Daí em diante, os parceiros começaram a instalação e difusão da máquina a vapor. Watt supervisionou o projeto, construção e montagem

²⁵ A siderúrgica fundada por John Roebuck, seus irmãos, Thomas Roebuck(1725-1772), Benjamin Roebuck (1712-1796) e Ebenezer Roebuck(1719-1771); Samuel Garbett (1717 - 1803), um comerciante de Birmingham; William Cadell (1708 - 1777), um comerciante de escocês e William Cadell jr. (1737 - 1819) .

²⁶ Soho é uma região da cidade de Westminster, que faz parte de uma região de Londres.

de seus motores, e Boulton assumiu os negócios em geral, algo que ele tinha muita habilidade (THURSTON, 1878).

Os aprimoramentos nas máquinas a vapor passaram também por melhorias na construção de seus componentes, os trabalhos com ferro fundido foram de grande importância. Para o melhor funcionamento de sua máquina, Watt precisava obter cilindros com furos precisos, e a princípio, esses furos eram realizados com ferro e martelo, o que causava vazamento, devido a imprecisão. Mas em 1774, John Wilkinson (1728-1808), empresário do ramo de ferro fundido, desenvolveu a “broqueadora”, um dispositivo que permitia, entre outras coisas, perfurar os cilindros de acordo com as especificações de Watt. Dessa forma, Wilkinson forneceu os cilindros para máquinas da empresa *Boulton & Watt*, que foi fundada em Birmingham, até que esse fossem produzidos pelos empresários em fundições de Soho. Outro metalurgista que desenvolveu técnicas que auxiliaram na construção de máquinas mais eficientes, foi Henry Cort (1740 - 1800), que patenteou em 1783 o processo de poça para solda (KOOIJ, 2015).

O diferencial dos motores produzidos e instalados pela *Boulton & Watt*, era a grande economia de combustível, comparado aos motores de Newcomen. Mas em contrapartida, a montagem e manutenção dos motores de Watt exigiam uma engenharia mais elaborada e devido às peças adicionais (bomba de ar, condensador separado, entre outros) eram, geralmente, mais caros (NUVOLARI, 2003).

No período que compreende os anos de 1775 a 1800, as máquinas de Watt começaram a se difundir, embora muitas máquinas de Newcomen ainda estivessem em utilização e comercialização. Por isso, este período é caracterizado pela competição entre esses dois motores. A estrutura de operação dos motores de Watt, permitam a sua utilização como força motriz de máquinas variadas, o que despertou o interesse dos condados têxteis, como Lancashire²⁷, Renfrew e West Riding (York Shire). Enquanto os motores de Newcomen eram mais utilizados em condados em que o preço do carvão era menor (NUVOLARI,2003).

A figura 17, mostra a relação entre o preço do carvão em diferentes regiões da Grã-Bretanha, sendo da cor mais clara, amarela, regiões com o preço do carvão mais baixo e podemos comparar essa relação com a difusão (construção) de máquinas de Newcomen (Fig. 18) e de Watt (Fig. 19), neste período. O padrão de cores é o mesmo a ser analisado nas três imagens.

²⁷ Shire significa condado, alguns condados, como Lancashire trazem esse sufixo em seu próprio nome.

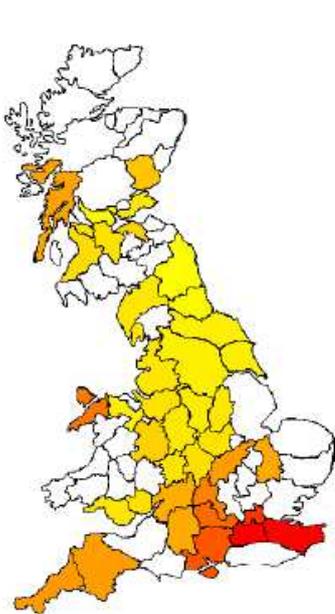


Figura 17- Preço do carvão por volta de 1800 – Grã Bretanha

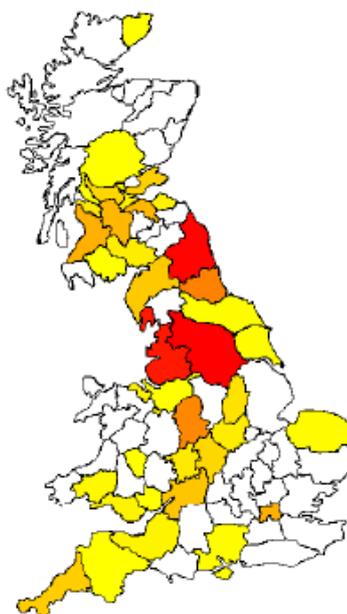


Figura 19- Construção das máquinas de Newcomen entre 1755 e 1800.

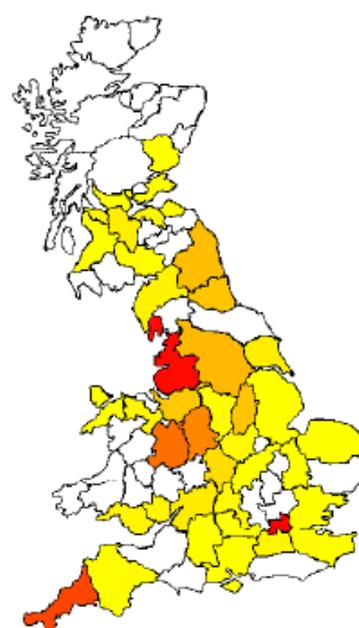


Figura 18- Construção das máquinas de Watt entre 1755 e 1800.

Fonte: (NUVOLARI, 2003, p.6)

Regiões em que o preço do carvão era menor, que na figura 17 apresenta coloração amarela clara, apresentam na figura 18 coloração mais alaranjada e avermelhada, como é o caso de regiões como Lancashire, Yorkshire e Newcastle. Já regiões em que o preço do carvão era mais elevado, coloração alaranjada e avermelhada na figura 17, em alguns casos não aparecem com coloração na figura 18, ou na coloração amarelo claro, como é o caso dos condados de Sarry, Kent e Hampshire. Assim estabelecendo a relação entre a construção de motores de Newcomen e regiões de carvão mais barato, o que não significa que este esteve banido de regiões com carvão mais caro, mas em menor quantidade. Já a construção de motores de Watt, se deu de maneira espalhada, não dependendo de forma determinante do preço do carvão e sim da demanda trazida pela mecanização, regiões alaranjadas e avermelhadas na figura 19, como as regiões de Cornwall, grande Londres, Shoropshire, Sttafordshire e West Riding (York Shire). E ainda regiões que possuíam coloração avermelhada na figura 17 e não possuíam coloração na figura 18, aparecem com coloração na figura 19, ou seja, regiões de carvão caro que não construíram motores de Newcomen optaram pela construção dos de Watt.

Entre os anos de 1775 e 1785, Watt continuou desenvolvendo melhorias em seu dispositivo e outros mecanismos. Os quais lhe renderam 5 patentes. A utilização inicial da máquina de Watt explorava seu movimento na vertical, necessário para aplicações como a

elevação da água. No entanto, a possibilidade da utilização de um movimento rotativo, abria a aplicação da máquina em diferentes tipos de setores (KOOIJ, 2015).

Watt “inventou” um motor de roda utilizando manivela e contrapeso. Mas esse princípio de movimento já era bastante utilizado em dispositivos mecânicos da época. Matthew Wasbrough (1753-1781) já havia patenteado, em 1779, o princípio da manivela e da roda. James Pickard (?-?), em 1780, patenteou um dispositivo de manivela com contrapeso. Wasbrough e seus sócios John Steed (?-?) e James Pickard haviam explorado as possibilidades de obter movimento rotativo a partir das máquinas de Newcomen (NUVOLARI, 2003).

O movimento rotativo abria o leque de aplicação das máquinas a vapor em outros setores, e por isso, era de interesse desses inventores o desenvolvimento de dispositivos que incorporassem esse princípio de funcionamento, às novas máquinas.

“Para contornar essas patentes, Watt teve, portanto, de empregar algum outro método. Ele se adaptou, depois investigação, cinco conceitos diferentes para garantir o movimento rotativo sem uma manivela: a "roda inclinada", "roda da manivela com contrapeso", "roda excêntrica", "roda excêntrica com roda motriz interna" e "roda sol-planetária", a invenção foi patenteada em fevereiro de 1782 (juntos com patentes para os outros métodos)” (KOOIJ, 2015, p. 63- tradução nossa).

A roda sol-planetária havia sido inventada por um funcionário da *Boulton & Watt*, William Murdoch (1754 - 1839) (WEEKS, 1904).

A ambição de Boulton e Watt, era a disseminação do motor a nível nacional. As estratégias de marketing associadas à eficiência dos motores, garantiram que a energia a vapor, na forma do motor Watt, fosse rapidamente adotada em uma ampla gama de aplicações industriais (por exemplo, a indústria alimentícia, especialmente cervejarias, têxteis, etc.). (DICKINSON, 1947). Frequentemente, os amigos empresários pediam a seus clientes mais antigos, que permitissem que compradores em potencial pudessem inspecionar os motores instalados (HILLS, 1970).

Outra tática adotada, foi a distribuição da máquina a quem quisesse, instalação e manutenção, sem custo inicial. Mas para isso, as pessoas que adquirirem as máquinas deveriam pagar a Boulton e Watt anualmente, *royalties* sobre um terço do valor economizado com combustível, naquele ano, com a substituição da máquina (FIGUIER, 1867). O pagamento aconteceria até 1800, ano que a patente do condensador separada terminaria. Watt desenvolveu, em 1781, um dispositivo capaz de registrar e contabilizar os golpes do motor de Watt, e assim calcular a economia de combustível (KOOIJ, 2015).

Com essas condições, os donos das minas não hesitaram em adquirir o dispositivo. Os proventos vindos da substituição das máquinas anteriores pelas máquinas de Watt, eram volumosos. Quanto mais se economizava, mais se produzia e mais rendimentos os proprietários acumulavam. Mas, em contrapartida, mais se pagava a *Boulton & Watt*. Por isso, alguns donos das minas, recorreram a homens não-credenciados, para emissão de patentes, especificando modificações insignificantes, com o objetivo de retirar a obrigatoriedade do pagamento de *royalties*. Logo, diversos processos começaram a ameaçar a empresa de Boulton e Watt (FIGUIER, 1867).

Mesmo sem a intenção de enfrentar disputas judiciais, os parceiros empresários, não viram outra solução para proteção de seus ganhos e o enfrentamento de motores piratas. As modificações vieram de diversas formas e com objetivos diferentes. Em alguns casos os piratas modificaram alguns componentes para uso próprio ou venda, como é o caso do John Wilkinson, que chegou a fabricar peças para os motores de Watt, e a siderúrgica Bateman e Sherratt, em Manchester. Em outros componentes como o condensador separado, era incorporado em outros motores, para obtenção de outras novas patentes (HOWARD, 2009).

Pessoas envolvidas na construção dos motores de Watt como a família Hornblower e Edward Bull (1759 - 1798), ex-funcionários de *Boulton & Watt*, foram os principais alvos judiciais da empresa. Por terem desenvolvido dispositivos essencialmente semelhantes ao de Watt (Bull), ou além disso, terem se beneficiado de informações da empresa para construção de novos dispositivos (Hornblower).

Os Hornblower já estavam envolvidos com motores a vapor, desde o motor de Newcomen²⁸. Jonathan Hornblower Sr. (1753-1815), ajudou na construção de motores de Watt na Cornwall. Esta família vivia em regiões onde haviam diversas minas de carvão, com máquinas a vapor em funcionamento, além de indústrias têxteis, como a Cornwall e Shropshire. E foi neste contexto, seguindo a tradição da família, que alguns dos onze filhos de Jonathan Sr. se envolveram também nesse ofício. Jonathan Hornblower Jr. (1717–1780), desenvolveu um motor composto por dois cilindros, que lhe rendeu uma patente, em 1781. Seus irmãos Josiah Hornblower (1729-1809) e Jabez Carter Hornblower (1744 -1814), trabalharam na construção e difusão das máquinas a vapor de Watt (HOWARD, 2009).

No “motor composto” de Jonatan Jr. (FIG. 20), o vapor empurra o pistão, e ao final de seu curso é transferido para um segundo cilindro que esgota em um condensador. Esse arranjo,

²⁸ Joseph Hornblower trabalhou diretamente com Newcomen, na construção e difusão do seu motor. Seu filho Jonathan Hornblower Sr. (1717–1780), também engenheiro, seguiu a tradição da família, assim como os filhos de Jonathan, na construção de motores a vapor e prestação de serviços nessa área.

fazia o motor de Hornblower mais eficiente que o de Watt, mas ainda assim, semelhante. (KOOIJ, 2015) Em 1782, Jonathan Jr. construiu um motor a pedido do Sr. John Winwood²⁹ (1733-1810) perto de Bristol. William Murdoch, assistente de Boulton e Watt, foi enviado para observar a construção do dispositivo de Jonathan, fez um esboço dele e enviou para Watt (DICKINSON, 2011).

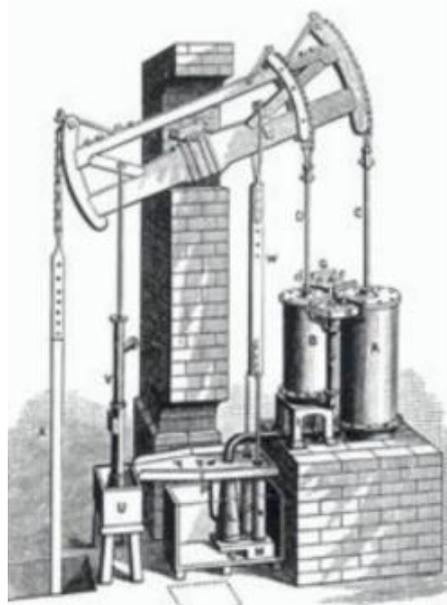


Figura 20 – Motor composto.

Fonte: (KOOIJ, 2015, p. 67).

A patente de Hornblower, impedia Watt de expandir o vapor em um segundo cilindro. De início, Watt suspeitou que a máquina de Hornblower havia infringido sua patente de 1769, mas preferiu esperar para ver como ela se sairia. Ao ser informado por Murdock da máquina levantada em Bristol, a *Boulton & Watt* publicou nos jornais desta cidade, notas ameaçando com ações legais quem utilizasse sistemas de pistão pressionando o vapor. Diante disso, outro Hornblower se manifestou, Jabez, que juntamente com John Winwood, escreveu um artigo chamado “Um discurso aos senhores, aventureiros e outros, envolvidos nas minas de Cornwall”, em 1788, como forma de blefe (KOOIJ, 2015).

Jabez, já havia trabalhado com seu pai na construção de máquinas de Newcomen e depois, juntamente com Watt e Boulton, na construção e desenvolvimento de novos motores

²⁹ Proprietário de uma fundição de ferro: John Winwood & Co, da Bristol Iron Foundry, Cheese Lane, St. Philips, Bristol. Disponível em: <https://www.gracesguide.co.uk/John_Winwood>. Acesso em 15 de outubro de 2021.

patenteados por Watt. Mas em 1790 se mudou para Londres, onde abriu um negócio em sociedade com John Marbely³⁰ (1770-1839), um conhecido courier. E lá se estabeleceu como fabricante de motores a vapor (HOWARD, 2009).

Com esta difusão em diversas regiões da Grã Bretanha, vários engenheiros estavam a serviço de Boulton e Watt. Um dos principais montadores era o engenheiro inglês Edward Bull, que levantou motores de Watt, a princípio em Warwickshire e depois em Cornwall. Projetou um motor, de funcionamento parecido ao de Watt, porém com o cilindro invertido, mais durável e econômico (THURSTON, 1878). Em parceria com o também inventor, Richard Trevithick (1771 - 1833), construiu uma máquina, conhecida como "Bull Cornish Engine" (FIG. 21), nas minas de Ding Dong em 1798 (KOOIJ, 2015).

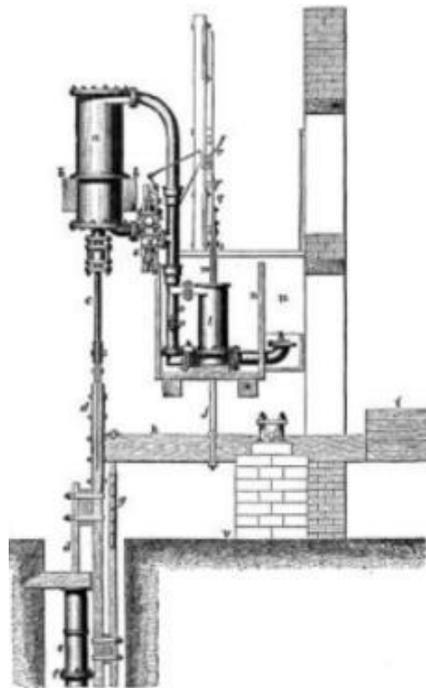


Figura 21- *Bull Cornish Engine*.

Fonte: (KOOIJ, 2015, p. 66).

E foi contra ele o primeiro processo levantado por *Boulton & Watt*, em 1793, Bull já havia instalado máquinas modificadas, de construção própria, desde 1792. Watt alegou que os motores de Bull eram essencialmente iguais aos seus, e ele se defendeu alegando a falta de prescrições técnicas na patente de Watt. Neste ínterim os clientes de Cornwall acompanhavam o processo de perto e alguns aventureiros deixaram de pagar a empresa de Boulton. Com receio

³⁰ John Marbely se tornou membro do parlamento britânico em 1816.

de perder clientes, como Richard Arkwright³¹ (1732–1792), as disputas judiciais se intensificaram, com o objetivo de inibir os piratas. (HOWARD, 2009).

Em 1795, ao tentar renovar a patente do motor composto, Jonathan Hornblower, foi impedido pelas ações judiciais. O segundo processo de *Boulton & Watt* foi contra *Hornblower & Marbely*, que estavam construindo motores a vapor. Em 1796, conseguiram uma liminar que impedia Hornblower de construir novos motores e os donos das minas de utilizar esses motores. Um acordo entre Marbely e Boulton, perdoou os royalties perdidos desde que os dois não voltassem a infringir a patente (KOOIJ, 2015).

Mas eles o infringiram novamente, construindo com a ajuda de um engenheiro de Cornwall, Artur Woolf (1766 - 1837), um motor para uma cervejaria em Londres de Joseph Bramah³² (1748 -1814).

No final de 1796, aconteceu o julgamento, nomes da *Royal Society* como Robinson, amigo e professor de Watt em Glasgow, Roebuck, Murdock, Thomas Wilson (?-?), testemunhas de *Boulton & Watt*. Que alegam, principalmente, que a família Hornblower teve acesso privilegiado aos projetos e desenhos dos motores de Watt, através de seus empregos. Do outro lado do processo, Bramah testemunhou afirmando falta nas especificações dos projetos de Watt. Jabez afirmou que o condensador separado, havia sido inventado como uma adaptação do motor de Newcomen, por Humphrey Gainsborough (1718 - 1776). E por isso não era uma invenção original de Watt, o que invalidaria a patente de Watt de 1769. No entanto, não apresentou provas consistentes (HOWARD, 2009).

“Os réus também tinham o apoio de muitos que se opunham aos monopólios e que acreditavam que Watt havia desenhado deliberadamente suas especificações para serem tão obscuro quanto possível” (HOWARD, 2009, p. 16.). Ainda assim os réus não conseguiram defender sua posição. E em 1799, James Watt e Matthew Boulton saíram vitoriosos tanto contra Bull, quanto, contra Hornblower e Marbely. Finalizados os julgamentos, os amigos empresários cobraram as devidas taxas de licença aos proprietários de fábricas usando sua máquina a vapor. (KOOIJ, 2015).

As disputas se encerraram um ano antes da expiração das patentes de Watt. Entre os anos de 1755 e 1800, a *Boulton & Watt*, construíram um total de 496 motores. Já acompanhando as novas demandas para utilização do vapor, 308 dos motores instalados eram para acionamento

³¹ Importante empresário e inventor no ramo de fiação. Inventou e patenteou equipamentos para cardação de algodão. Disponível em: < https://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/arkwright_richard.shtml.> Acesso em: 29 de outubro de 2021.

³² Bramah era um inventor, também trabalhou na construção do motor e é conhecido pela invenção da prensa hidráulica.

de máquinas, possivelmente rotativos. O emprego das máquinas a vapor na siderurgia para soprar altos-fornos cresceu neste período, e foram construídos 24 motores com essa finalidade. Os 164 motores de Watt, restantes, foram empregados no bombeamento, tanto em minas (carvão e minerais), quanto em cidades. Após a expiração das patentes a empresa continuou a trabalhar, principalmente, em motores rotativos (KELLY, 2002).

Ao buscar soluções para melhorar a eficiência das máquinas a vapor no bombeamento de água das minas, “Watt estava atendendo às "necessidades de energia" da Revolução Industrial, e esse impacto seria ainda maior” (KOOIJ, 2005, p.76 - tradução nossa).

Após 1800, James Watt e Matthew Boulton, já estavam velhos e tinham acumulado bastante capital, se afastaram dos negócios, deixando para seus filhos o seu legado. James Watt Jr. (1769-1848) e Matthew Robinson Boulton (1770 - 1842), que já participavam dos negócios, assumiram com mais afinco a gestão da *Soho Foundry* e continuaram os trabalhos (THURSTON, 1878).

Em meio a essas disputas por patentes, a comunidade empresarial e público em geral, se familiarizou ainda mais com as máquinas a vapor. Assim como os piratas³³, outros engenheiros também buscavam novas aplicações para as máquinas a vapor. E nessa linha está o engenheiro William Symington (1764-1831), que uniu elementos das máquinas de Watt e Newcomen, em uma máquina a vapor que trazia uma aplicação diferente das utilizadas até então.

As máquinas a vapor em 1800, estavam difundidas, além das minas de carvão e outros minérios, em diversas indústrias, como as de algodão, lã, siderúrgicas, fundições, entre outras. Cada uma com suas especificações, mas todas eram aplicações fixas. O motor a vapor de Symington, trazia uma aplicação para locomoção. “Symington foi rápido em entender outras aplicações para a máquina a vapor além de bombeamento de minas. Ele trabalhou na aplicação em carruagens e barcos” (KOOIJ, 2005. p. 73 - tradução nossa).

Vindo de uma família rica e destinado ao ministério, Symington, foi enviado para estudar na Universidade de Glasgow e na Universidade de Dublin, na Irlanda, onde aprimorou seu projeto. Ele patenteou a sua ideia de carro a vapor em 1787, mas não obteve sucesso no transporte terrestre. Devido a isso, ele se voltou para o transporte marítimo, utilizando a movimentação horizontal de seu motor na propulsão de barcos, patenteando esse projeto em 1801 (WEEKS, 1904).

³³ Piratas era o nome dado às pessoas que construíam máquinas a vapor sem pagar as taxas aos detentores da patente sob esse tipo de máquina.

William Murdock, que trabalhou para Boulton & Watt durante toda sua vida ativa e foi um engenheiro importante para os projetos da empresa, também que estava interessado na utilização do vapor para a locomoção. Juntamente com seu pai, John Murdoch (?-?), inventou um cavalo de madeira de movimentação mecânica, que ele usava para viajar pelo país. Já trabalhando para Watt, em 1784, ele desenvolveu um modelo de locomotiva, sendo provavelmente, a primeira aplicação do uso da manivela para converter o movimento alternativo da máquina a vapor em rotativo, que foi patenteado por Pickard em 1780. Watt foi informado por Thomas Wilson, agente da empresa em Cornwall, sobre os interesses de Murdoch e se opôs. Por acreditar na inviabilidade do projeto e por esperar que Murdoch se dedicasse aos trabalhos mecânicos junto a empresa. Devido a isso o projeto da locomotiva não foi adiante (WEEKS, 1904).

Antes de Murdoch, o capitão do exército francês, Nicolas-Joseph Cugnot (1725-1804), em 1769, havia desenvolvido um dispositivo que utilizava o vapor para a locomoção, pensado a princípio, para o transporte de armamentos sem a necessidade da utilização de cavalos. O “*fardier*³⁴ à vapeur” (carreta a vapor), utilizava o movimento rotativo, para frente e para trás, e a alta pressão, mas sua má distribuição de peso o impediu de funcionar satisfatoriamente em superfícies acidentadas. “O *fardier* foi um sucesso técnico, mas o projeto foi abandonado por consumir muito combustível e afundar na lama” (ALLEM, 2011, p. 372 – tradução nossa). Seu desenvolvimento se deu antes dos esforços na conversão dos movimentos dos motores de Newcomen e Watt em movimento rotativo, tendo Cugnot, se baseando nos trabalhos teóricos de Papin, seu compatriota (citação de site³⁵).

Richard Trevithick, que havia trabalhado com Bull, também utilizou a alta pressão para a utilização do vapor sem a necessidade do condensador, em 1802. Isto porque buscava desenvolver uma máquina a vapor que não infringisse a patente de Watt. Seu pai, Richard Francis (1737- 1797), era gerente de diversas minas em Cornwall, o colocou em contato com Murdoch quando este estava trabalhando na construção de motores nesta região, pois Trevithick se mostrava um mecânico muito habilidoso (KOOIJ, 2015). Neste ano, Trevithick conseguiu, junto com outros sócios, a patente para construção de motores desse tipo. Pouco depois ele intensificou seus trabalhos na locomoção.

“Os depósitos de ferro da Grã-Bretanha costumavam ser encontrados nas proximidades de depósitos de carvão. A ferrovia, em particular, foi um *spin-off* da

³⁴ Um *fardier* era uma enorme carroça puxada por cavalos para mover equipamentos muito pesados, como canhões.

³⁵ <http://www.themotormuseuminminiature.co.uk/inv-nicolas-cugnot.php>

indústria do carvão. As ferrovias foram inventadas no século XVII para transportar carvão em minas e de minas para canais ou rios. Uma vez estabelecidas, as ferrovias convidaram experimentos contínuos para melhorar leitos e carris. Os trilhos de ferro foram desenvolvidos no século XVIII como resultado, dimensões e perfis alternativos foram explorados. (...)Não havia mercado para veículos terrestres movidos a vapor porque as estradas não eram pavimentadas e também irregular para suportar um veículo a vapor (como Cugnot e Trevithick descobriram). Ferrovias, no entanto, forneceram uma superfície controlada na qual os veículos a vapor poderiam funcionar, e as ferrovias de carvão foram os primeiros compradores de locomotivas a vapor”. (ALLEM, 2011 p. 381 – tradução nossa).

5.2.5 A ciência e as máquinas a vapor.

O desenvolvimento e a implementação das máquinas a vapor que foi impulsionado pela necessidade prática de retirar as águas das minas de carvão e passou por diversas melhorias estruturais, entre meados do século XVIII e XIX, realizadas muitas vezes por artesãos e indivíduos práticos, pode trazer a errônea impressão de que esse advento pouco foi influenciado pela ciência. Embora, uma teoria científica acerca do funcionamento dessas máquinas só tenha sido formalizada por Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 - 1832), na década de 1820, (HOBSBAWM, 1962) que reuniu em seu livro: “*Réflexion sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*”³⁶, mais de um século após a implementação das primeiras máquinas, o advento das máquinas à vapor esteve intimamente relacionado à ciência disponível na época. Kerker (1961), afirma que:

“Em todo caso, a imagem que surge da tecnologia das máquinas a vapor é certamente mais sutil do que o mero empirismo operando no escuro, longe da luz da ciência. Certamente pareceria que, neste estágio de desenvolvimento, a ciência da pneumática estava suficientemente avançada e os engenheiros das máquinas a vapor eram suficientemente versados nessa ciência para que ela pudesse fornecer uma orientação real para a tecnologia emergente.” (KERKER, 1961 p. 384 - tradução nossa).

Nesse período, o interesse pela ciência e suas implicações ganhou um espaço importante na sociedade europeia (MERTON, 1938). Motivado por isso, em 1660, foi fundado em Londres a *Royal Society*³⁷, um grupo de “cavaleiros da ciência”³⁸ (KOOIJ, 2015) que reunia filósofos naturais e médicos, a fim de direcionar e discutir os desdobramentos da ciência. A aristocracia europeia estava interessada nos estudos científicos, por isso, era comum o apoio financeiro desse grupo (MERTON, 1938). A *Royal Society* divulgava muito de seus empreendimentos na

³⁶ “*Réflexion sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*” que em tradução livre significa: “Reflexão sobre a força motriz do fogo e sobre as máquinas adequadas para o desenvolvimento dessa força”.

³⁷ Disponível em: <https://royalsociety.org/about-us/history/>. Acesso em 13 de maio de 2023.

³⁸ O termo “cientista” só começou a ser utilizado no século XIX, para designar pessoas que se interessavam por estudos naturais.

“*Philosophical Transactions*”, que proporciona a revisão por pares, sendo esse, o mais antigo periódico científico em atividade até os dias atuais. Um dos primeiros membros dessa sociedade, foi Robert Boyle, assim como ele, outros nomes fundadores incluíam, Robert Moray (1609 - 1673), John Wilkins (1614 - 1672), John Wallis (1616 - 1703) , John Evelyn (1620 - 1706), Christopher Wren (1632 - 1723) e William Petty (1623 - 1687) (KOOIJ, 2015). Outros nomes, já mencionados, se relacionaram de alguma forma com a *Royal Society*, seja como membros ou como correspondentes com membros. Dessa forma, é notável “que a máquina a vapor é um produto da era da ciência e é derivada da ciência”. (KERKER, 1961, p. 387 - tradução nossa).

Mesmo com esse incentivo, a educação inglesa era deficiente, desde a educação de base, até a universitária. No início do século XIX, ocorreu uma espécie de alfabetização em massa (HOBSBAWM, 1962), que ainda assim, foi expressiva em apenas um dos segmentos dessa educação. Assim como James Watt, os que buscavam um aprofundamento intelectual, recorriam às universidades escocesas, como a Universidade de Glasgow, por exemplo. Também, os aristocratas que almejavam uma certa educação a seus filhos, recorriam a tutores dessas universidades escocesas (HOBSBAWM, 1962). Diversas questões sociais, como a resistência em educar os pobres e os embates religiosos, entre calvinistas e anglicanos, são fatores que, de certa forma, influenciaram essas diferenças e limitações na educação da Grã Bretanha (HOBSBAWM, 1962). Nesse ínterim, a França, imersa na Revolução Francesa, fundou a *École Polytechniqueum*, que fornecia uma educação mais expressiva. Embora a Inglaterra não oferecesse uma educação de qualidade nesse período, isso não foi um impeditivo para as inovações tecnológicas que influenciaram a Revolução Industrial. Isso porque, a ciência necessária para o desenvolvimento dos dispositivos de bombeamento das águas das minas já estava consolidada (HOBSBAWM, 1962; KERKER, 1961), as condições econômicas, sociais e geográficas da Inglaterra, também a tornaram um terreno fértil para o desenvolvimento de dispositivos como estes, pois além do interesse em ampliar a obtenção de carvão, havia a abundância desse combustível sob o solo inglês fazia com que o carvão fosse mais barato (NUVOLARI, 2003).

Os estudos sobre as pressões atmosféricas, fizeram com que nomes, como dos italianos, Galileu Galilei (1564 - 1642), seu aluno Evangelista Torricelli, e os trabalhos do alemão Otto von Guericke, o inglês Robert Hooke, Robert Boyle, entre outros, estabelecessem a pneumática como uma ciência matemática (KERKER, 1961). Dessa ciência foram desenvolvidos equipamentos práticos que serviam para bombear líquidos e gases. Embora esses dispositivos não fossem capazes de remover as águas das minas de carvão, principalmente pela limitação

do bombeamento em relação à profundidade das minas, eles serviram de base para criação das primeiras máquinas à vapor, que devido à essa notável influência, receberam o nome de máquinas atmosféricas (KOOIJ, 2015). Ao longo do século XVII, houve um esforço para o desenvolvimento de dispositivos práticos para bombeamento de água, baseados nos experimentos de Giambattista della Porta (1462-1516) que observou que era possível elevar água até alguma câmara superior se esta fosse cheia com vapor a ser condensado (BRAGA, 2019), neste século um pequeno número de dispositivos deste tipo pode ter sido instalados em minas e para o fornecimento de água para casas de campo, pelos esforços de Salomon de Caus (1576 - 1626), Edward Somerset (1601-1667) e Thomas Savery (KERKER, 1961). A partir do motor de Savery, que foi a primeira máquina a vapor prática (NUVOLARI, 2003), desencadeou-se diversas melhorias neste dispositivo, vários deles utilizando os princípios da pressão atmosférica, além da máquina de Savery a de Newcomen, eram conhecidas como motores atmosféricos, que associavam esses princípios aos efeitos do vapor. Dessa forma, a invenção dos motores atmosféricos foi essencial para o advento das máquinas a vapor, sendo assim uma invenção estratégica (USHER, 1964).

Denis Papin, também era um homem versado em ciências e, possivelmente, ao ter trabalhado tanto com Christiaan Huygens, quanto com Boyle, teve contato e aprendeu informações sobre os estudos desenvolvidos por eles. Dessas parcerias foram desenvolvidos alguns experimentos como os que envolviam o movimento de pistões a partir da explosão, entre outros, que resultaram nos estudos de Papin sobre a geração de vácuo a partir da condensação do vapor (KOOIJ, 2015). Os trabalhos com o barômetro feitos por Torricelli e Blaise Pascal, foi de grande influência para o “Carro de Bombeiros”, proposto por Papin em 1690 (FIGUIER, 1867). Papin, trabalhou na *Royal Society* entre os anos de 1680 e 1681 como secretário, o que o aproximou com as demandas científicas da época. Mais à frente, quando escreveu sobre o dispositivo que propôs para retirar as águas das minas de carvão, ele teve como um de seus críticos Robert Hooke, ainda membro dessa sociedade. Após essa tentativa, Papin tentou retornar à *Royal Society*, em 1707, quando a máquina a vapor, desenvolvida por Thomas Savery, já estava em utilização em algumas minas, trazendo algumas modificações da sua primeira proposta para o “Carro de bombeiros”, novamente sem sucesso (KOOIJ, 2015). Savery também esteve na *Royal Society*, mas em 1698, quando apresentou sua proposta de máquina a vapor, através de seu livro, essa proposta lhe rendeu uma patente que impulsionou o desenvolvimento e aplicação de sua máquina. Savery, que era um pesquisador e um engenheiro militar, uniu os princípios propostos por Della Porta, para o bombeamento de água,

e sua experiência em mecânica, para a construção da primeira máquina a vapor prática (KERKER, 1961), embora pouco eficiente.

O aprimoramento realizado por Thomas Newcomen e seu sócio Calley, foi adaptar as ideias do pistão e do condensador de vapor, dessa forma, ele desenvolveu um uma máquina a vapor, que apesar de robusta e construída, principalmente, de latão e madeira, era mais eficiente e lucrativa que a de Savery (KOOIJ, 2015). Newcomen possuía uma certa educação e também um conhecimento prático, adquirido através de seu trabalho como ferreiro e, além disso, se correspondia com Robert Hooke (KERKER, 1961). É possível que através dessas correspondências Hooke tenha mantido Newcomen informado sobre os avanços de Papin (USHER, 1964). A partir de então os motores atmosféricos, os motores de Newcomen-Savery, que receberam esse nome pois foram desenvolvidos sob a patente de Savery, receberam aprimoramentos principalmente em suas peças e na operação, uma vez que a patente dificultava novas invenções em se tratando de máquinas a vapor.

Enquanto o conhecimento sobre a pressão atmosférica possibilitou o desenvolvimento e aprimoramento das máquinas a vapor até então, outra ciência foi de grande importância para melhorias nesses dispositivos. A ciência sobre as propriedades dos materiais, como a resistência e os efeitos da dilatação, por exemplo, desenvolvida por nomes como Galileu, Hooke, Mariotte (1620-1684), Rondelet (1743-1829), Gravesande (1688-1742), Coulomb (1736-1806), Euler (1707-1783), Réaumur (1683-1757), entre outros, possibilitaram melhorias que levaram a máquina de Newcomen ao seu máximo desempenho (KERKER, 1961). O engenheiro inglês John Smeaton, que também realizou melhorias estruturais na máquina de Newcomen, publicou alguns artigos na “*Philosophical Transactions*”, entre eles um que tratava sobre os moinhos d’água, trazendo, dessa forma, assuntos que antes estavam concentrados entre os engenheiros ao olhar da comunidade científica (KOOIJ, 2015).

James Watt, não teve contato prático com as máquinas a vapor, como os demais anteriores a ele, que desenvolveram algum aprimoramento nesses dispositivos, seu primeiro contato com a máquina de Newcomen foi como modelo de bancada. Dessa forma, Watt, estando³⁹ na Universidade de Glasgow, pode realizar experimentos no protótipo da máquina, a fim de minimizar as perdas de energia e otimizar seu funcionamento. Watt então, pode estudar o funcionamento da máquina e propor a construção de um dispositivo mais eficiente (KOOIJ, 2015). Em 1785, Watt e seu sócio Boulton foram eleitos membros da *Royal Society*.

³⁹ Watt trabalhou na Universidade de Glasgow como reparador de instrumentos matemáticos.

As patentes obtidas por Savery, Savery-Newcomen e depois por Watt, fizeram com que muitas das melhorias às máquinas a vapor ocorressem nas próprias máquinas em execução sem alterar drasticamente o princípio de funcionamento, com algumas exceções (NUVOLARI, 2003). Com a difusão das máquinas a vapor na indústria e nas minas de carvão, a Inglaterra ainda não havia tido a necessidade de fornecer ao mercado engenheiros versados em ciências, uma vez que o desenvolvimento das máquinas até então, havia se estabelecido por homens práticos (KERKER, 1961). Dessa forma, os novos motores de alta pressão, assim como os anteriores, que posteriormente impulsionaram a utilização do vapor para a locomoção, também foram desenvolvidos por indivíduos, que muitas vezes, não possuíam educação formal. Mas, esses indivíduos não operaram no vácuo científico, alguns deles, como Trevithick, mantinham contato com membros da *Royal Society* (KERKER, 1961). Já na França, que acompanhava a Revolução Industrial que ocorria na sua vizinha Grã Bretanha, grande parte dos projetos de máquinas, turbinas, barcos, e etc. a vapor, foi realizado pela nova classe de engenheiros profissionais, que possuíam formação científica, (KERKER, 1961).

“Na França, as grandes escolas de engenharia, l'cole Polytechnique, l'cole des Mines, l'cole des Ponts et Chaussees e muitas outras nas províncias, forneceram ao exército, ao serviço público e à indústria engenheiros imersos na melhor tradição de ciência e pesquisa.” (KERKER, 1961, p. 388 - tradução nossa).

Em 1832, a França começou a produzir suas próprias máquinas a vapor, que nesse momento, já estavam se difundindo para outros locais no mundo, mas mesmo assim, por algum tempo os franceses ainda adquiriram as máquinas inglesas (FIGUIER, 1867).

Com o advento das máquinas a vapor, a ciência, que em partes, já buscava definir a origem e o conceito de calor, passou também a se preocupar com a relação entre o calor e a geração de força motriz (KOOIJ, 2015). Nesse período, o francês Sadi Carnot, se aprofundou nos estudos sobre as máquinas a vapor e seu funcionamento. Em 1824, ele publicou um livro em que buscou expor além do funcionamento das principais máquinas a vapor até então, as condições que elas foram desenvolvidas, de maneira geral, ele definiu o que eram essas máquinas. Em parte de seu livro ele pontua a necessidade do desenvolvimento de uma teoria que abarcasse o funcionamento das máquinas térmicas:

“(...) Apesar do trabalho de todos os tipos realizado nas máquinas de incêndio, apesar do estado satisfatório a que chegaram hoje, sua teoria está muito pouco avançada e as tentativas de melhoria ainda são executadas quase ao acaso. Máquinas (...) que são movidas pela força de homens ou animais, uma cachoeira, calado, etc., podem ser estudados mesmo dentro seus menores detalhes pela teoria mecânica. (...) Está aqui o caráter de uma teoria completa. Uma teoria semelhante está faltando, obviamente, para carros de bombeiros (máquinas a vapor).” (CARNOT, 1824, p 397 - tradução nossa).

Em outra parte de seu livro ele reconhece e evidencia o pioneirismo da Inglaterra na construção dos motores a vapor, “é natural que uma invenção deve ter seu nascimento e principalmente ser desenvolvida, ser aperfeiçoada, no lugar onde sua necessidade é mais fortemente sentida” (CARNOT, 1824, p. 5 -tradução nossa). Carnot evidenciou a relação entre o calor e a força motriz obtida pela queda do calórico entre um corpo quente e um corpo frio, ele propôs o Ciclo de Carnot, que se remete a uma máquina térmica ideal, ou seja, sem perdas de energia, para explicar a relação entre a “energia térmica” e a “energia motriz”. (CARNOT, 1824). Mesmo que a teoria do calórico tenha se mostrado incorreta, os pressupostos de Carnot são relevantes até os dias atuais, sendo usados e confirmados por muitos de seus sucessores (KOOIJ, 2015). Carnot e seus sucessores, estabeleceram princípios importantes da termodinâmica que são aplicados nas máquinas térmicas de uso cotidiano.

O contato de Carnot com as máquinas a vapor, se difere um pouco do contato dos demais nomes citados até aqui, mas isso não revela uma descontinuidade e sim a expansão dos impactos do desenvolvimento das máquinas à vapor pela Europa. Muitos conflitos sociais e econômicos marcaram a relação entre Inglaterra e da França nos séculos XVIII e XIX, de um lado estavam os ingleses com os avanços tecnológicos, econômicos, militares e a industrialização se desenvolvendo cada vez mais, do outro estavam os franceses imersos em uma revolução política e social, que estabeleceram a base do liberalismo (NASCIMENTO, 2023) o que estimulava e fortalecia o conhecimento científico.

Carnot nasceu em Paris, na França, em 1796, ele era filho do matemático Lazare Carnot (1753-1823), um importante estrategista e Ministro de Guerra de Napoleão (NASCIMENTO, 2023). Antes mesmo de ingressar na escola *École Polytechniqueum*, Sadi Carnot, teve contando com os conhecimentos de matemática e ciências através de seu pai que, além de outros estudos, publicou, em 1803, um livro em que abordava os princípios do equilíbrio e movimento (NASCIMENTO, 2023). Por um tempo, Carnot, assim como seu pai, ingressou na vida militar e depois, ao retomar seus estudos, ele se aprofundou nas máquinas a vapor (NASCIMENTO, 2023), foi quando, em 1824, publicou o livro “*Réflexion sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*” (Reflexões sobre a força motriz do fogo e em máquinas equipadas para desenvolver esse poder).

Concordamos com Kerker (1961), que relata a relação entre a ciência e a tecnologia no advento das máquinas a vapor, para ele

“As contribuições de Carnot e Watt para a ciência servem para enfatizar a natureza dinâmica da relação entre ciência e tecnologia. A contribuição de Carnot levou a novos desenvolvimentos científicos, que por sua vez forneceram a base para novas

tecnologias. As conexões entre a ciência e a tecnologia das máquinas a vapor não eram simples nem estáticas. Mas uma coisa é certa. A tecnologia do motor a vapor não pode ser considerada separada do corpo da ciência.” (KERKER, 1961, p. 390 - tradução nossa).

Extrapolando o exposto por Kerker (1961), no trecho em destaque, além da relação entre a ciência e a tecnologia, acreditamos que o advento das máquinas a vapor é um excelente exemplo de como a ciência e a tecnologia são produtos humanos, intimamente relacionados com as demandas sociais, econômicas, naturais, culturais, temporais, entre outros diversos aspectos da natureza da ciência. Neste capítulo, buscamos abordar diferentes perspectivas do episódio histórico de desenvolvimento e difusão das máquinas a vapor, evidenciando assim a sua complexidade. Distanciamos-nos da visão restritiva, comumente difundida, de que esse advento se concentra em apenas três atores, Savery, Newcomen e Watt, que através dos seus inventos isolados, desconectados do contexto sócio-econômico da Grã Bretanha, revolucionaram a forma de produção o que culminou na Revolução Industrial. Dessa forma, abordamos as conexões entre esse emaranhado de atores, humanos e não humanos, que contribuíram para o advento das máquinas a vapor, que vai desde a necessidade de retirar as águas das minas de carvão, passando pela associação do conhecimento científico disponível na época com as habilidades e experiências práticas, as novas possibilidades de utilização das máquinas e o interesse econômico, à implantação e difusão.

6.0 RESULTADOS

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os resultados obtidos a cada etapa do percurso metodológico presente na aplicação do produto que acompanha esta dissertação com base na Análise da Enunciação (BARDIN, 2016). O objetivo da Análise da Enunciação é compreender os elementos presentes nos enunciados, como os atores sociais, suas posições, as relações entre eles e as ideias expressas. Buscamos assim analisar o discurso dos estudantes, com a finalidade de encontrar em suas falas, elementos que indiquem o desenvolvimento de habilidades relacionadas à compreensão de aspectos da natureza da ciência.

As etapas dessa sequência didática, foram organizadas de maneira que, a cada nova etapa, os estudantes fossem motivados a emergir cada vez mais na pesquisa historiográfica, a fim de estabelecer conexões entre seus temas e o advento das máquinas a vapor. Com isso, a cada etapa foi possível identificar o aperfeiçoamento dos argumentos dos estudantes sobre aos aspectos da NdC ao estabelecer novas conexões entre os atores do estudo. A análise dos vídeos construídos pelos estudantes mostra a evidente familiaridade destes com as diferentes relações e influências que um advento científico e tecnológico pode estabelecer com diferentes áreas da sociedade.

A definição dos grupos (atores e temas) também foi fundamental para o desenvolvimento de tais habilidades, uma vez que como os atores escolhidos não são comumente associados ao advento das máquinas a vapor. Assim, a busca por conexões entre os temas/atores e o episódio histórico em questão, evidenciou relações muitas vezes invisíveis aos livros didáticos de física. Determinados estudantes, que na primeira etapa da pesquisa, relataram que seus atores não possuíam relação com o desenvolvimento das máquinas, nas etapas seguintes, trouxeram uma gama de relações ricas em argumentos relativos à NdC.

O encontro síncrono, no qual os estudantes trabalharam com a construção das ‘redes gerais’, foi o espaço em que mais se utilizou argumentos voltados aos aspectos da NdC. Esse momento gerou discussões, movidas na maioria das vezes pelos próprios estudantes, em que ao defenderem ou questionarem a inserção de um ator ou laço à rede se apropriaram das suas compreensões sobre NdC e as utilizaram naturalmente.

Na sequência vamos explorar os resultados das etapas de pesquisa historiográfica, reuniões, elaboração dos vídeos, construção e análise das redes históricas. Os resultados aqui mencionados foram retirados dos relatórios das reuniões e dos discursos disponíveis nos vídeos construídos pelos estudantes e no registro, em vídeo, na aula de construção das redes.

Este produto foi aplicado em duas turmas, que aqui chamaremos de turmas X e Y, cada uma delas foi dividida em grupos numerados de 1 a 8.

6.1 PESQUISA HISTORIOGRÁFICA E REUNIÕES

Nesta etapa a pesquisa historiográfica dos estudantes foi acompanhada com reuniões quinzenais, que além de servirem para mediar o processo, serviram também para acompanhar as discussões dos estudantes acerca dos aspectos da NdC.

6.1.1 Primeira reunião com os grupos

A primeira reunião com os grupos aconteceu quinze dias após a divisão dos temas e da explicação do professor sobre o que seria o trabalho. Os estudantes tiveram como meta para essa quinzena, iniciar pesquisa sobre o tema/ator e buscar alguma relação entre seu ator ou tema com o advento das máquinas a vapor.

Neste primeiro encontro, assim como os demais, ocorreu por meio de vídeo chamada, os estudantes apresentaram o início de suas pesquisas. A maioria dos grupos fez um levantamento de *links* que obtiveram por busca de texto no *google*, com exceção de dois grupos que ainda não haviam iniciado suas pesquisas. As principais dúvidas apresentadas pelos estudantes foram em relação à confiabilidade das informações encontradas e a construção do vídeo ao final da pesquisa.

A princípio a maioria dos grupos cujos temas eram atores humanos (grupos 3, 4, 5, 6, 7 e 8), realizaram uma breve pesquisa bibliográfica. Alguns grupos relataram dificuldade em relacionar seus temas ao advento das máquinas a vapor. Como é o caso dos grupos cujos atores eram Joseph Black (X4, Y4) e Sadi Carnot (X6, Y6), os quatro grupos encontraram a relação entre esses atores a alguns conceitos da termodinâmica, mas não relataram nenhuma conexão com o advento das máquinas a vapor. Um dos grupos encontrou uma possível amizade entre Black e Watt, mas sem contexto e outro grupo ficou com dúvidas se a máquina de Carnot foi uma máquina prática, que foi aplicada em indústrias.

Um dos grupos cujo ator central foi Denis Papin (X3), buscou relacioná-lo a outros atores como Hooke e Boyle, pois esses dois atores eram “cientistas” com quem Papin havia se relacionado, mas também, sem identificar a influência desses novos atores ao advento das máquinas a vapor. Dos grupos cujo ator central era William Murdock, um evidenciou

dificuldades em encontrar informações sobre esse ator e principalmente sobre a relação dele e as máquinas a vapor (X5), enquanto o outro identificou que Murdock se relacionou com Watt e Boulton e que Watt e Boulton tinham uma empresa (Y5). Um dos grupos cujo ator central era John Roebuck, também identificou uma relação empresarial entre Watt e esse ator, justificado pelo interesse de Roebuck em financiar a construção de máquinas. Os alunos apresentaram dúvidas se Watt havia desenvolvido sua máquina antes ou depois do financiamento (X7).

Já os grupos cujo ator central foi Jonathan Hornblower (X8, Y8), por se tratar de um ator responsável pelo desenvolvimento de algumas máquinas a vapor, focaram no funcionamento dessas máquinas, mas não apresentaram a relação dessas máquinas ao advento, tampouco, se essas máquinas tiveram aplicações práticas. Um desses grupos (X8) identificou que a família Hornblower havia trabalhado com algumas máquinas de Newcomen e questionou se isso havia influenciado Jonathan, esse mesmo grupo apresentou dúvidas sobre a relação entre ele e Watt.

Um dos grupos cujo tema era o desenvolvimento econômico e social da Inglaterra nos séculos XVIII e XIX, se subdividiu e cada membro pesquisou sobre os aspectos sócio-econômico, máquinas a vapor e Revolução Industrial, mas afirmaram não identificar a relação entre esses três elementos (X1). Já o outro grupo (Y1), focou apenas no impacto social da Revolução Industrial. Um dos grupos cujo tema era ciência, arte e tecnologia nos séculos XVIII e XIX relatou que embora houvessem realizado algumas buscas, não encontraram nenhuma relação entre esse tema e o advento das máquinas a vapor (Y2).

Os resultados desse primeiro encontro, evidenciaram uma pesquisa bibliográfica em que os estudantes focaram na vida de seus atores. Os que encontraram algumas conexões, na maioria dos casos, não identificaram as relações e influências entre os atores encontrados, tampouco com o advento das máquinas a vapor. Alguns grupos que buscaram informações em textos sobre as máquinas a vapor, ao não encontrar o nome de seus atores, concluíram que eles não se relacionavam. Entendemos que esses resultados refletem a forma como os estudantes compreendem a ciências, uma vez que eles, até então, identificam como relevantes apenas influências diretas. Poucos grupos se questionaram sobre influências indiretas, como o grupo que pesquisou sobre Robuck relatando os interesses econômicos de seu ator. O grupo que pesquisou sobre Papin, mesmo que não tenham identificado as relações, supuseram que Hooke e Boyle poderiam ter alguma influência sobre o trabalho de seu ator. O grupo que pesquisou sobre Hornblower que buscou por possíveis influências que levaram o ator a construir uma máquina a vapor. Alguns estudantes relataram, também, que iniciaram suas pesquisas

realizando buscas por vídeos no YouTube que tratassem do tema, mas sem sucesso, eles pontuaram que acreditam absorver melhor as informações em forma de vídeo.

6.1.2 Segunda reunião com os grupos.

Esta reunião ocorreu passados, em média, quinze dias da anterior. Para essa reunião, os estudantes tinham como meta principal reforçar as conexões entre os atores/temas e representá-las graficamente. Além dessa meta, cada grupo recebeu outras metas de acordo com o andamento de suas pesquisas, principalmente, sobre o aprofundamento nas buscas e justificativas de novas conexões.

Nesta reunião os estudantes já apresentaram mais elementos que indicam um refinamento de suas compreensões sobre NdC. O grupo X1, de tema desenvolvimento econômico e social da Inglaterra nos séculos XVIII e XIX, que na primeira reunião havia relatado que não encontraram relação entre as máquinas a vapor e esse desenvolvimento, trouxeram, neste momento, um mapa mental⁴⁰ (FIG. 22). A figura 22 foi obtida a partir da captura de tela da segunda reunião com o grupo X1, nela é possível observar que os estudantes relacionaram as máquinas a vapor com a Revolução Industrial e com a situação econômica da Inglaterra do século XVIII, mas não estabeleceram uma conexão direta entre as máquinas e os aspectos sociais. Eles apresentaram os motores a vapor de Savery, Newcomen, Watt, embora não tenham estabelecido relações entre esses motores, os estudantes identificaram a relação de influência entre os motores de Newcomen e de Watt com as locomotivas a vapor e do motor de Watt com o barco a vapor de Fulton. Esse grupo, até este momento, mantinha a ideia de que as máquinas foram desenvolvidas para as indústrias.

⁴⁰ Esse termo foi utilizado pelos próprios estudantes, que relataram utilizar o recurso de mapas mentais para sintetizar seus estudos em diversas disciplinas.

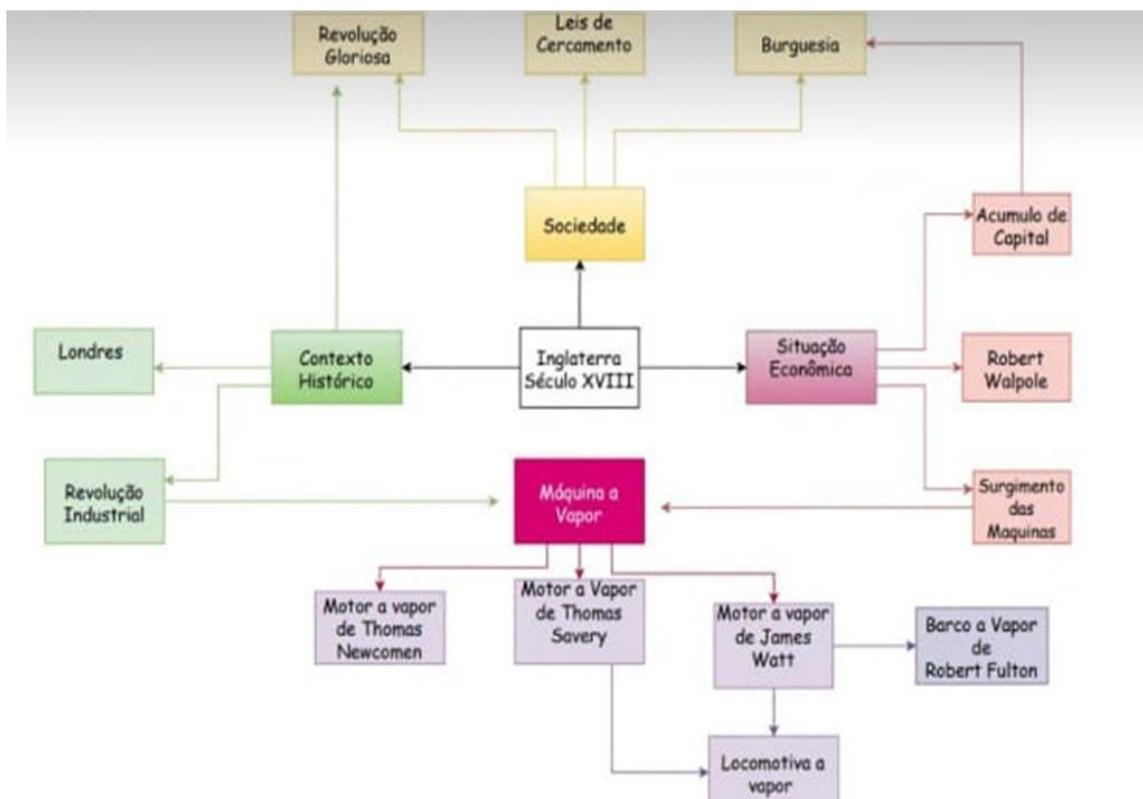


Figura 22 - Mapa mental do grupo X1.

Fonte: Grupo X1 (2021).

Já o grupo X2, de tema ciência, arte e tecnologia nos séculos XVIII e XIX, conduziu suas pesquisas assumindo que os desenvolvedores das máquinas eram cientistas e detentores de informações sobre a ciência do funcionamento das máquinas. Para esse grupo, até então, a ciência sempre antecede a técnica. O grupo em questão não apresentou conexões e mencionou dificuldades em encontrar informações sobre o tema. O outro grupo desse tema, grupo Y2, também não apresentou as conexões e focou na tecnologia das máquinas a vapor, sem apresentar relações com a ciência ou com a arte.

Dos grupos cujo ator central foi Denis Papin, ambos apresentaram a relação desse ator com outros atores humanos e não humanos. O grupo Y3, embora não tenham representado graficamente as conexões, conseguiram relacionar Papin a outros “cientistas” (palavras dos estudantes), instituições e máquinas. Enquanto o grupo X3, apresentou um mapa mental construído com o auxílio de um *software* online, onde utilizaram as conexões já levantadas por eles na reunião anterior, mas sem especificar a relação entre atores. Os grupos cujo ator central foi William Murdock, também mantiveram as conexões já apresentadas na primeira reunião. O grupo X5, manteve as conexões entre Murdock e a empresa de Watt e Boulton, e consequentemente, com esses atores. O grupo Y5, focou nas melhorias que Murdock realizou

em diversos dispositivos, relacionadas às máquinas a vapor ou não. Outro grupo que estabelece relação entre seu ator central, Roebuck, e a empresa de Watt e Boulton, foi o grupo Y7.

Os grupos que tinham como ator central Joseph Black, não apresentaram as conexões graficamente, mas expuseram relações estabelecidas em apresentações de *power point*. Em sua apresentação o grupo Y4 tratou sobre a biografia de Black evidenciando seus estudos e teoria, tratou também, sobre o funcionamento das máquinas de Eron até a de Watt, e sobre a biografia de Watt, mas sem relacionar essas informações. Esse grupo, relacionou Black e Watt à Universidade de Glasgow. O grupo Y4, também focou na biografia de Black, relacionando-o a instituições de ensino e a cidades, apresentou as teorias desse ator, mas relataram ainda não conseguir conectá-lo às máquinas a vapor.

Alguns grupos (Y6, X6, X7, X8) não conseguiram representar graficamente as conexões, mas em suas falas e apresentações, demonstraram ter identificado variadas relações entre seus atores e empresas, pessoas e influências econômicas, entre outras. Desses grupos, alguns estudantes relataram que ficaram inseguros sobre qual relação seria relevante para apresentar graficamente.

6.1.3 Terceira reunião com os grupos.

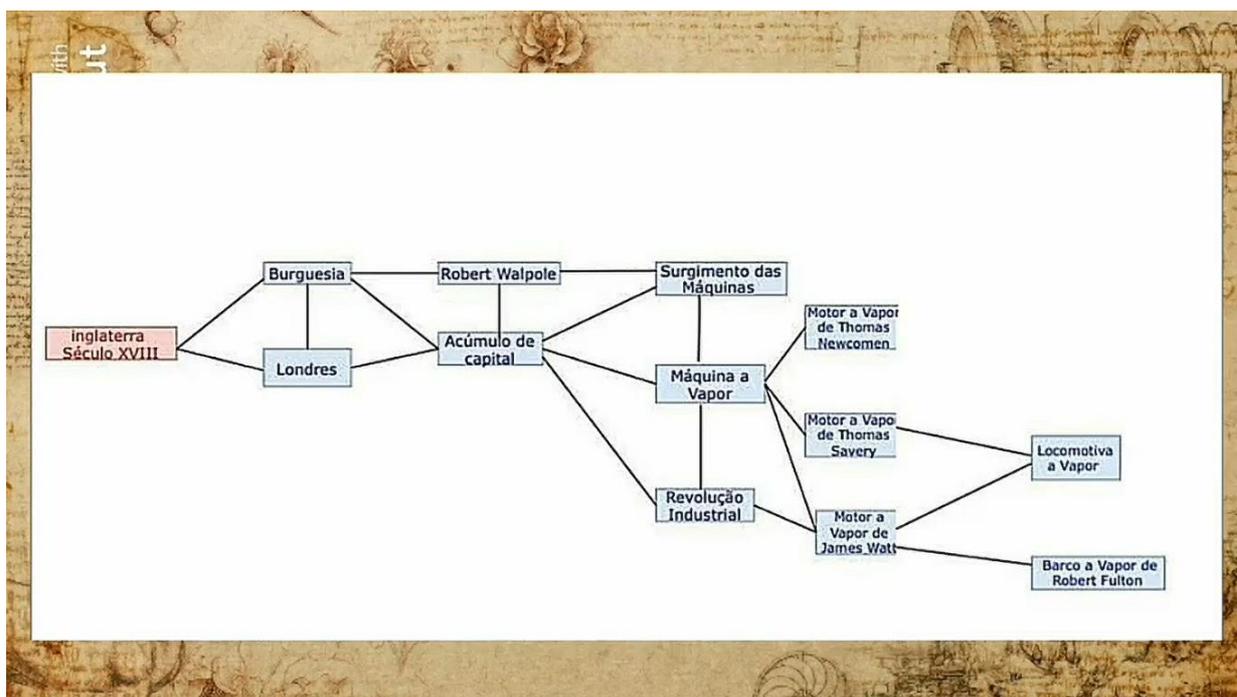
A meta para esta terceira e última reunião com os grupos, consistiu na simulação da apresentação que os estudantes deveriam entregar em formato de vídeo. Portanto, nesta reunião era esperado que a pesquisa historiográfica dos estudantes já estivesse finalizada, faltando apenas alguns refinamentos. A conclusão da pesquisa historiográfica dos estudantes, os vídeos e a construção da rede EGO serão apresentadas no próximo subcapítulo.

6.2 ANÁLISE DOS VÍDEOS E DAS REDES EGO.

Neste subcapítulo são apresentadas as relações estabelecidas por cada grupo, expostas nos vídeos, e as redes construídas pelos mesmos. Os termos entre aspas a seguir se referem à transcrição da fala do estudante que narra o vídeo apresentado pelo grupo. Foram analisados, aproximadamente, duas horas e meia de vídeos. Os resultados dessa análise estão expostos a seguir.

X1- Tema: O desenvolvimento econômico e social da Inglaterra nos séculos XVIII e XIX.

O grupo iniciou o vídeo abordando a revolução gloriosa e a relação entre a política e o desenvolvimento econômico, relacionou as máquinas à necessidade de retirar as águas das minas de carvão. Apresentou as máquinas de Savery, Newcomen e Watt, relacionando a máquina de Watt como uma melhoria da máquina de Newcomen, com o objetivo de torná-la mais ágil e eficiente. Mencionou, ainda que sem justificativas, a relação de influência entre os três motores citados anteriormente e as máquinas usadas para locomoção, como barco a vapor de Fulton e à locomotiva à vapor de Trevithick. Nas considerações finais, o grupo ressaltou que nesse período histórico a “matéria e a energia deveria ser aproveitada em prol do desenvolvimento e foram as máquinas térmicas que permitiram esse avanço ocorrer” (ESTUDANTES⁴¹). A rede construída pelo grupo X1 está apresentada na figura 23.



Fonte: Grupo X1 (2021).

Figura 23 - Rede do grupo X1.

⁴¹ Usamos a indicação (ESTUDANTES), quando transcrevemos a fala do narrador do vídeo. Como cada grupo se organizou de uma maneira para a apresentação do vídeo, entendemos que a fala do narrador é uma reprodução do entendimento do grupo.

X2 - Tema: Arte Ciência e Tecnologia na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX.

Esse grupo iniciou o vídeo abordando a Revolução Industrial e o desenvolvimento das máquinas a vapor no século XVIII, mencionaram que esses acontecimentos e elementos influenciaram a arte da época. Apresentaram a máquina de Savery e a relacionaram à bomba de sucção de Papin e o vácuo de Torricelli. Relataram brevemente o funcionamento dessa máquina e que ela explodia facilmente, relacionaram essas explosões com a “fabricação de tubos e juntas que na época não era as melhores” (ESTUDANTES). Na sequência, apresentaram o motor de Newcomen, relacionando-o com os estudos do motor de combustão interna de Papin, descreveram brevemente o funcionamento da máquina e evidenciaram que ela apresentava um desperdício de energia, devido a necessidade de se resfriar o cilindro antes de aquecê-lo novamente. Os estudantes, então, apresentaram as melhorias de Watt nas máquinas, mencionaram o condensador separado que aumentava a eficiência, a adição de válvulas alternadas que aumentavam a velocidade da máquina e potência da máquina e um dispositivo de controle de velocidade. Apresentaram a aplicação das máquinas a vapor na transição da manufatura para maquinofatura na produção de tecidos, o desenvolvimento dos automóveis movidos a vapor no século XIX e de outras tecnologias, como a invenção do telefone, mas sem definir a relação com as máquinas a vapor. Esse grupo, não apresentou a rede EGO, embora tenha abordado algumas relações em suas falas.

X3 - Ator central: Denis Papin.

Esse grupo iniciou o vídeo apresentando brevemente Denis Papin. Na sequência eles afirmaram que Papin ajudou Huygens em experimentos com a bomba de ar. O grupo relacionou Papin também a Boyle, afirmando que eles trabalharam juntos, e disseram: “acredita-se que Boyle tenha tido uma leve relevância no desenvolvimento do digestor a vapor, já que eles (Boyle e Papin) estavam juntos no mesmo período de criação da máquina” (ESTUDANTES). O grupo relacionou Papin a *Royal Society* e, por isso, a Robert Hooke. O grupo seguiu para a explicação do funcionamento do digestor e posteriormente mencionou que Papin desenvolveu esse dispositivo “pois tinha experiência com pressões” (ESTUDANTES). Outra relação levantada pelo grupo foi a de que Newcomen aperfeiçoou as máquinas na Papin e Savery. A rede EGO construída por esse grupo (FIG. 24) apresentou as relações descritas acima e a relação entre Papin e Leibniz, mas essa relação não foi justificada. Podemos notar que os alunos colocaram no diagrama Arestas dirigidas, mostrando relações em somente um sentido. No

entanto, essa visão não é contemplada no vídeo. Sendo, portanto, somente uma limitação dos alunos acerca da representação esquemática da ARS.

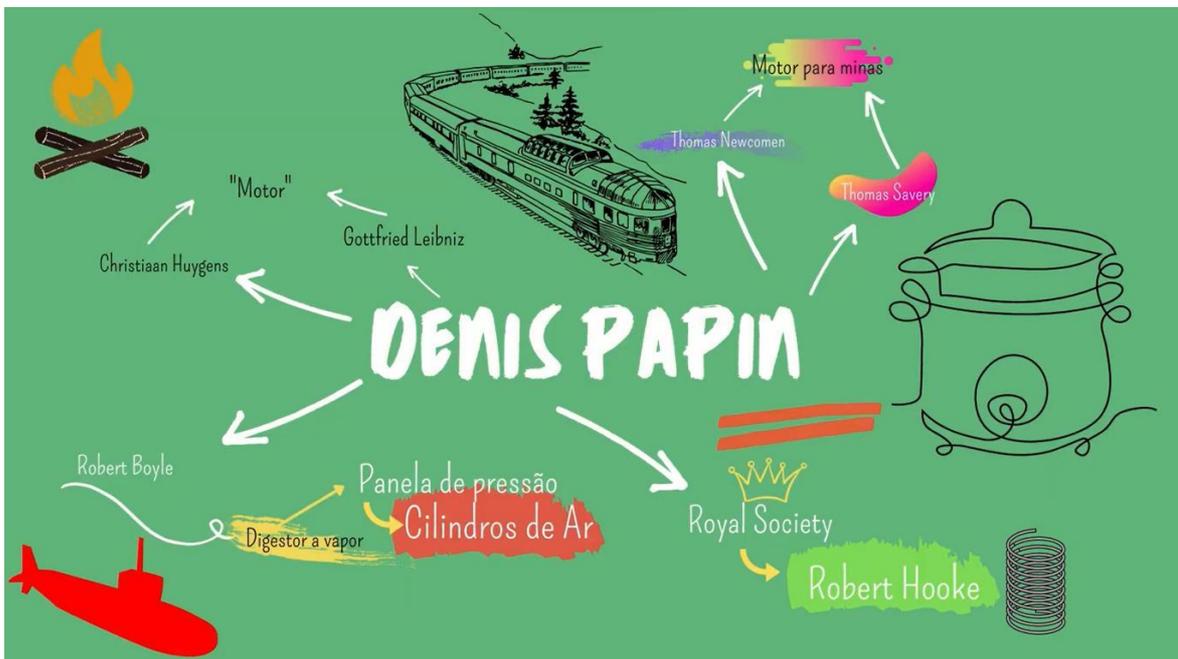


Figura 24- Rede EGO do grupo X3.

Fonte: Grupo X3 (2021).

X4 - Ator central: Joseph Black.

Esse grupo apresentou a biografia e a trajetória acadêmica de Joseph Black, explicando sua origem. Eles relacionaram Black a Universidade de Glasgow e a Universidade de Edimburgo, relataram a relação política envolvendo a criação dessas universidades. Exploraram os estudos de Black sobre o calor latente. O grupo relacionou Black e Watt e afirmaram que eles eram amigos e colaboradores, mencionaram que os dois se conheceram em Glasgow. O grupo mencionou que Watt estudava as máquinas a vapor e que acompanhava as aulas de Black na universidade de Glasgow, mencionou, ainda que, Watt trabalhou nesta universidade consertando dispositivos mecânicos. O grupo mencionou as máquinas de Savery e Newcomen e a melhoria que Watt fez nessas máquinas depois de estudar uma máquina de Newcomen, a fim de aumentar a sua eficiência minimizando os custos com carvão. O grupo estabeleceu que Watt, a partir de uma possível influência de Black e do conceito de calor latente, projetou melhorias na máquina de Newcomen como o condensador separado. Mencionaram a aplicação das máquinas de Watt nas minas de carvão e a substituição das máquinas de Newcomen pelas de Watt, que segundo os estudantes “era mais versátil e gastava três vezes menos carvão” (ESTUDANTES). Outra afirmação do grupo foi “se James Watt não houvesse conhecido Joseph Black, provavelmente não teria conseguido aprimorar a máquina a vapor”

(ESTUDANTES). O grupo finalizou relacionando Black a algumas pessoas e instituições que não se relacionam com o advento das máquinas a vapor. A figura 25, apresenta a rede EGO construída por este grupo.

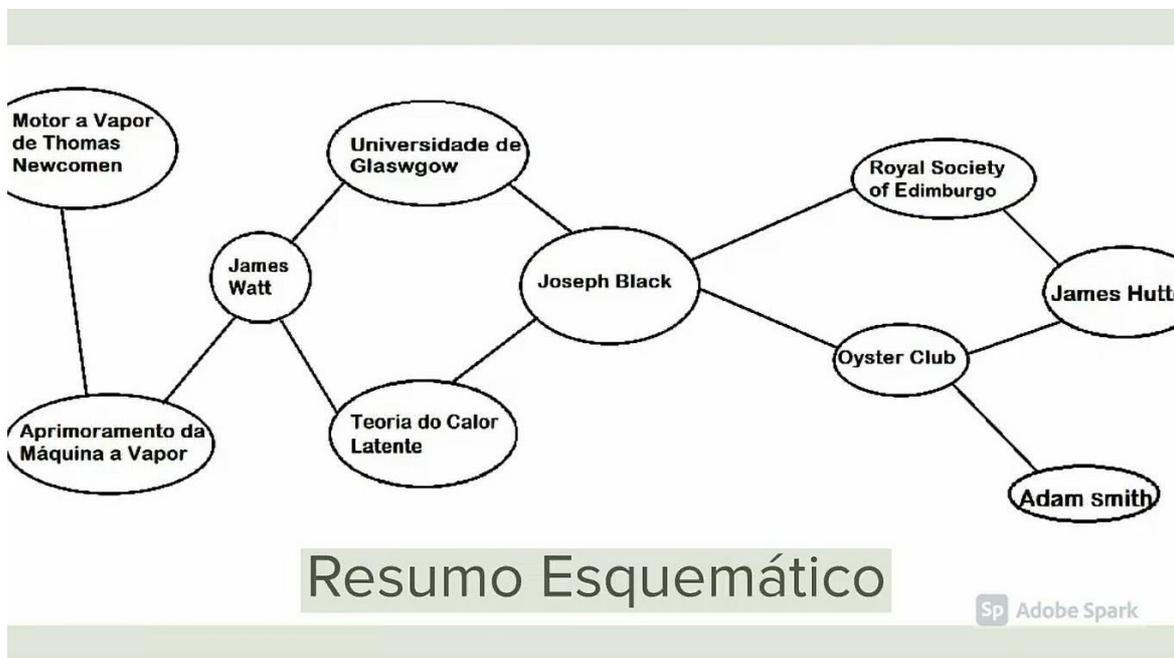


Figura 25- Rede EGO do grupo X4.

Fonte: Grupo X4 (2021).

X5 - Ator central: William Murdoch.

O grupo mencionou a relação de William Murdoch com a invenção de alguns dispositivos, incluindo inovações na máquina a vapor. Esse grupo afirmou que Murdoch teve uma certa educação, além disso, que aprendeu mecânica com seu pai e que juntos construíram uma espécie de triciclo impulsionado por manivelas. Na sequência, o grupo afirmou que Murdoch foi a Birmingham, para pedir emprego para Watt, que na época já fabricava motores a vapor. O grupo relacionou Watt a seu sócio Boulton e afirmou que Boulton ficou interessado nos dispositivos inventados por Murdock e decidiu contratá-lo. O grupo relacionou a empresa Soho Foundry, de Watt e Boulton, à Murdoch, uma vez que ele foi trabalhar lá. Mencionaram também, que Murdoch supervisionou a construção de motores do Watt na Cornualha. Relacionaram Murdoch à invenção de um motor oscilante, que, segundo eles, foi utilizado por Joseph Cugnot, na França, para transporte. O grupo afirmou que Watt patenteou o motor oscilante de Murdoch sob o nome de motor Sol Planeta. O grupo mencionou estudos de Murdock na área da química e no desenvolvimento de cimento de ferro, que, segundo o grupo, foi utilizado para fixação e vedação dos motores a vapor. Seguiram evidenciando a relação entre

Murdoch, a iluminação a gás e Samuel Clegg, que segundo o grupo, investiu nos projetos de iluminação, sem estabelecer a relação dessa iluminação ao advento das máquinas térmicas. A rede EGO, construída por esse grupo, está apresentada como figura 26.

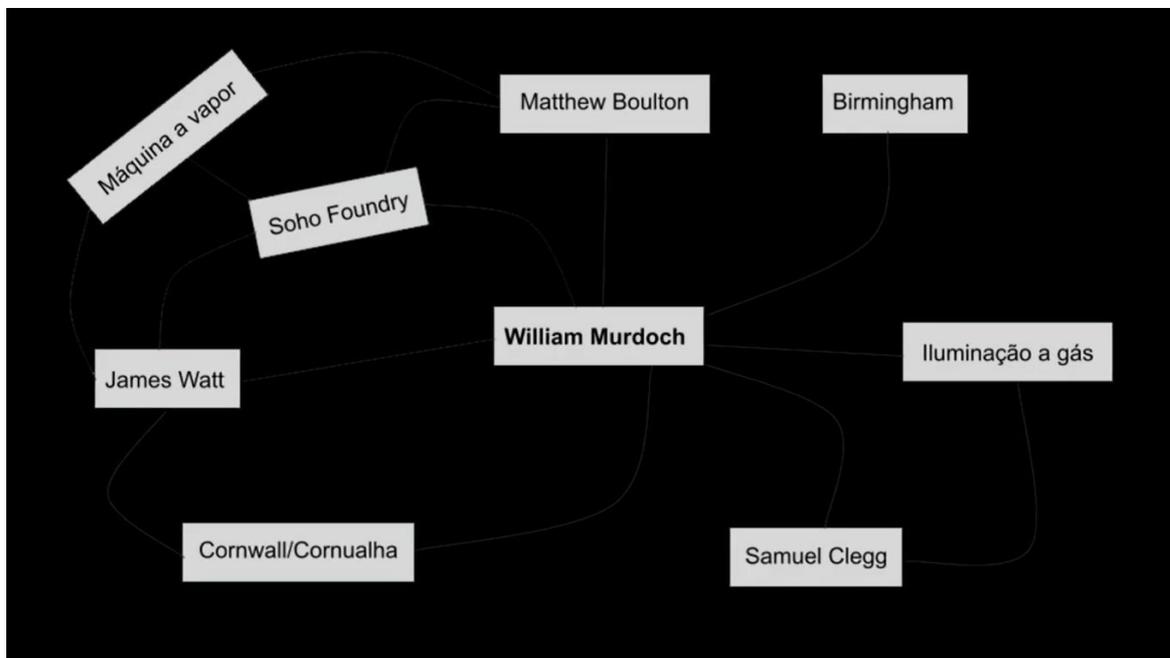


Figura 26- Rede EGO do grupo X5.

Fonte: Grupo X5 (2021).

X6 - Ator central: Sadi Carnot.

Esse grupo construiu toda a apresentação focada nas relações estabelecidas na rede, apresentada na figura 27. A princípio o grupo relacionou Sadi Carnot ao seu contexto histórico da Revolução Francesa, em seu país, e da Revolução Industrial no país vizinho. O grupo relacionou Carnot à sua obra, o livro “Reflexões sobre o poder motriz do fogo” (1824), obra a qual Carnot descreveu sua máquina térmica teórica. Em outro momento, o grupo relacionou as instituições de ensino francesas às quais Carnot teve algum tipo de vínculo durante sua vida. Na sequência, o grupo abordou o funcionamento da máquina teórica de Carnot e as conclusões dele sobre a ciência das máquinas a vapor, tratando da impossibilidade de uma máquina com 100% de rendimento. O grupo afirmou que Carnot estudou as máquinas de Savery, Newcomen e Watt. O grupo então relacionou a máquina de Savery à necessidade de remover as águas das minas de carvão, afirmou que a máquina de Savery e posteriormente a de Newcomen se basearam nas proposições de Papin. O grupo relacionou a máquina de Newcomen ao aprimoramento da máquina de Savery e Papin. Esse grupo também relacionou a máquina de Watt aos estudos que ele fez para melhorar a eficiência da máquina de Newcomen. O grupo relacionou o princípio de funcionamento da máquina de Watt à potencialidade de aplicação em

áreas como a fundição e as minas de carvão devido a sua forma de propulsão. O grupo relacionou Carnot a outros nomes relacionados às ciências, mas não os relacionou com o advento das máquinas a vapor (FIG.27). Para finalizar, o grupo relacionou Carnot a pessoas que continuaram seus estudos e ajudaram a estabelecer as relações termodinâmicas, como a 2ª Lei da Termodinâmica.

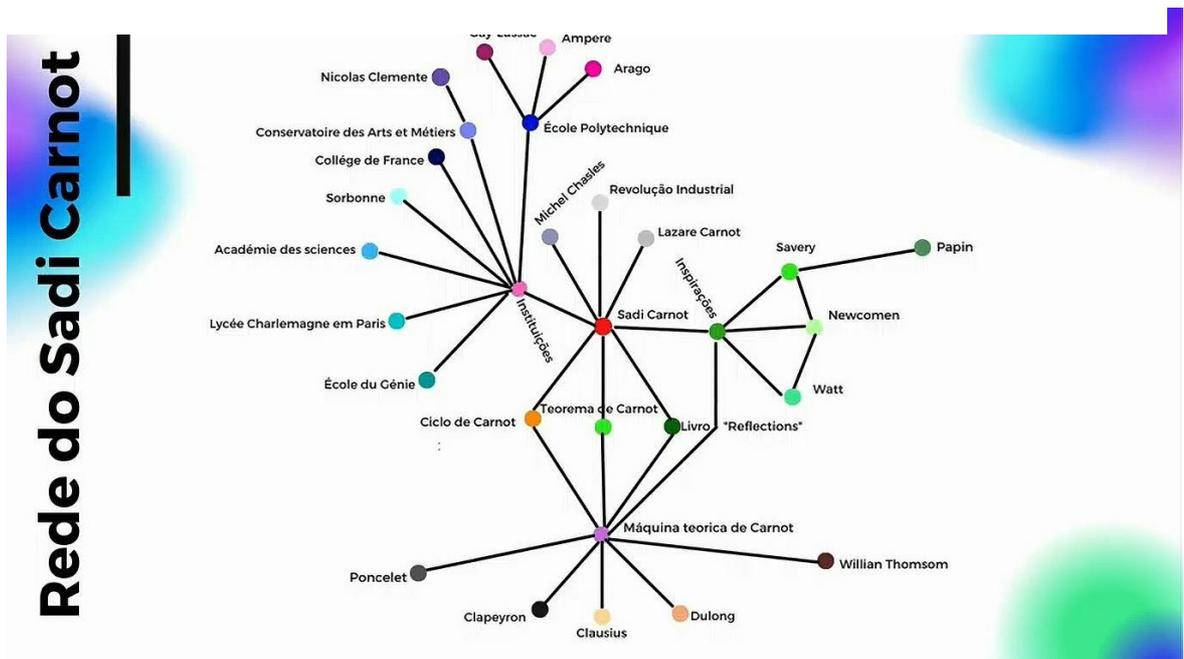


Figura 27- Rede EGO do grupo X6.

Fonte: Grupo X6 (2021).

X7 - Ator central: John Roebuck.

Esse grupo iniciou a apresentação evidenciando o percurso acadêmico e o contexto familiar de John Roebuck. O grupo estabeleceu que esse percurso acadêmico, principalmente na química " trouxe lucros e o tornou investidor" (ESTUDANTES). O grupo então relacionou Roebuck a Samuel Garbett, em seu primeiro investimento, que foi em uma refinaria de metais e produção de produtos químicos. O grupo evidenciou que Roebuck e Garbett, em 1749, fundaram um empreendimento de produção de ácido sulfúrico, na Escócia, e que os meios de produção de Roebuck eram inovadores. Na sequência, o grupo relacionou Roebuck, Garbett e Willian Cadell à fundação da indústria siderúrgica de nome Carron Ironworks, que segundo eles "foi estabelecida na vanguarda da revolução industrial" (ESTUDANTES), na Escócia. O grupo relacionou a Carron com a fundição, pioneira, de ferro utilizando carvão mineral. O grupo mencionou ainda que Roebuck e seus associados compraram as minas de carvão em

Borrowstones para suprir as demandas da fábrica, mencionou ainda que, devido a alagamentos, os associados adquiriram máquinas a vapor. O grupo relacionou Roebuck a Watt, que segundo o grupo, se conheceram devido aos alagamentos mencionados. Afirmaram que Roebuck solicitou que Watt corrigisse uma máquina de Newcomen tornando-a mais eficiente. Segundo o grupo, “como Watt não era um homem rico, pediu a Roebuck um apoio financeiro” (ESTUDANTES) para desenvolver seu dispositivo, e que a partir daí os dois estabeleceram uma parceria. O grupo então contextualizou a trajetória de vida de Watt, relacionando-o à Universidade de Glasgow e à Escócia. Relacionou Watt a sua oficina e a influência de seu pai, que era um fabricante de instrumentos náuticos. Na sequência, o grupo abordou os estudos de Watt sobre o motor de Newcomen e justificou os aprimoramentos realizados por ele. O grupo relatou que Roebuck que possuía parte da patente de Watt, em determinado momento, apresentou problemas financeiros o que fez com que ele vendesse sua parte da patente à Matthew Boulton, que segundo o grupo, fundou com Watt a indústria Watt & Boulton. A rede EGO construída por esse grupo está apresentada na figura 28.

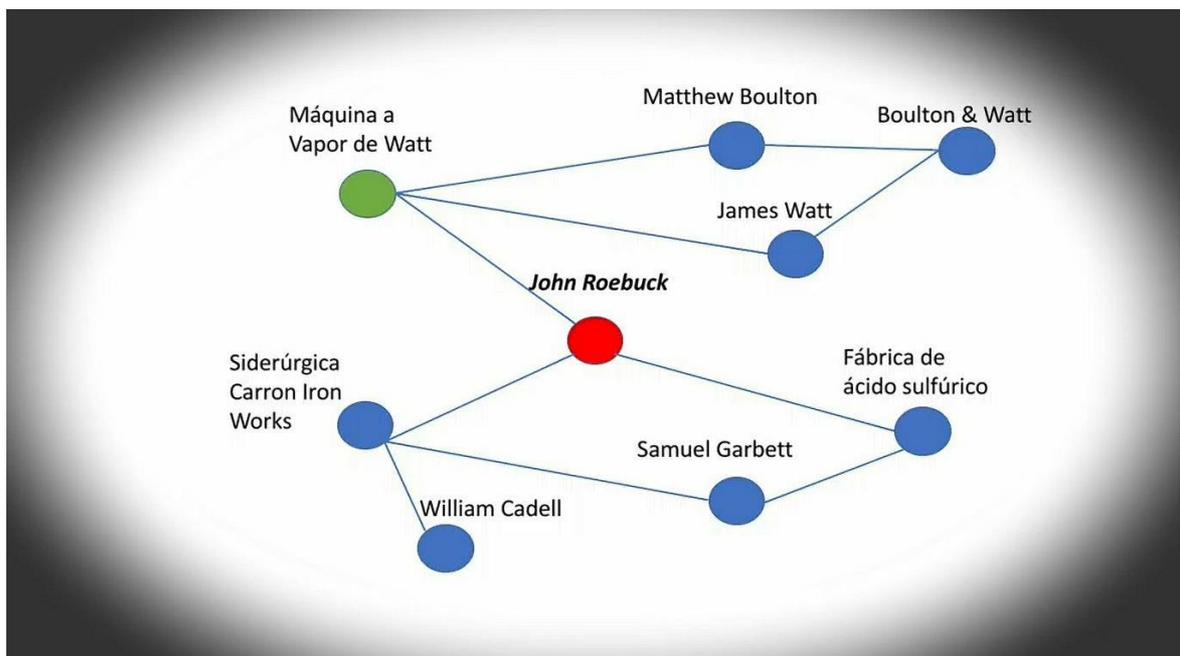


Figura 28- Rede EGO do grupo X7.

Fonte: Grupo X7 (2021).

X8 - Ator central: Jonathan Hornblower.

Esse grupo iniciou o vídeo trazendo parte da biografia de Jonathan Carter Hornblower, informando além de outras coisas, que ele foi, em 1773, aprendiz metalúrgico na cidade de Penyr. O grupo relacionou Jonathan a criação de sua máquina a vapor composta. O grupo relacionou as habilidades de Jonathan com as máquinas a vapor, ao seu pai que, segundo o grupo, trabalhava em uma empresa de motores de Newcomen na Cornualha. Na sequência, o grupo relacionou Hornblower à Watt, afirmando que Jonathan trabalhou para Watt e Boulton, produzindo as máquinas a vapor de Watt. O grupo justificou o interesse de Jonathan pela área da engenharia e das máquinas à vapor, à sua família que estava relacionada à Newcomen. O grupo afirmou que a família Hornblower estava relacionada à construção dos motores atmosféricos. O grupo afirmou que o irmão de Jonathan, Josiah Hornblower, “deixou sua marca nos Estados Unidos como aprendiz de Newcomen” (ESTUDANTES). O grupo relatou que embora Jonathan Hornblower não estivesse diretamente relacionado a Newcomen, seu pai e seu irmão, assim como outros membros da família, estavam. O grupo relatou que Jonathan, patenteou, no mesmo ano que iniciou seus trabalhos com Watt, o motor a vapor composto por dois cilindros, afirmando que esse motor era eficiente e que serviu de base para os motores de expansão como o desenvolvido em 1804 por Arthur Woolf. O grupo afirmou que: “Jonathan Hornblower foi impedido de desenvolver seu motor devido a um litígio envolvendo Watt e Boulton, sobre propriedade intelectual” (ESTUDANTES). O grupo relacionou Hornblower a sua patente de motor rotativo em 1798 e a outras invenções, explicando o funcionamento dessas, todas elas envolvendo motores a vapor, evidenciando suas posteriores aplicações. Eles informaram que após deixar de trabalhar para a Watt, Hornblower abriu juntamente com Marbely, uma empresa sob a patente de Mainwaring, em Londres. O grupo trouxe a relação de disputa de patentes entre Hornblower e Watt. A rede EGO construída por esse grupo está apresentada na figura 29.

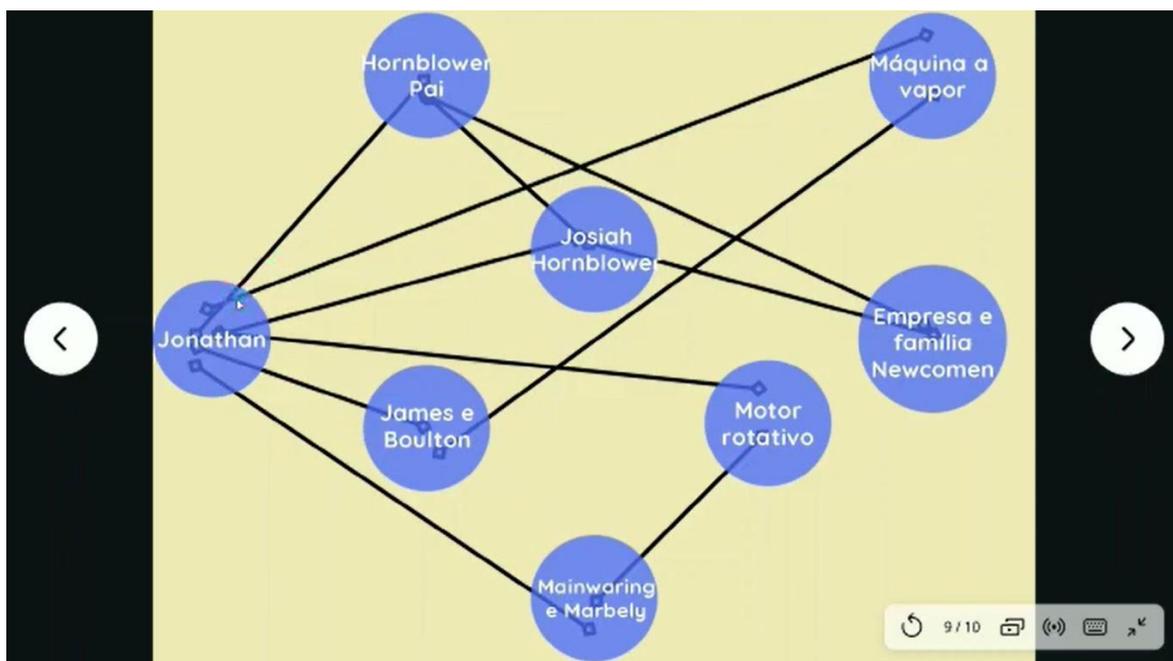


Figura 29- Rede EGO do grupo X8.

Fonte: Grupo X8 (2021).

Y1- Tema: O desenvolvimento econômico e social da Inglaterra nos séculos XVIII e XIX.

Esse grupo iniciou relacionando a Revolução Industrial a fatores anteriores a ela, no século XVII, como a ascensão da burguesia, as revoluções Gloriosa e Puritana, relacionam, também, esses fatores a acumulação de capital excedente. O grupo relacionou o desenvolvimento industrial da Inglaterra à abundância de reservas de carvão e ferro.

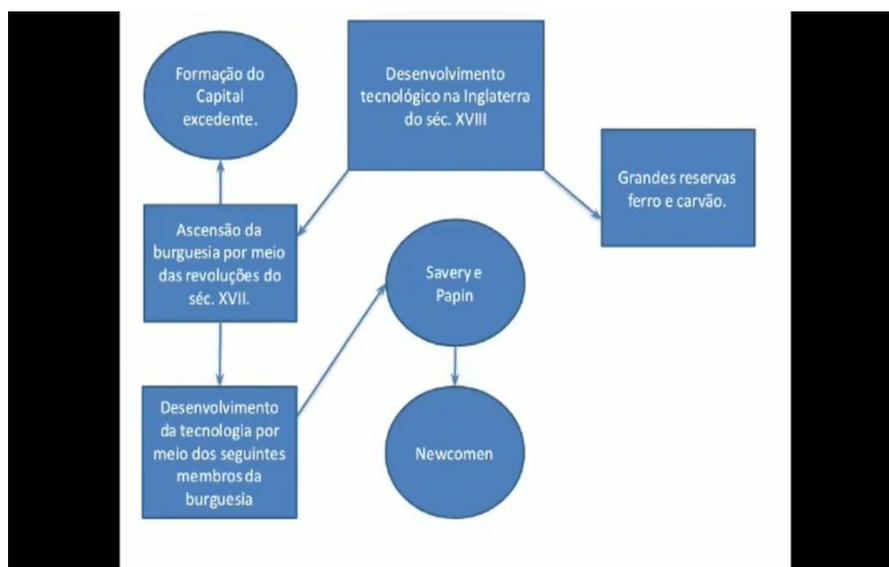


Figura 30- Rede do grupo Y1.

Fonte: Grupo Y1 (2021).

O grupo citou o funcionamento da máquina de Heron sem relacioná-la a nenhum outro elemento.

Na sequência, relacionaram a máquina de Savery com a necessidade de se retirar as águas das minas de carvão e mencionou o risco de explosão dessas máquinas. O grupo afirmou que Newcomen aprimorou o dispositivo de Savery e Papin, desenvolvendo, segundo eles, uma máquina mais segura quanto a explosões. O grupo mencionou o trabalho de Watt na Universidade de Glasgow e suas análises sobre a máquina de Newcomen a fim de desenvolver uma máquina mais eficiente. Levantaram como uma motivação para o interesse de Watt em construir uma máquina mais eficiente “o custo do carvão” (ESTUDANTES). Na sequência, o grupo expôs as melhorias feitas por Watt e o desenvolvimento de sua máquina. Estabeleceu a relação entre as máquinas de Watt e a Revolução Industrial devido a sua eficiência e o baixo consumo de carvão se comparadas às anteriores. Ainda sobre as máquinas de Watt, o grupo mencionou que o movimento rotativo delas possibilitaram a sua aplicação em fundições e nas minas. A rede estabelecida por esse grupo está representada na figura 30.

Y2 - Tema: Arte Ciência e Tecnologia na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX.

O grupo inicialmente estabeleceu as relações entre a Revolução Industrial com a industrialização da Inglaterra e do mundo. O grupo estabeleceu a relação entre o avanço tecnológico desse período ao desenvolvimento das máquinas a vapor. Relacionaram também “a máquina desenvolvida por Newcomen e aperfeiçoada por Watt” (ESTUDANTES) com a aceleração da produção de mercadorias e a substituição das máquinas manuais pela a vapor. O grupo citou alguns avanços tecnológicos ocorridos durante a Revolução Industrial. Com relação às artes, o grupo relacionou esse período à arte ao expor que no final do século XVIII, os pintores se voltaram a retratar paisagens em contraponto à exposição de chaminés e fumaça, e relacionaram esse fato a uma sensação de saudosismo. Segundo o grupo essa corrente artística “mais tarde teve ecos na França” (ESTUDANTES). O grupo apresentou alguns exemplos de pintura. A rede construída por esse grupo está apresentada na figura 31. Curiosamente a ideia de rede para esses alunos se assemelha a um fluxograma que parece fornecer uma relação de sentido das conexões.

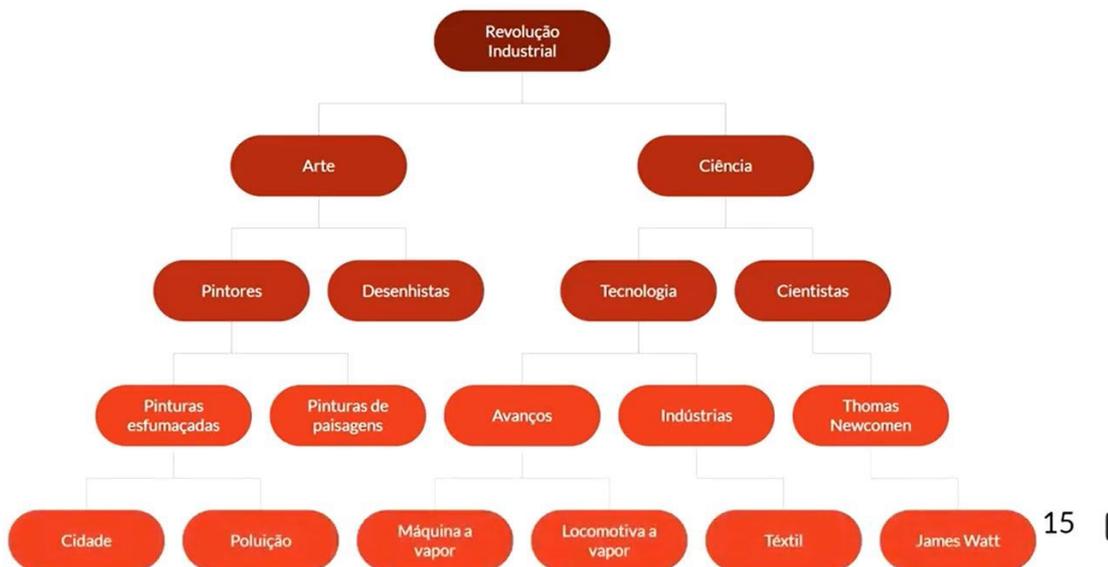


Figura 31- Rede do grupo Y1.

Fonte: Grupo Y1 (2021).

Y3 - Ator central: Denis Papin.

Esse grupo iniciou o vídeo falando sobre as origens de Papin. Em seguida, relacionaram Papin a Huygens, Boyle e Leibniz, informando que durante sua carreira ele desenvolveu projetos com essas personalidades. O grupo relacionou Papin à Universidade de Angers, onde se formou. Na sequência, o grupo informou que Papin e Huygens trabalharam juntos na construção da bomba de ar e que Leibniz, assim como ele, eram assistentes de Huygens. O grupo informou que estando na Inglaterra, através da indicação de Huygens, Papin trabalhou com Boyle, com quem realizou experimentos, também envolvendo bombas de ar. Relacionaram Papin ao digestor a vapor, um dispositivo desenvolvido por ele para facilitar o cozimento de alimentos utilizando a pressão e também a válvula de segurança que servia para controlar a pressão e evitar explosões. O grupo então, seguiu explicando o funcionamento desses dois últimos dispositivos. Mencionaram que Papin inventou a bomba de condensação. O grupo informou que Papin tornou-se membro da *Royal Society*, segundo eles, nomeado por Boyle. Relacionaram a *Royal Society* a um grupo de cientistas do Reino Unido e Europa. O grupo seguiu relacionando Papin a outras instituições de ensino, mas sem apresentar a relação deles com o advento das máquinas a vapor. O grupo então, relacionou Papin ao motor a vapor proposto por ele, enquanto ainda trabalhava com Huygens, substituindo, na bomba de ar, os

explosivos pelo vapor d'água e para gerar o vácuo a partir da condensação. O grupo informou que Papin “não conseguiu contornar o vácuo e que isso impediu que ele desenvolvesse mais a sua teoria”. O grupo expôs a relação de influência do dispositivo de Papin ao motor desenvolvido por Savery, para extrair as águas das minas de carvão. O grupo expôs, também, que após em 1707, Papin propôs em um artigo ‘Nova maneira de elevar a água pelo fogo’, motivado por Leibniz, a fim de aprimorar o dispositivo de Savery. O grupo informou que nesse período Papin tentou retornar a *Royal Society*, mas sem sucesso. A rede EGO construída por esse grupo está apresentada na figura 32, nela eles relacionaram Papin a Eron, mas sem justificativa e focaram nos atores humanos. Além disso, os alunos apresentam a ideia de “sentido” ao estabelecer arestas dirigidas e não dirigidas na figura 32.

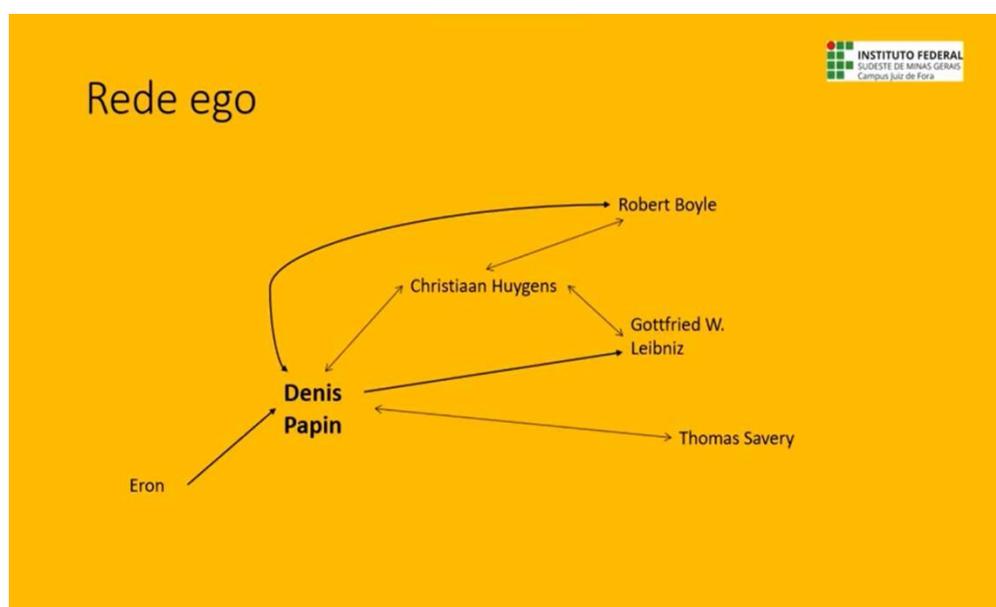


Figura 32- Rede EGO do grupo Y3.

Fonte: Grupo Y3 (2021).

Y4 - Ator central: Joseph Black.

O grupo apresentou a biografia de Joseph Black, evidenciando sua origem francesa de pais escoceses. O grupo tratou também da sua trajetória acadêmica relacionando com a Universidade de Glasgow e com William Cullen, com quem, segundo o grupo, Black foi assistente de laboratório. Relacionaram, também, Black à Universidade de Edimburgo, onde, segundo o grupo, ele finalizou seus estudos. O grupo relacionou Black aos seus estudos sobre o ar fixo (gás carbônico) e as origens desse gás. O grupo falou sobre a utilização do carvão como combustível das máquinas a vapor utilizadas em barcos e locomotivas. O grupo abordou a pesquisa de Black sobre a mudança de fase e também os experimentos, realizados por ele, que

resultaram num conceito chamado de calor latente. O grupo relatou que na Universidade de Glasgow, Black conheceu James Watt que trabalhava nessa Universidade consertando equipamentos matemáticos. Na sequência, o grupo supôs que Watt, ao ter contato com a sua pesquisa de Black, pôde compreender a perda de calor excessiva no modelo de máquina a vapor de Thomas Newcomen, podendo, segundo o grupo, assim aperfeiçoá-la. O grupo mencionou a aplicação das máquinas e as melhorias feitas por Watt na máquina de Newcomen, como o condensador separado e o movimento rotativo. O grupo não apresentou a rede EGO.

Y5 - Ator central: William Murdoch.

O grupo iniciou o vídeo falando sobre a biografia e formação de Murdoch. Relataram que ele foi montador de motores por dez anos e o relacionaram a algumas invenções durante sua história como o desenvolvimento da iluminação a gás de protótipos de máquinas a vapor. O grupo estabeleceu a relação entre Murdoch, a empresa de Boulton e Watt e a cidade de Birmingham, relataram que ele foi funcionário desta empresa. O grupo evidenciou que Murdoch “teve uma grande importância na empresa, mesmo com seus trabalhos sendo ocultados” (ESTUDANTES). O grupo relacionou Boulton e Watt, afirmando que Boulton financiou os projetos de Watt, a fim de melhorar as vendas do dispositivo inventado por Watt. O grupo mencionou que a empresa *Boulton & Watt*, tinha por objetivo produzir e aperfeiçoar máquinas térmicas a partir das ideias de Watt. Relataram que Murdoch foi até Birmingham pedir emprego a Watt, sendo reconhecido como um talentoso engenheiro e inventor se tornando funcionário da empresa *Boulton & Watt*. O grupo trouxe a relação entre Bolton, Watt e Murdoch na empresa, mencionaram que Murdoch encontrou dificuldades em aplicar suas ideias, culminando na sua saída da empresa. Relataram que Murdoch retornou à empresa, como sócio, anos depois. O grupo relacionou essa empresa ao fornecimento de máquinas a vapor, para as minas e indústrias, na Grã-Bretanha, e afirmaram que a empresa forneceu máquinas para a Grécia e Rússia. O grupo relatou que a engrenagem Sol Planeta foi desenvolvida por Murdoch, mas patenteada por Watt, quando ele ainda trabalhava na *Boulton & Watt*. Segundo o grupo, essa invenção teve por objetivo contornar a patente da manivela detida por James Picard. Relacionaram Murdoch a um modelo de um vagão a vapor de alta pressão. O grupo afirmou que evidenciou que esse modelo não teve o apoio de Watt e Boulton, pois segundo os estudantes, Watt desconfiava da utilização de vapor em alta pressão, e por isso “Murdoch foi incapaz de desenvolver seu dispositivo e ganhar publicidade para sua invenção” (ESTUDANTES). A rede EGO construída pelos estudantes está apresentada na figura 33.

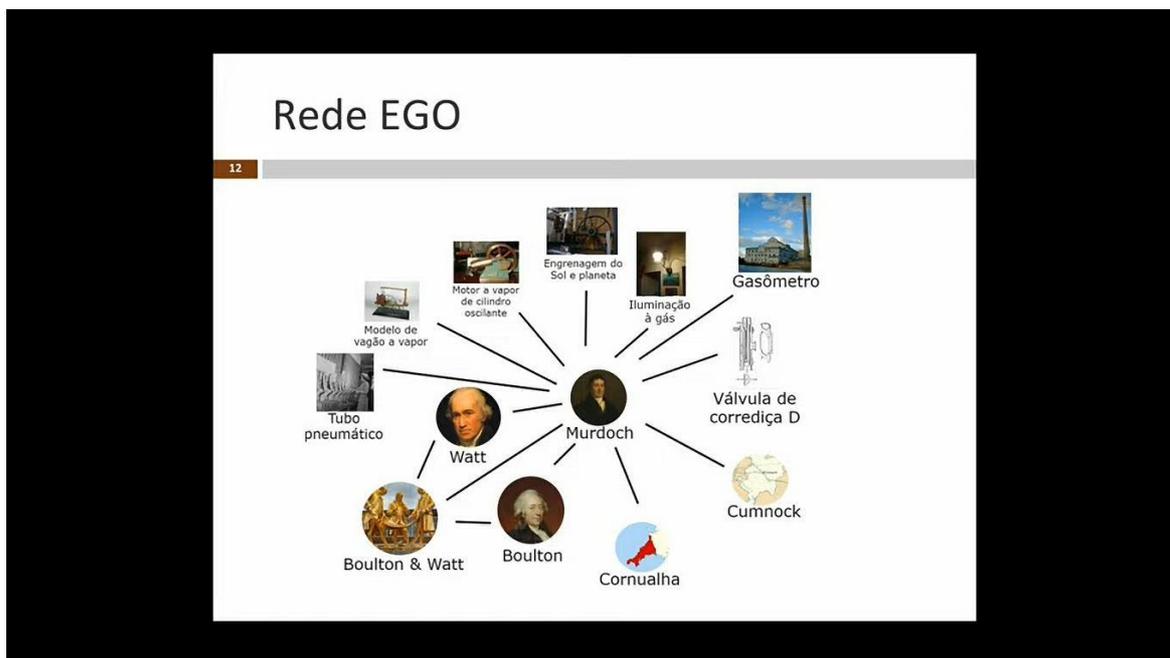


Figura 33- Rede EGO do grupo Y5.

Fonte: Grupo Y5 (2021).

Y6 - Ator central: Sadi Carnot.

O grupo iniciou o vídeo trazendo a relação de Sadi Carnot com seu pai, Lazare Carnot, e seu irmão Hippolyte Carnot, mencionando que seu pai foi membro do diretório de um órgão que dirigiu a França. Relacionaram o exílio a família de Carnot na Alemanha, depois de um golpe, ao retorno de Lazare às suas pesquisas que resultaram no livro "Ensaio sobre as máquinas em geral" (1783). O grupo afirmou que Sadi cresceu sob muita influência do trabalho de seu pai. Na sequência o grupo, relacionou Sadi Carnot à *École polytechnique*, onde, segundo o grupo, Carnot foi aluno de Simeon Poisson, Gay-Lussac, Ampère e François Arago. O grupo relatou que Carnot, assim como seu pai, ingressou na vida militar em um período em que a França estava sob ameaça inglesa. Após esse período, o grupo relacionou Carnot a outras instituições de ensino como à escola de engenharia de Metz e a Sorbonne. O grupo relacionou Carnot a Nicolas Clément que ministrava o curso de química aplicada, segundo os estudantes eles estabeleceram uma relação de amizade e influência mútua. O grupo estabeleceu uma relação indireta entre Carnot e Charles B. Désormes, pois, segundo o grupo, Clément utilizava em suas aulas um trabalho desenvolvido em conjunto com Charles, que abordava pesquisas e estudos sobre o desenvolvimento das máquinas a vapor e teoria dos gases. O grupo relatou o interesse de Carnot ao desenvolvimento industrial e pelas máquinas a vapor, afirmaram que ele visitou fábricas e oficinas, estudando as máquinas disponíveis na época e seus problemas. O

grupo mencionou que Carnot estudou a máquina de Watt, que segundo o grupo era uma modificação na máquina de Newcomen. Mencionaram que Carnot comparou a máquina de Watt e a de Wolf, estabelecendo uma relação de desempenho e eficiência entre elas. O grupo relacionou Sadi Carnot a sua obra " Reflexões sobre o poder motriz do fogo" (1824), que tratava, como assunto principal, sobre o funcionamento das máquinas a vapor. O grupo mencionou que Carnot enfrentou dificuldades na aceitação de seu trabalho, pela academia, devido à falta de formulação matemática. O grupo relacionou Carnot aos estudos sobre as propriedades físicas dos gases e vapores, em especial a relação entre pressão e temperatura e a impossibilidade de um movimento perpétuo, que, segundo o grupo, teve forte influência do trabalho de seu pai. O grupo relacionou Carnot a teoria calórica do calor e a ao entendimento que força motriz, não era devida ao consumo calórico e sim ao transporte dele, de um corpo quente para um corpo frio. O grupo mencionou o Ciclo de Carnot e sua máquina teórica, que estabeleceu a impossibilidade de um rendimento de 100%. O grupo seguiu relacionando Carnot a diversos outros nomes que foram posteriormente influenciados pelo seu trabalho, como, Clapeyron, que segundo o grupo, leu e reescreveu o livro de Carnot, a Rudolf Clausius que introduziu o conceito de entropia, William Thomson, Lenoir, Otto, Langen e Rudolf Diesel. A rede EGO construída por esse grupo está apresentada na figura 34.

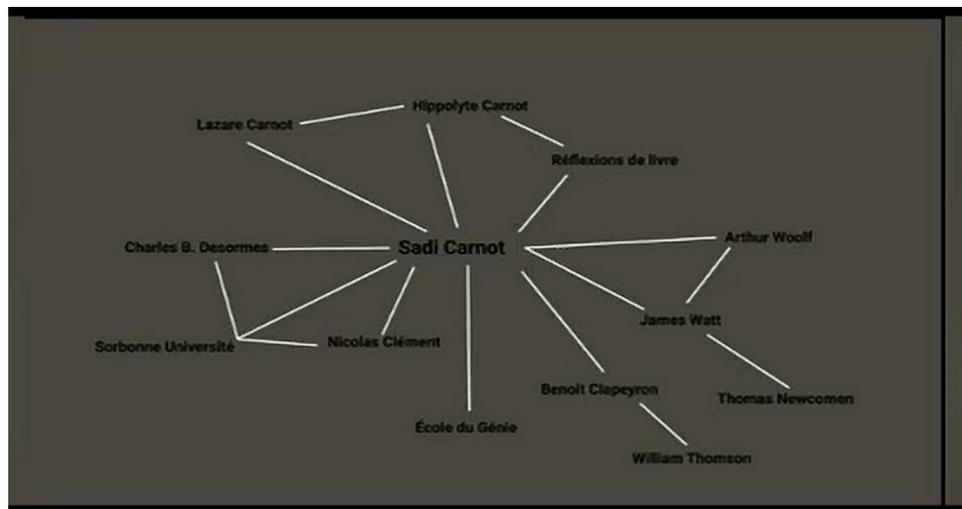


Figura 34- Rede EGO do grupo Y6.

Fonte: Grupo Y6 (2021).

Y7 - Ator central: John Roebuck.

O grupo relacionou Roebuck ao advento da Revolução Industrial, período em que, segundo o grupo, foi marcado pelo desenvolvimento de várias tecnologias devido a influência do capitalismo recém-nascido e pelo acúmulo de capital e redução dos custos de produção. Em seguida, o grupo trouxe a relação entre Roebuck e Joseph Black, na Universidade de Edimburgo, onde Black foi professor de Roebuck. O grupo relatou que após a graduação em medicina Roebuck se mudou para Birmingham onde conheceu um empresário local de nome Samuel Garbett. O grupo mencionou que Roebuck e Garbett formaram uma sociedade para produzir ácido sulfúrico em câmaras de chumbo. No entanto, segundo o grupo, os sócios não estabeleceram uma patente sobre a forma de produção com câmaras de chumbo, e que devido a isso outras empresas utilizaram o processo, fazendo com que eles se mudassem para a Escócia, onde estabeleceram outra empresa. O grupo afirmou que, na Escócia, os sócios conheceram Willian Cadell, e que junto a ele fundaram a indústria siderúrgica Carrol company, que produzia vários itens, inclusive armamento para a marinha britânica. Segundo o grupo, “Roebuck em detrimento da sua empresa se envolveu em um esquema de mineração de carvão” (ESTUDANTES), e que com isso ele teve contato com o problema do alagamento das minas de carvão. Na sequência, relacionaram Roebuck a James Watt, afirmando que Roebuck chamou Watt para melhorar a eficiência das máquinas de Newcomen, em suas minas de carvão. O grupo relatou que a parceria entre Roebuck e Watt se iniciou quando Watt foi incumbido, pela Universidade de Glasgow, de consertar a máquina de Savery-Newcomen, os estudantes afirmaram que foi Joseph Black quem apresentou os dois. O grupo relatou que Roebuck financiou a construção das máquinas de Watt, ficando com 2/3 de propriedade e lucros. Mencionaram que no mesmo período, estando em Birmingham, Roebuck e Watt conheceram Boulton que, segundo o grupo, demonstrou interesse nas máquinas e se ofereceu para estabelecer uma sociedade com eles, no entanto, ainda segundo o grupo, Roebuck negou a parceria. O grupo relacionou fatores como a depressão econômica nacional e a licença concedida a Watt para a comercialização da máquina em apenas três países, com a falência da empresa de Roebuck e Watt. Na sequência o grupo mencionou que dada a falência desta empresa, Boulton foi informado e comprou a parte da empresa pertencente a Roebuck. O grupo relatou que mesmo após o fim da parceria com Watt, Roebuck seguiu como uma fábrica de cerâmica que recebeu da família Cadell, além de agricultura em larga escala. A rede EGO construída por esse grupo está apresentada na figura 35, o grupo apresentou apenas as imagens dos elementos da rede.



Figura 35- Rede EGO do grupo Y7.

Fonte: Grupo Y7 (2021).

Y8 - Ator central: Jonathan Hornblower.

O grupo iniciou o vídeo relatando a dificuldade de encontrar informações sobre Jonathan Carter Hornblower. Na sequência, o grupo relatou que seu pai e outros membros da família trabalhavam na construção de máquinas de Newcomen. Os estudantes exploraram a máquina a vapor desenvolvida por Hornblower, que consistia num conceito de motor composto, que segundo o grupo, aumentava a eficiência da máquina a vapor e foi base para o motor de expansão. O grupo afirmou que Hornblower foi impedido de continuar a construção de sua máquina devido a um litígio de patente, movido por Watt e Boulton, sobre a propriedade intelectual da máquina a vapor. O grupo evidenciou que o princípio do motor composto “só voltou à luz ao fim da patente de Boulton e Watt”. Relataram também, que durante o tempo em que Hornblower estava impedido de dar continuidade ao seu motor composto, ele começou a trabalhar em um motor rotativo. Na sequência, o grupo abordou algumas influências dos desenvolvimentos de Hornblower, como: motor composto a vapor, válvula de batimento duplo, motor giratório e a roda a vapor. O grupo afirmou que o motor composto “possibilitou o surgimento das ferrovias e que seu motor giratório teve presença na aviação” (ESTUDANTES). O grupo também afirmou que Hornblower teve seu lugar na história como apenas um pirata das grandes ideias e invenções de Watt e justificaram que isso se deve a “muitos que estiveram ao lado de Hornblower serem pouco conhecidos e muitos dos que tiveram ao lado de Watt e Boulton serem muito conhecidos” (ESTUDANTES). O grupo relatou que a *New Jersey Historica Society* tem uma série de arquivos relacionados à família Hornblower. O grupo estabeleceu relações entre Hornblower e outros personagens, como John Windwood que,

segundo eles, era seu parceiro na metalurgia. Também relacionaram Hornblower a Davies Gilbert através de cartas que trocavam, apenas 15 anos após Jonathan Hornblower ter iniciado seus estudos em máquinas a vapor. O grupo relatou ainda que Hornblower esteve em uma “guerra de patentes” com Watt e Boulton, estabelecida devido ao motor composto. Na sequência, o grupo evidenciou as mudanças feitas por Hornblower no motor de Watt e explicou o funcionamento do motor giratório. A rede EGO construída por esse grupo está apresentada na figura 36.

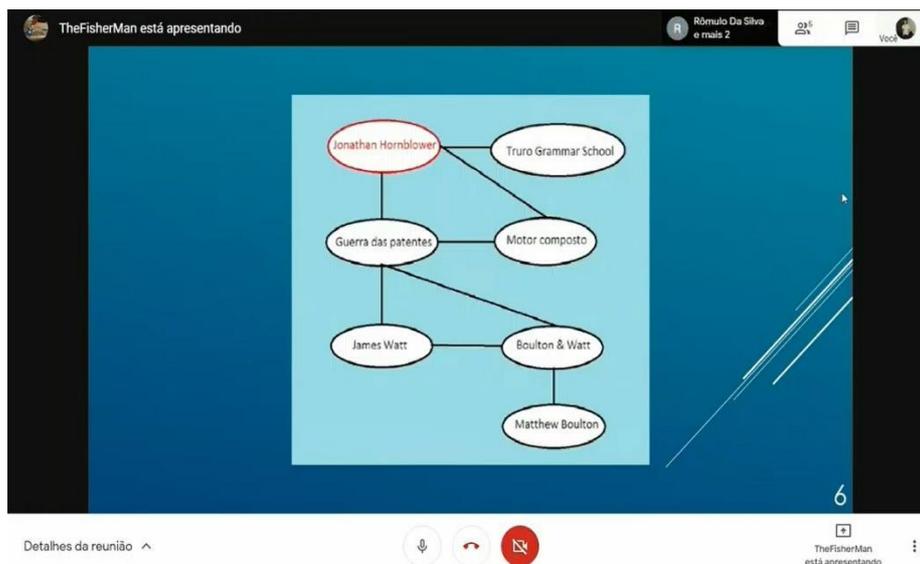


Figura 36- Rede EGO do grupo Y8.

Fonte: Grupo Y8 (2021).

6.3 CONSTRUÇÃO DAS REDES HISTÓRICAS GERAIS.

A construção das redes históricas gerais ocorreu após os estudantes de cada turma terem assistido aos vídeos descritos no subcapítulo anterior, referentes à sua turma. Essa construção ocorreu de maneira síncrona, através do *Google Meet* e a aula foi gravada. O recurso utilizado permite armazenar as conversas via *chat*, durante a chamada. Neste subcapítulo apresentaremos os resultados da MHR com as duas turmas. Durante a MHR os estudantes ao proporem a inserção de um ator ou o estabelecimento de uma relação, deveriam justificá-las, nos próximos tópicos evidenciaremos essas justificativas.

6.3.1 MHR - Turma X:

A partir da pergunta motivadora: “Qual personalidade vocês acham mais relevante para o advento das máquinas a vapor?”, os estudantes foram convidados a iniciar a construção da

rede. Essa primeira pergunta foi respondida, principalmente, pelo *chat* e apresentou o seguinte Watt, como mostra a figura, e dessa forma ele foi o primeiro ator inserido na rede. Nenhum estudante manifestou opinião contrária à inserção de Watt. Na sequência, os estudantes foram convidados a relacionar Watt a outros atores.

O próximo ator inserido na rede foi Matthew Bolton, que segundo um estudante foi parceiro econômico de Watt, uma relação empresarial. O terceiro ator inserido foi Newcomen, a partir da justificativa de que Watt aprimorou a máquina dele. Na sequência, o próximo ator inserido foi Joseph Black, através das pesquisas sobre o calor latente, os estudantes não apresentaram mais justificativas para a inserção desse ator, mas como nenhum estudante se contrapôs a ela, ele foi inserido.

Outro estudante estabeleceu a relação entre Watt e Roebuck, que segundo o estudante, financiou o desenvolvimento da máquina de Watt. Relacionaram Sadi Carnot a Watt, pois segundo uma estudante, ele estudou algumas máquinas, inclusive a de Watt. A próxima inserção foi a de Murdoch, através da justificativa de que ele trabalhou na empresa de Watt e Boulton e que, também, supervisionou a construção de alguns motores de Watt. Dessa forma, foi estabelecida a relação entre Murdoch e Boulton.

Outro ator proposto foi Savery, sob a justificativa de sua máquina ter influenciado a máquina de Newcomen e Watt. Na sequência, a justificativa da inserção de Black foi exposta no chat, e sob a justificativa de que Watt assistiu alguma de suas aulas na Universidade de Glasgow e que isso auxiliou na melhoria da máquina a vapor, proposta por Watt.

O próximo ator inserido na rede foi Jonathan Hornblower, sob a justificativa de que Jonathan inventou a máquina a vapor composta com um princípio semelhante a de Watt e que isso posteriormente resultou em um problema de patentes. Na sequência o ator Samuel Clegg, foi adicionado a rede, relacionado a Murdoch, o estudante argumentou que ele trabalhou na Soho Foundry junto a Murdoch e que conheceu Watt. A conexão de Hornblower e Newcomen foi estabelecida, pela justificativa de que ele trabalhou com motores de Newcomen.

Foi sugerida a inserção da conexão entre Sadi Carnot e Newcomen, por ele ter estudado a sua máquina e sugerida a inserção de Denis Papin, devido a influências que os estudos dele teve no trabalho de Carnot. Com a inserção de Papin, outro estudante o relacionou com Savery e Newcomen, pois segundo esse estudante, esses últimos, se baseiam também em Papin para proposição de suas máquinas.

Um estudante propôs a inserção de Fulton e Trevertick, pois, segundo ele, esses atores desenvolveram o barco a vapor e a locomotiva a vapor, respectivamente, baseados na máquina de Watt. O estudante apresentou dúvidas se esses dois atores poderiam ser inseridos pois eles

desenvolveram seus dispositivos posteriormente a Watt, Devido a isso, os estudantes foram questionados sobre se a rede construída por eles deveria seguir um recorte temporal ou se poderia abordar atores de períodos históricos diferentes. Um estudante afirmou “achar importante para mostrar de onde as pessoas tiveram suas influências”.

A relação entre Boulton e Roebuck foi estabelecida pela justificativa de que Roebuck vendeu a parte dele da patente de Watt para Boulton, e a partir daí, segundo o estudante, a empresa Watt & Boulton foi estabelecida. O estudante também relacionou Boulton a Murdoch, segundo ele, devido a sociedade entre eles.

Uma estudante questionou se ao relacionar Carnot a Papin e Papin a Newcomen e Savery, esses quatro atores já estariam relacionados. Após discussão foi estabelecido que ao identificar a relação direta entre atores elas poderiam ser estabelecidas, mesmo que já existam relações indiretas. Então a estudante reforçou o estabelecimento das conexões entre Carnot, Savery e Newcomen, devido ao estudo das máquinas.

Outra relação estabelecida foi entre Newcomen e Black, sob a justificativa que seus estudos influenciaram a melhoria proposta por Watt, na máquina de Newcomen.

Um estudante estabeleceu a relação entre Murdoch e Cugnot, que segundo ele foi uma influência para construção do motor proposto por Murdoch. Na sequência, uma estudante evidenciou a relação entre Boulton e Roebuck, que segundo ela, trabalharam juntos. Outro estudante relacionou Papin e Hooke, que segundo ele Papin foi assistente dele na *Royal Society* e relacionou Papin a Boyle, pois, segundo ele, eles trabalharam juntos na construção de alguns dispositivos, como o digestor a vapor.

A inclusão de Lavoisier, na rede, foi justificada pela sua influência teórica para o trabalho de Black, a estudante se questionou se esse ator poderia ser inserido na rede, já que ele é, segundo ela, da área da química e não estabelece relação direta com as máquinas. Na sequência, foi estabelecida a relação, também teórica, entre Carnot e Nicolas Clement.

A inserção de Clapeyron na rede foi justificada pela influência que o trabalho de Carnot teve em seu trabalho. A inserção de Samuel Garbett foi justificada pelas parcerias empresariais com Roebuck. A relação entre Savery e Newcomen foi justificada, segundo o estudante, pois Newcomen aperfeiçoou a máquina de Savery,

A inserção de Amperè foi justificada por ele ser da Física e ter sido professor de Carnot, mas sem apresentar a relação dessa conexão ao advento das máquinas a vapor, essa inserção gerou discussões sobre a relevância de inseri-lo. Uma estudante argumentou que “como os estudos relacionados às máquinas a vapor estavam em alta, provavelmente eles conversaram sobre isso” (ESTUDANTE).

Outra relação que gerou discussões foi a inserção do James Hutton, que segundo um estudante estudou com Black, em contraponto uma estudante argumentou que “a conexão deles está associada a estudos geológicos” (ESTUDANTE) e por isso ela não estava certa se seria relevante inseri-lo na rede. A discussão seguiu e uma votação foi iniciada, outro estudante argumentou que “em um contexto geral esses atores deveriam ser conectados, mas no contexto de máquinas a vapor não”, outro argumento interessante foi o de que Black sua posição estava relacionada a muitas pessoas como Adam Smith, da economia, por exemplo, mas que não necessariamente todos esses contatos estavam de alguma forma relacionado às máquinas a vapor. A partir desses argumentos os estudantes concordaram que Hutton não deveria ser inserido na rede.

Finalizada a construção da rede com os atores humanos iniciou-se a inserção dos atores não humanos. O primeiro foi a empresa Watt & Boulton, foram relacionadas a ela, Boulton, Watt, Murdock e Clegg. A cidade de Birmingham foi inserida conectando a empresa e os atores anteriormente mencionados, foi questionado se como essa cidade e a empresa conectam-se às mesmas pessoas, estabelecendo as mesmas relações, ambas deveriam estar na rede. A justificativa para a manutenção de Birmingham foi sua localização próxima a muitas minas de carvão.

Na sequência foi inserida a escola de *Metz*, relacionando Clemente a Carnot. Inseriram também a Universidade de Glasgow a conectando com Black, Watt e com a siderúrgica Caron Ironworks, que segundo os estudantes, foi através dela que Roebuck se conectou a Watt. A siderúrgica também foi adicionada a rede estabelecendo as conexões mencionadas, e conectada também a Garbett. A *Royal Society*, foi inserida e conectada a Papin, Hooke, Boyle, Watt e Black.

O livro de Sadi Carnot foi mencionado conectado ao próprio Carnot, o que gerou outras discussões, sobre a inserção da obra ou das máquinas na rede. A principal justificativa é o fato de Carnot não ter construído uma máquina visível o livro é o que Carnot produziu. Iniciou-se então uma votação que ficou em empate, o principal contraponto a essa inserção é o fato de as máquinas não terem sido inseridas.

A rede construída durante a dinâmica via *jamboard* do *google meet* por essa turma está apresentada na figura 37.

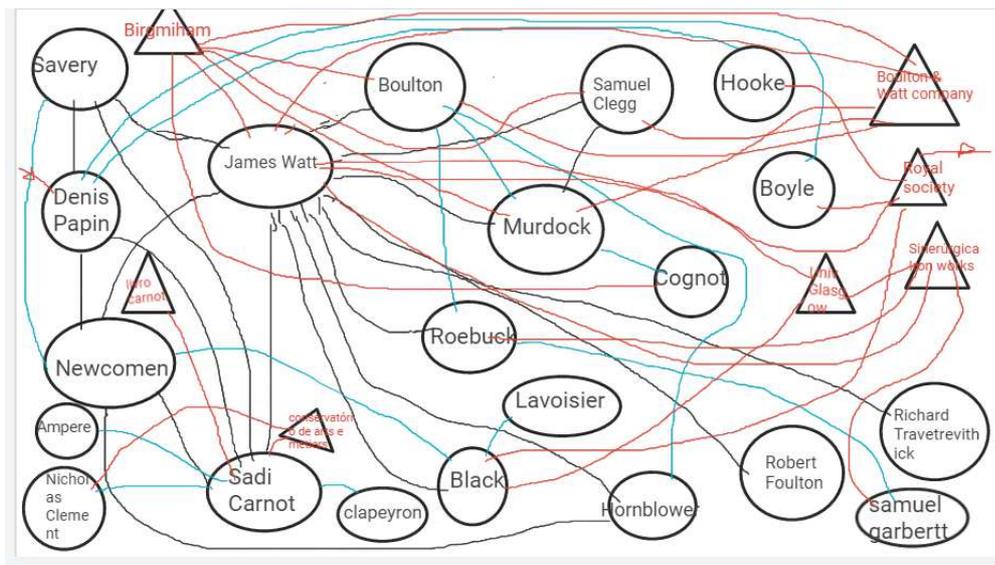


Figura 37- Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma X.

Fonte: A Autora (2021).

Esta mesma rede da figura 37 foi tratada a partir do *Software Gephi 9.0* dando origem à imagem apresentada na figura 38.

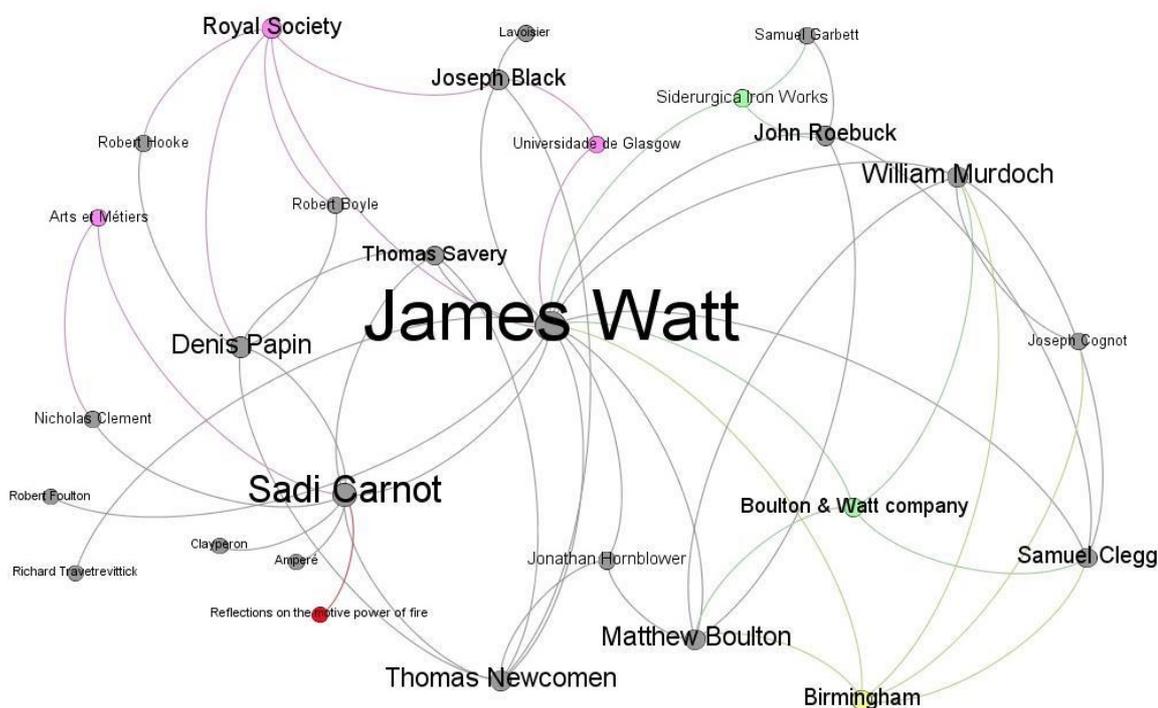


Figura 38- Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma X, tratada no *Gephi*.

Fonte: A Autora (2021).

6.3.2 MHR - TURMA Y:

Assim como na turma anterior, a partir da pergunta motivadora: “Qual personalidade vocês acham mais relevante para o advento das máquinas a vapor?”, os estudantes foram convidados a iniciar a construção da rede. E também como na turma anterior os estudantes em unanimidade citaram James Watt, um dos estudantes definiu que esse ator deveria ser James Watt pois “ele está interligado com quase todos os trabalhos” (ESTUDANTE).

Na sequência, os estudantes iniciaram o estabelecimento de relações com Watt, um dos estudantes afirmou que Watt possui muitas conexões pois ele dedicou sua vida às máquinas a vapor. Assim, esse estudante estabeleceu a relação entre Watt e Roebuck, segundo ele, Watt foi chamado por Roebuck para melhorar a máquina de Newcomen que ele tinha em suas minas de carvão, essa, também, foi uma justificativa para conectar Roebuck e Newcomen.

Outro estudante pontuou que Roebuck financiou o desenvolvimento das máquinas de Watt. Outra conexão de financiamento estabelecida pelos estudantes foi de Boulton e Watt, outra justificativa para essa relação, foi levantada por outro estudante que afirmou que Boulton e Watt tinham uma empresa.

As justificativas para inserção de Joseph Black na rede foram, a de que Black foi professor e financiador de Watt e que Watt ao ter contato com as pesquisas de Black pode aprimorar a máquina de Newcomen. Black foi relacionado a Roebuck por um estudante que afirmou que Black também foi professor de Roebuck. Acrescentaram que Black apresentou Roebuck a Watt.

Murdoch foi adicionado à rede e relacionado a Watt e Boulton, sob o argumento de que ele foi sócio de Watt e Boulton, e evidenciaram “e por Watt ter pego algumas patentes dele” (ESTUDANTE). O próximo ator inserido foi Hornblower e ele foi relacionado a Watt, pois, segundo os estudantes, ele se envolveu em uma disputa de patentes com Watt e, também, aperfeiçoou a máquina de Watt.

Newcomen foi adicionado à rede e relacionado a Watt, “pois, a partir dos estudos das máquinas de Newcomen, ele conseguiu desenvolver e aprimorar a mesma, criando assim uma máquina que a substituiu, e com um gasto de carvão 3 vezes menor” (ESTUDANTE). Na sequência, Carnot foi adicionado à rede, se relacionando a Watt, pois ele estudou as máquinas de Watt. Carnot, também foi relacionado à Newcomen pelo mesmo motivo. Os estudantes conectaram Hornblower a Newcomen, pois, segundo eles, a família de Hornblower consertava motores de Newcomen.

Savery foi adicionado à rede e relacionado à Watt, com a justificativa de que a máquina de Savery serviu de base para as outras máquinas. Savery foi conectado à Newcomen também pela relação de aprimoramento das máquinas a vapor. Na sequência, Papin foi inserido na rede, pois ele desenvolveu o pistão e influenciou a máquina de Savery, estabelecendo assim uma relação entre eles, ainda que Papin “tenha ficado apenas na teoria” (ESTUDANTE). Relacionaram Papin a Boyle, devido a Papin ter sido assistente dele. Papin também foi relacionado a Huygens, sob a justificativa de que eles se juntaram para desenvolver a bomba de ar.

Na sequência, os estudantes relacionaram, segundo eles, indiretamente, Hornblower a Boulton, pois ele era sócio de Watt durante a disputa pelas patentes. Estabeleceram também a relação de Roebuck com Boulton. Outra justificativa para essa relação foi a de que Boulton tentou uma negociação com Roebuck. Outros dois atores foram inseridos na rede com a justificativa de terem sido sócios de Roebuck, o Cadell e o Garbett, além de conectá-los entre si.

Na sequência, passamos para a inserção de atores não-humanos à rede. De início foi inserida a Associação de Mecânicos de Glasgow, que foi relacionada a Watt e Black. A Carrom Company, empresa de Roebuck, foi conectada a Roebuck, Watt, Boulton, Cadell e Garbett. A cidade de Birmingham foi conectada a Murdock, Boulton e Watt, pois ambos trabalhavam lá. A cidade de Cornualha também foi apresentada, relacionando-a a Murdock e Hornblower e a construção de motores de Newcomen.

Inseriram também na rede a *Royal Society of London*, conectando a Papin, Huygens e Boyle. Os estudantes sugeriram a inserção do Motor Composto a vapor, pois esse motor foi o alvo das disputas pela patente entre Watt e Hornblower e garantiram a inserção do motor para evidenciar a disputa entre eles, conectando também Boulton.

Foi incluída a Universidade de Glasgow, uma vez que foi nessa instituição que se solicitou a Watt que aprimorasse a máquina de Newcomen. Dessa forma, os estudantes estabeleceram uma conexão entre Watt e Black, por este ter sido professor na referida instituição, e Black a Roebuck.

A cidade de Paris foi adicionada relacionando Carnot a Clapeyron, que também foi adicionado à rede nesse momento. Paris também se relacionou a Papin e a Boyle, pois eles trabalharam juntos nesta cidade.

Iniciou-se então, uma discussão para definir se uma teoria científica poderia ser considerada um ator não-humano. A maioria da turma concordou que sim. Por este motivo, inseriram a teoria do Calórico relacionando-a a Watt e Clapeyron. Outra discussão foi acerca

da inserção das máquinas como atores não-humanos. A partir dos argumentos, a máquina de tração animal foi inserida como base para as máquinas a vapor e relacionada a Papin e Savery. Outra relação estabelecida foi entre o Tubo Pneumático e Murdoch. Os grupos retomaram as discussões sobre as patentes e o motor composto.

A rede construída durante a dinâmica via *jamboard* do *google meet* por essa turma está apresentada na figura 39.

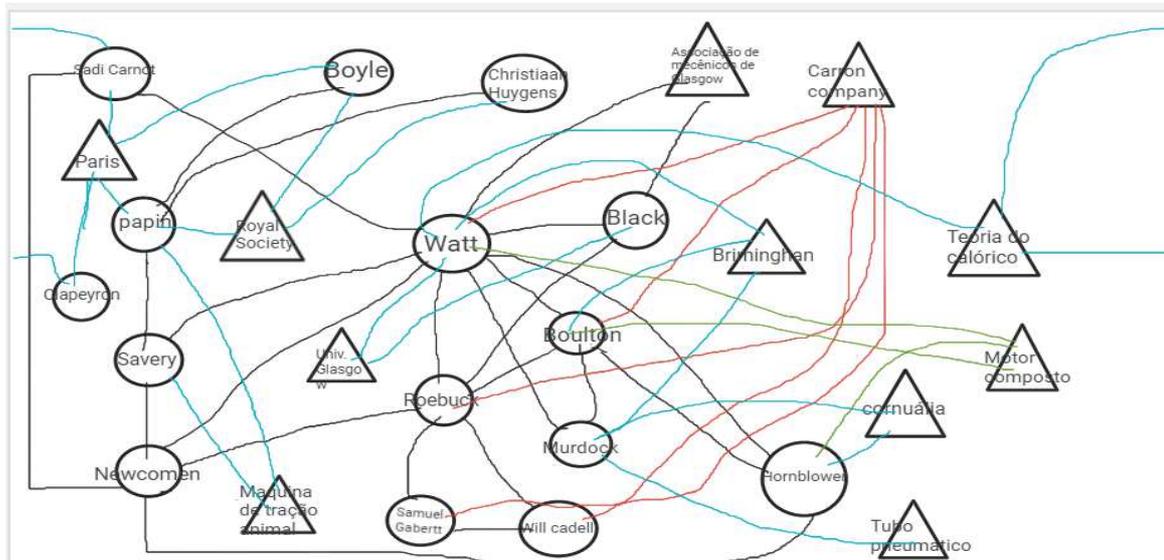


Figura 39- Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da TurmaY.

Fonte: A Autora (2021).

Esta mesma rede da figura 39 foi tratada a partir do *Software Gephi 9.0* dando origem à imagem apresentada na figura 40.

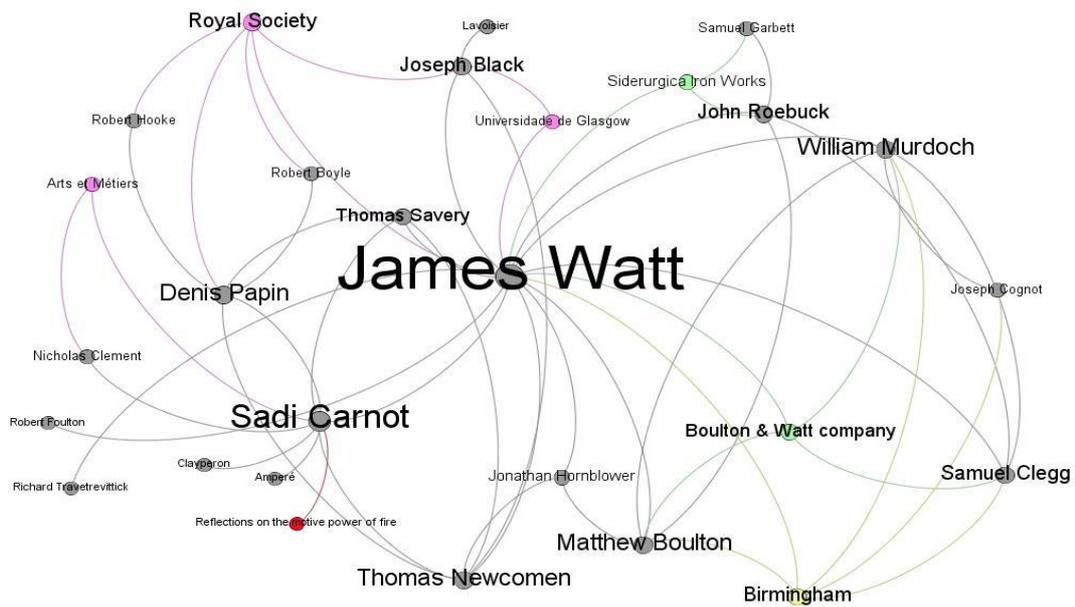


Figura 40 - Rede de atores humanos e não humanos construída pelos estudantes da Turma Y, tratada no *Gephi*.

Fonte: A Autora (2021).

7.0 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como objetivo principal, a construção de um produto educacional que envolvesse um percurso metodológico que proporcionasse aos estudantes uma compreensão da ciência como um empreendimento humano. Recentemente publicado na *Science* um editorial com o título “*It matters who does science*” (2023), H. Holden Thorp coloca sua preocupação com o entendimento distorcido sobre aspectos humanos do fazer científico. Assim como Alcantara e Moura (2022), o autor coloca que muitas vezes o próprio professor e pesquisador da área de ciências, com receio de causar desconfiças por parte dos estudantes e do público geral, prefere sustentar uma imagem romântica da ciência, que nunca erra, e que é baseada em gênios e descobertas casuais, do que trabalhar a ciência a partir de uma visão da ciência conectada, que influencia e sofre influência de diversos aspectos sociais e culturais, que muitas vezes são tidos como invisíveis à ciência. E, com isso, promover o ensino sobre a ciência.

Todas as etapas do produto apresentado nesta dissertação foram elaboradas a fim de atingir os objetivos supracitados. Por isso, antes de aplicarmos o produto final, fizemos a aplicação de um projeto piloto, com o qual pudemos verificar as potencialidades da nossa proposta, os resultados dessa aplicação foram apresentados no XVIII EPEF (OLIVEIRA; ALCANTARA; MARROCO & GONÇALVES, 2020). Desde o projeto piloto, selecionamos atores, para os temas da pesquisa historiográfica, que não fossem comumente relacionados com o advento das máquinas a vapor, para assim, proporcionar aos estudantes uma maior imersão nos mais variados aspectos desse advento.

Uma das principais diferenças do projeto piloto para o produto final foi a modalidade de aplicação, uma vez que a aplicação do produto final ocorreu de maneira remota devido a pandemia do COVID -19. Essa diferença impactou, de certa forma, o comportamento dos estudantes frente ao desenvolvimento das pesquisas historiográficas. Como exemplo, no projeto piloto os estudantes tinham uma maior interação com os membros dos outros grupos, com isso os estudantes relataram, já no segundo encontro, que haviam identificado a relação do seu tema com o tema dos outros grupos. Outra diferença foi na construção das redes finais, que de maneira presencial ocorreu com mais discussões, já na remota os estudantes buscaram defender mais as conexões estabelecidas pelo seu ator.

Um ponto positivo da aplicação remota do produto, é a otimização do tempo, já que não demanda deslocamento para as reuniões e a facilidade em registrar as reuniões. Outro aspecto positivo foi a elaboração dos vídeos pelos estudantes, que mostraram muita habilidade na

execução dessa atividade, e o mais importante, se mostraram motivados em construir um vídeo informativo, direto e didático.

A partir da análise do discurso dos estudantes, durante toda a aplicação do produto final, verificamos elementos que indicam o desenvolvimento de suas habilidades, relacionadas à compreensão de aspectos da NdC.

Com base nos resultados apresentados no capítulo 6, podemos identificar que, na primeira reunião (subcapítulo-6.1.1), após quinze dias do início da pesquisa historiográfica dos estudantes, muitos grupos relataram não terem encontrado relações entre o seu ator e o desenvolvimento das máquinas a vapor. Os temas cujo atores, por mais que não estejam comumente associados ao advento, em suas biografias indicavam alguma relação direta com as máquinas, como Denis Papin, Boulton e Roebuck, evidenciaram algumas relações. Foi possível perceber, nesse primeiro contato, que alguns grupos buscavam alguma informação que colocassem o seu ator como fundamental e evidente para o advento das máquinas a vapor.

Já no segundo encontro com os grupos (subcapítulo-6.1.2), o número de conexões dos temas a outros atores ou elementos relacionados ao advento das máquinas a vapor, aumentou. Mas através das falas dos estudantes é possível perceber que alguns deles ainda se mostravam inseguros no estabelecimento de relações entre seus temas e outros atores, buscando relacioná-los, principalmente, com algum feito grandioso de sua biografia. Evidenciaram as instituições de ensino ao qual os atores faziam parte, ou aos “cientistas” com os quais eles se relacionavam, mesmo que esses elementos não tivessem relação com as máquinas a vapor. As relações empresariais e de financiamento foram expostas em maior número, mas em alguns casos, sem expor as motivações dos indivíduos envolvidos na parceria.

Na terceira reunião (subcapítulo-6.1.3) e nos vídeos apresentados (subcapítulo-6.2) pelos estudantes, já é possível perceber como eles 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 máquinas a vapor. Nesse momento, outros elementos como autoria das máquinas, o porquê elas foram desenvolvidas, o estabelecimento de empresas, as condições e motivações que levaram os atores a se relacionarem, a relação entre a abundância do carvão na região onde determinada empresa foi construída, a guerra das patentes, a busca pelo desenvolvimento de uma ciência que justificasse o funcionamento das máquinas, entre outros aspectos, foram abordados pelos estudantes.

Na construção da rede final (subcapítulo-6.3), por cada turma, foi possível perceber, que os estudantes, munidos das informações dos demais grupos, conseguiram relacionar seus temas ao tema dos outros grupos. Nesse momento, é que podemos perceber como alguns estudantes

se apropriaram da compreensão dos aspectos da NdC, para formulação de argumentos que justificassem a inserção de atores ou relações à rede, ou ainda, para argumentar quando alguma inserção gerou discussões.

Um dos pontos negativos da construção das redes gerais de maneira remota é a dificuldade de acompanhar as reações e a participação dos estudantes, ainda que seja possível vê-los e se comunicar com eles via *chat*, os estudantes mais tímidos ou desmotivados acabaram não participando significativamente da dinâmica.

É importante mencionar que as redes refletem a forma como cada turma compreende o advento das máquinas a vapor, como os estudantes se articulam, entre outros diversos fatores, e que por isso, a rede em si, não é o elemento principal de análise dos resultados da aplicação do produto, mas sim os argumentos utilizados pelos estudantes na sua construção. Ainda assim, uma rede que conta com muitas conexões, reflete a percepção dos estudantes de que um advento científico e tecnológico é complexo e envolve inúmeras relações.

Finalmente, podemos concluir que todo o percurso metodológico contribuiu positivamente para compreensão dos aspectos da Natureza da Ciência e que essa proposta permite que os estudantes participem ativamente da construção dessa compreensão. Ao imergir os estudantes em uma pesquisa historiográfica voltada para o estabelecimento de relações, um advento que muitas vezes, nos materiais didáticos da escola básica, está resumida a invenção de três máquinas, e que a partir disso a indústria se revolucionou, se revelou extremamente conectado. Proporcionando assim, uma visão da ciência feita por diversos indivíduos e fatores, sendo ela um produto humano, social, cultural e econômico. Ao compreender a ciência, dessa forma, dentro de um recorte histórico, é natural supor que os estudantes compreendam, também, que os demais adventos científicos ocorrem também de forma complexa e conectada.

REFERÊNCIAS

- ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, N. 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, jul. 2000.
- 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, M. C.; MOURA, B. A. Os caminhos da história da ciência na revista A Física na Escola. **A Física na Escola**. v. 20. n. 1, p. 21096-1 – 21096-5. 2022.
- ALLEN, R. C. Why the industrial revolution was British: commerce, induced invention, and the scientific revolution. **The Economic History Review**, Vol. 64, No. 2, pp. 357-384, May 2011.
- AHNERT, Ruth. **Maps versus Networks**. In: RAYMOND, Joad; MOXHAM, Noah. News Networks in Early Modern Europe. Leiden: Brill, 2016. p. 130-157.
- AKITA, S. Introduction to the Special Issue. **The East Asian Journal of British History**, vol. 5, p. 1-2, maio 2016. Disponível em: <https://www.easbh.org/>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science Education**, v. 95, p. 518-542, mar. 2011.
- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, Dordrecht, v. 13, p. 179-195, abr. 2004.
- ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P.; MCCOMAS, W. F. The nature of Science in Science education: An introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, p. 511-532, nov. 1998.
- ANDREW, J. H.; ALLEN, J. S. A Confirmation of the Location of the 1712 'Dudley Castle' Newcomen Engine at Coneygree, Tipton. **The International Journal for the History of Engineering & Technology**, v. 79, n. 2, p. 174-182, 2009. DOI: 10.1179/175812109X449603
- BARABASI, A.; ALBERT, **Network Science**. 2016. Disponível em: <http://networksciencebook.com/>. Acesso em: 20 maio 2020.
- BARABÁSI, A.; ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**. Nova York, v. 286, p. 509-512, out. 1999.
- BARABÁSI, A.; ALBERT, R; JEONG, H. Scale-free characteristics of random networks: the topology of the world-wide web. **Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications**. Nova York, v. 281, nº. 1-4, p. 69-77, 2000.
- BARABÁSI, Albert-László. **Linked: The New Science of Networks**. Perseus, Cambridge, 2009.

- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Edições 70: São Paulo, 2016.
- BLACK, N. H.; DAVIS, H. N. **Practical physics for secondary schools**; fundamental principles and applications to daily life. New York: The Macmillan Company, 1913, p. 219.
- BORGES, D. B. S. **A construção de uma abordagem histórica para o ensino da termodinâmica**: Sadi Carnot e o estudo da máquina térmica. Dissertação (Mestrado em Ensino, História e Filosofia das Ciências e da Matemática) - Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.
- BORGES, D. B. S.; FORATO, T. C. M. Ciência e sociedade: retratos da história da termodinâmica na Arte. In: MOURA, B. A.; FORATO, T. C. M. (orgs.). **Histórias das ciências, epistemologia, gênero e arte: ensaios para a formação de professores** [online]. São Bernardo do Campo, SP: Editora UFABC, 2017, p. 139-161.
- BRAGA, W. F. **A ciência da termodinâmica**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://wbraga.usuarios.rdc.puc-rio.br/termo/hist/hist.htm>. Acesso em: 18 mai. 2023.
- CARNOT, Sadi. **Réflexion sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance**. Paris: Chez Bachelier libraire, 1872.
- COFRÉ, H. et al. A Critical Review of Students' and Teachers' Understandings of Nature of Science. **Sci & Educ**, v. 28, p. 205-248, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00051-3>. Acesso em: data de acesso.
- CORFIELD, B. Thomas Newcomen the Man. **The International Journal for the History of Engineering & Technology**, vol. 83, p. 209-221, julho 2013.
- DICKINSON, H. Tercentenary of Denis Papin. **Nature**, vol. 160, p. 422-423, 1947.
- DICKINSON, H. **A short history of the steam engine**. Cambridge Library Collection - Technology. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- DICKSON, M. G. The Factory Worker's Philosophy. **The Sociological Review**, vol. 28, p. 295-312, julho de 1936.
- DÜRING, M. Historical research in network. Analysis of networks in historical disciplines. **Journal of Historical Network Research**. Luxemburgo, 2017. Disponível em: <https://jhnr.uni.lu/index.php/jhnr/about>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ENTI, P. Leibniz, Papin and the Steam Engine: A Case Study Of British Sabotage of Science. **Fusion Magazine**, dezembro de 1979. Disponível em: https://archive.schillerinstitute.com/educ/pedagogy/steam_engine.html. Acesso em: 04 jun. 2021.
- ERERDÖSDOS, P.; RÈNYI, A. On the central limit theorem fur samples from; I finite pupulation. **Mathematical Institute of the Fluxgarzall**, Hungria Ices. 4, 49-61, 1959.

- ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs; **the Hungarian Academy of Sciences**, Hungria, 1960.
- ERICKISON, B. H. Culture, Class, and Connections. **American Journal of Sociology**. Chicago, v. 102, nº. 1, p. 217-251, jul. 1996. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2782191>>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ERICKISON, B. H. Social Networks and History: A Review Essay. **Historical Methods. A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History**. v. 30, nº. 3, p. 149-157, 1997.
- FIGUIER, L. Voir Supplément à la Machine à vapeur. In: _____. **Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes**. Paris: Furne, Jouvet et Cie, 1867, p. 3-148.
- 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.
- GALILI, I. Towards a Refined Depiction of Nature of Science: Applications to Physics Education. **Sci & Educ**, v. 28, p. 503-537, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00042-4>.
- GRANOVETTER, M. S. The Strength of Weak Ties. **American Journal of Sociology**, Chicago, v. 78, n. 6, maio, 1973
- GREENER, J. The First and Third Engines. **The International Journal for the History of Engineering & Technology**, vol. 88, p. 80-111, 2018. Disponível em: <<https://www.universitystory.gla.ac.uk/biography/?id=WH2462&type=P>>. Acesso em: 5 out. 2021.
- HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. **Sci & Educ**, v. 24, p. 349–385, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9737-3>.
- HESSEN, B. As raízes sócio-econômicas dos Principia de Newton. In: GAMA, Ruy (org.). **Ciência e Técnica: antologia de textos históricos**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.
- HILLS, R. L. **Power in the Industrial Revolution**. Universidade de Manchester. 1970.
- HOBSBAWM, E. J. **A era das revoluções**. 9.ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- HOWARD, S. W. **Jabez Carter Hornblower**, Engineer and Inventor (1744-1814). Penrosefam, julho de 2009. Disponível em: <https://penwood.famroots.org/jabez-carter-hornblower-7-27-09.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2021.
- INNES, J. Networks in British History. **The East Asian Journal of British History**, vol. 5, p. 50-72, maio 2016. Disponível em: <https://www.easbh.org/>. Acesso em: 20 set. 2021.
- IRZIK, G.; NOLA, R. A family resemblance approach to the nature of science for science education. **Science & Education**, Dordrecht, v. 20, n. 7-8, p. 591-607, July 2011.
- JARDIM, Wagner Tadeu. **Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões históricas e contemporâneas através da história cultural da ciência**. 2019. Tese (Doutorado em

Ciência, Tecnologia e Educação) - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

- KARAIVANOV, Alexander. A Social Network Model of COVID-19. **Simon Fraser University**. Disponível em: <http://www.sfu.ca/~akaraiva/Karaivanov_covid2020.pdf>. Acesso em: out. 2020.
- KELLY, M. **The non-rotative beam engine**. Great Britain: British Library, 2002.
- KERKER, M. "Science and the Steam Engine". **Technology and Culture**. JSTOR, vol. 2, n°. 4, p. 381-390, 1961. Disponível em: <www.jstor.org/stable/3100893>. Acesso em: 08 abr. 2021.
- KHISHFE, R. Improving Students' Conceptions of Nature of Science: A Review of the Literature. **Science & Education**, 2022.
- KITSIKOPOULOS, H. From Hero to Newcomer: The Critical Scientific and Technological Developments That Led to the Invention of the Steam Engine. **Proceedings of the American Philosophical Society**, vol. 157, n°. 3, 2013.
- KLINGENDER, Francis D. **Art in the industrial revolution**. Paladin, 1975.
- KOOIJ, B. J. G. **The Invention of the Steam Engine**. Createspace Independent Publishing Platform, 1ª ed., janeiro 2015.
- KOPONEN, I. T.; MÄNTYLÄ, T. Editorial: Networks Applied in Science Education Research. **Educ. Sci.**, v. 10, p. 142, 2020.
- KUCHLER, T. D.; RUSSEL; STROEBEL, J. The geographic spread of COVID-19 correlates with structure of social networks as measured by Facebook, **National Bureau of Economic Research**. n° 26990, 2020. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/nbr/nberwo/26990.html>. Acesso em: 06 jan. 2021.
- LATOURE, B. **Ciência em ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. 2. ed. São Paulo: Editora da UNESP, 2011.
- LEDERMAN, N. G. et al. Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.
- LEDERMAN, N. G. Nature of science: Past, present, and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). **Handbook of research on science education**. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2007. p. 831-879.
- LOMMI, H.; KOPONEN, I. "Network cartography of university students' knowledge landscapes about the history of science: landmarks and thematic communities". **Applied Network Science**, v. 4, p. 6, 2019.

- MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no Ensino de Ciências: uma proposta baseada em "temas" e "questões". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 3, p. 703-737, maio 2015.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 11, n. 3, p. 285-312, dez. 1994.
- MENDOZA, E. **Reflections on the Motive Power of Fire, by Sadi Carnot and other Paper on the Second Law of Thermodynamics. by E. Clapeyron and R. Clausius.** New York: Dover Publications, 1988.
- MERTON, R. K. Science, technology and society in seventeenth century England. **Osiris**, vol. 4, p. 360-632, 1938. Disponível em: <journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/368484>. Acesso em: 20 set. 2021.
- MERTON, R. K. Science, technology and society in seventeenth century England. **Osiris**, vol. 4, p. 360-632, 1938.
- MILLGRAM, S. Milgram, The Small World. **Psychol. Today**. Califórnia, v. 1, n° 1, p. 61-67, maio 1967. Disponível em: <http://snap.stanford.edu/class/cs224w-readings/milgram67smallworld.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.
- MORENO, J. L. **Who shall survive?** Foundations of Sociometry, Group Psychotherapy and Sociodrama. 3ª ed. Beacon: Beacon House Inc, 1798.
- MOURA, Breno Arsioli. **Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência.** 2012. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/T.81.2012.tde-28092012-143219.
- MURDOCH, A. England, Scotland, and the Acts of Union (1707). **Dicionário Oxford de Biografia Nacional**. Janeiro de 2007. Disponível em: <https://www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-96282>. Acesso em: 28 out. 2021.
- NASCIMENTO, J. R. **Sadi Carnot:** Uma breve discussão sobre sua contribuição para o aperfeiçoamento das máquinas a vapor e para o desenvolvimento da termodinâmica. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, 2023.
- NOURI, N.; MCCOMAS, W. F.; APONTE-MARTINEZ, G. J. Fundamentos e estratégias dos instrutores para o ensino de história da ciência em ambientes de pré-serviço. **Sci & Educ**, v. 28, p. 367-389, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00055-z>
- NUVOLARI, A.; VERSPAGEM, B.; TUNZELMANN, N. The Diffusion of the Steam Engine in Eighteenth-Century Britain. **Applied Evolutionary Economics and the Knowledge-based Economy**, fevereiro, 2003.

- SANTOS, Fernanda Marsaro dos. Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin. Resenha de: [BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011, 229p]. Revista Eletrônica de Educação. São Carlos, SP: UFSCar, v.6, no. 1, p.383-387, mai. 2012. Disponível em: <http://www.reveduc.ufscar.br>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- OLIVEIRA, S. S.; ALCANTARA, M. C.; MAROCCO, B. T.; GONCALVES, B. Tecendo elementos sociais da ciência a partir de grupos colaborativos: máquinas a vapor. In: **XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis, 2020. Caderno de Resumos EPEF 2020.
- OSBORNE, J.; COLLINS, S.; RATCLIFFE, M.; MILLAR, R.; DUSCHL, R. What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, p. 692-720, 2003. Available at: <https://doi.org/10.1002/tea.10105>.
- PAINTER, D. T.; DANIELS, B. C.; JOST, J. Network Analysis for the Digital Humanities: Principles, Problems, Extensions. **Isis**. vol. 110, n° 3, p. 538-554, set. 2019. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/705532>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- PAPIN, D. Une nouvelle façon d'élever l'eau. **Phil. Trans. R. Soc.**, vol. 15, p. 1093-1094, julho 1685. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1685.0052>. Acesso em: 20 jul. 2021.
- PÉREZ, D. G. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, 2001.
- RATCLIFFE, M.; GRACE, M. **Science education for citizenship: Teaching socio-scientific issues**. McGraw-Hill Education, 2003.
- RYDER, J. Identifying Science Understanding for Functional Scientific Literacy. **Studies in Science Education**, v. 36, p. 1-44, 2001.
- SAVERY, T. **The Miner's Friend: Or, an Engine to Raise Water by Fire**. 1702. S. Crouch. Londres: 1827.
- SCHICH, M. et al. A network framework of cultural history. **Science**, v. 345, p. 558-562, ago. 2014.
- SCHMIDT, Maria Luiza Gava. Algumas reflexões acerca da construção e contribuições da teoria sociônômica. **Psicol. Am. Lat.**, México, n. 11, setembro, 2007.
- SILVA, A.; FERREIRA, M. Gestão do conhecimento e capital social: as redes e sua importância para as empresas. **Informação & Informação**. Londrina, vol. 12, 2007.
- SILVA, G. R.; ERROBIDART, N. C. G. Termodinâmica e Revolução Industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. **História da Ciência e Ensino**, vol. 19, p. 71-97, julho, 2019.
- SMEATON, J. An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion. **Trans. R. Soc.**, vol. 51, janeiro 1759.

Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1759.0019>. Acesso em: 05 out. 2021.

STROGATZ, S. H.; WATTS, D. J. Collective dynamics of 'small-world' networks. **Nature**. v. 393, p. 440-442, jun. 1998.

THOMPSON, E. P. **Costumes em comum**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

THURSTON, R. H. **A History of the Growth of the Steam-Engine**. New York: D. Appleton and Company, 1878.

TOMAÉL, M. I.; MARTELETO, R. M. Redes sociais: posições dos atores no fluxo da informação. Encontros Bibli: **revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**. Florianópolis, p. 75-91, jul. 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2006v11nesp1p75/387>. Acesso em: 28 maio 2020.

THORP, H. Holden. It matters who does science. **Science**, v. 380, p. 873-873, 2023. DOI: 10.1126/science.adi9021

USHER, A. P. **A History of Mechanical Inventions**. Cambridge, Mass., 1954.

VALENTI, P. **Leibniz, Papin e The Steam Engine**. Fusion Magazine, 1979. Disponível em: https://archive.schillerinstitute.com/educ/pedagogy/steam_engine.html. Acesso em: 4 jun. 2023.

WATTS, D. A twenty-first century science. **Nature**, v. 445, p. 489, 2007. DOI: 10.1038/445489a

WATTS, Duncan J. **Six Degrees: The Science of a Connected Age**. William Heinemann, Londres, 2003.

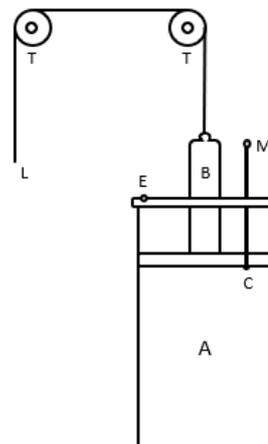
WEEKS, L. H. **Automobile Biographies**. New York: The monograph press, 1904. Disponível em: <https://www.gutenberg.org/files/41891/41891-h/41891-h.htm>. Acesso em: 01 out. 2021.

WETHERELL, C. Historical Social Network Analysis. **International Review of Social History**. v. 43, p. 125-144, 1998.

APÊNDICE 1 – DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DAS MÁQUINAS A VAPOR

- Dispositivo proposto por Denis Papin em 1690.

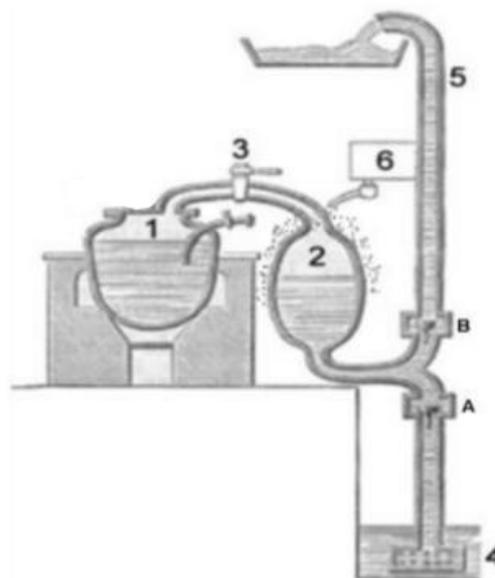
Em um cilindro A, onde uma fina camada de água era adicionada, ao ser levada a chama, o vapor gerado levantava um pistão B, por um orifício C parte desse vapor podia ser eliminado. Ao cobrir o orifício C com a haste M, e inserir uma outra haste no orifício E, a posição do pistão B era fixada, então o fogareiro deveria ser retirado, com isso o cilindro se resfriaria e pela condensação do vapor, nas paredes do cilindro A, o vácuo seria gerado. Para finalizar, o orifício E era liberado e a pressão atmosférica era responsável por empurrar o pistão para baixo, sendo possível assim, levantar pesos acoplados à polia L.



- Máquina de Thomas Savery, 1702.

Sua máquina a vapor, continha uma caldeira, com água, 1, que ao ser aquecida gerava vapor, ao abrir a válvula 3, o vapor ia para o recipiente metálico 2, também contendo água em seu interior. O vapor pressiona a água do recipiente 2 para o tubo 5, abrindo a válvula b, que se abre de baixo para cima e fechando a válvula a que se fecha de cima para baixo. Com isso a água contida do recipiente 2 é expelida para fora do dispositivo.

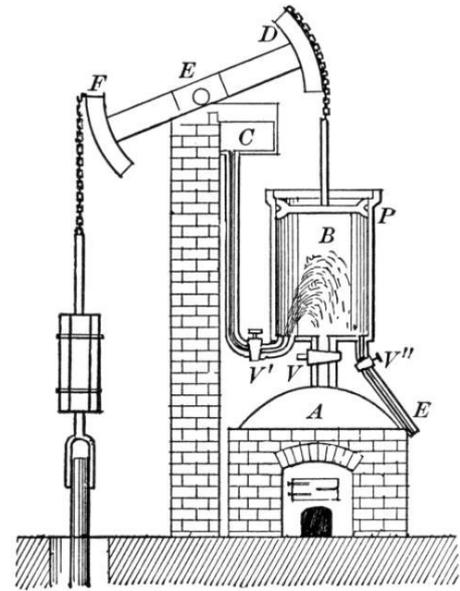
Uma vez esvaziado o recipiente 2, fecha-se a válvula 3, a fim de interceptar a comunicação com a caldeira 1. Nesse momento é aberta uma válvula no recipiente 6, e a água em seu interior, flui continuamente, para o reservatório 2. O que faz com que o vapor em seu interior se condense, gerando vácuo. Devido a ação da pressão atmosférica e o vácuo no interior do reservatório, a válvula a se abre pelo influxo de água, que corre através de um tubo, do interior da mina 4, para o reservatório 2. Então abre-se novamente a válvula 3, fecha-se a válvula do recipiente 6, e todo o processo se repete.



- Máquina de Thomas Newcomen, 1712.

Nesta máquina, o vapor era gerado na caldeira A. Ao abrir a válvula V, o vapor movimentava o pistão P, dentro do cilindro B. Após isso, a válvula V era fechada e a V' era aberta, injetando a água armazenada no recipiente C, no interior do cilindro B. Condensando o vapor contido em B, reduzindo assim a pressão interna.

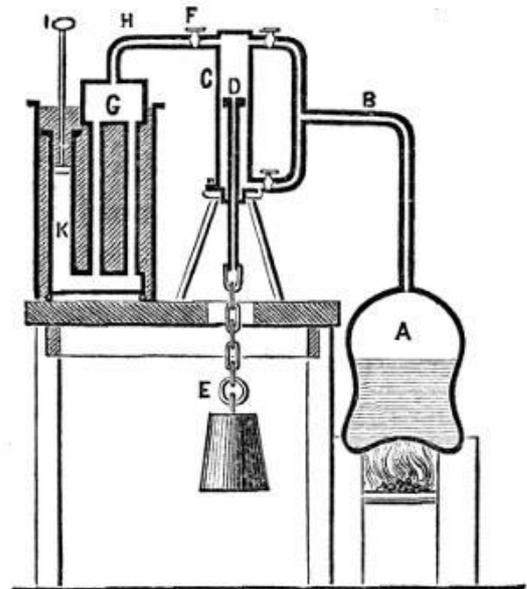
A pressão atmosférica era responsável por empurrar o pistão para baixo. Havia uma válvula V'' para retirar a água do interior de B. Para iniciar novamente o processo, bastava fechar a válvula V' e abrir V. Eles conectaram uma haste a D ao pistão e a uma viga E, conectada a outra haste F, ligada à saída da mina. O que permitia a elevação da água.



Fonte: Newton Henry Black, p. 219 (1913).

- Modelo experimental de James Watt, 1765.

Neste modelo, G representa o condensador separado, e o movimento do pistão D, já não dependia da pressão atmosférica, como os motores desenvolvidos até então. O pistão se movia pela força elástica de vapor, produzida na caldeira A. Retornava à posição inicial ao abrir válvulas, que faziam com que a parte superior e inferior do cilindro estivesse sob a mesma pressão, permitindo o livre movimento do pistão devido ao peso E, para isso a válvula F era fechada. O vapor contido no condensador era resfriado gerando vácuo. E assim, ao abrir a válvula F e a válvula na parte inferior do cilindro, fechando a válvula na parte superior, o processo se iniciava.



APÊNDICE 2 – ORGANIZAÇÃO DAS ATIVIDADES.

Organização das atividades

Turmas envolvidas no projeto:

Turma	Sigla	Dia e horário das aulas	Quantidade de estudantes
2° TURMA X	X	Sex - 8:40	30
2° TURMA Y	Y	Sex - 10: 35	29

Cronograma das atividades/datas importantes:

1° Aula síncrona: Apresentação e explicação do projeto, divisão dos temas e grupos.

07/01 - 10:35

08/01 - 08:40

08/01 - 10:35

2° Encontros com os grupos: Encontros com duração máxima de 15 min, preferencialmente 10 min. Horários e datas a serem agendadas com cada grupo. Todos os encontros serão registrados por meio de relatórios (Vide relatórios das reuniões) e imagens.

1° Semana: 18/01 a 22/01

2° Semana: 01/02 a 05/02

3° Semana: 15/02 a 19/02

3° Disponibilização dos vídeos: Os vídeos serão recebidos até o dia **23/02** e serão postados até o dia 25/02, para acesso dos alunos de cada turma. Os vídeos serão disponibilizados em um canal do YouTube (endereço...) e os acessos serão contabilizados.

4° Dinâmica de grupo: Construção das redes históricas, aula síncrona.

05/03

05/03

5° Análise das redes: Desenvolvimento de um vídeo (até dia **10/03**) com a análise das redes que farão parte de uma aula assíncrona.

11/03

12/03

APÊNDICE 3 – 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:

MNPEF MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA
POLO 24 - UFJF / IF Sudeste-MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Shaiane Silva de Oliveira e Costa

PRODUTO EDUCACIONAL

**A CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE REDES HISTÓRICAS PARA O ENSINO DE
FÍSICA: MÁQUINAS A VAPOR.**

Juiz de Fora
2023

PRODUTO EDUCACIONAL:

Sequência didática para explorar aspectos da Natureza da Ciência a partir da construção e análise de redes históricas do advento das Máquinas a Vapor

Produto Didático elaborado pela aluna Shaiane Silva de Oliveira e Costa para apresentação junto à dissertação “A construção e a análise de redes históricas para o ensino de Física: Máquinas a vapor”, 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	4
1 FORMATO DA PRIMEIRA AULA	6
1.1 Identificação	6
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Metodologia.....	6
1.4 Recursos Utilizados	7
1.5 Proposta de Avaliação	7
2 ROTEIRO DOS ENCONTROS COM OS GRUPOS.....	8
2.1 Objetivos gerais	9
2.3 Objetivos específicos.....	9
2.4 Metas gerais para cada reunião.....	10
2.5 Recursos utilizados	10
2.6 Proposta de Avaliação	10
3 RECEBIMENTO E DISPONIBILIZAÇÃO DOS VÍDEOS DESENVOLVIDOS PELOS GRUPOS.	11
3.1 Orientações para a elaboração e recebimento dos vídeos:	11
3.2 Orientações para a verificação dos vídeos:.....	11
3.3 Disponibilização dos vídeos:.....	11
4 PLANO DE AULA - CONSTRUÇÃO DA REDE HISTÓRICA GERAL	13
4.1 Identificação	13
4.2 Objetivos.....	13
4.3 Metodologia.....	13
4.4 Recursos Utilizados	14
4.5 Proposta de Avaliação	14
5 PLANO DE AULA - ANÁLISE DA REDE CONSTRUÍDA PELA TURMA.....	15
5.1 Identificação	15
5.2 Objetivos.....	15
5.3 Metodologia.....	15
5.4 Recursos Utilizados	15
5.5 Proposta de Avaliação	15
6 RECORTE HISTORIOGRÁFICO	16
APÊNDICE 1 – FICHA DE ACOMPANHAMENTO DAS REUNIÕES.....	22

Sequência didática para explorar aspectos da Natureza da Ciência a partir da construção e análise de redes históricas do advento das Máquinas a Vapor.

Prof.^a Shaiane Silva de Oliveira e Costa

Prof. Dr. Marlon Cesar de Alcantara

INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi elaborado com o intuito de proporcionar o desenvolvimento de habilidades voltadas para a compreensão de aspectos da Natureza da Ciência de maneira ativa. Para tanto, observamos e aplicamos as recomendações relativas ao ensino da história e da ciência encontradas no trabalho de Forato, Martins e Pietrocola (2011). Nossa metodologia de trabalho está na construção e análise de redes históricas proposta por Alcantara (2018). O trabalho está imerso no recorte histórico que abrange o advento das máquinas a vapor nos séculos XVIII e XIX. Espera-se que os estudantes, desde a imersão na pesquisa historiográfica até a construção das redes, sejam capazes de compreender a ciência como um empreendimento humano, como relatado e defendido na dissertação de mestrado que acompanha este produto educacional (OLIVEIRA, 2023). O percurso metodológico a seguir com este produto, visa dar autonomia aos estudantes, tendo o(a) professor(a) o papel de mediador(a), e conta com: a organização dos estudantes em grupos colaborativos, reuniões de mediação da pesquisa com os grupos, elaboração de vídeos ou¹ apresentações com a construção de redes EGO pelos grupos, construção da rede histórica por toda a turma e, finalmente, a análise da rede. Com o objetivo de fornecer suporte aos professores, foi elaborado um texto de cunho histórico (capítulo 5 da dissertação) que aborda o surgimento das máquinas a vapor, por meio da perspectiva da Pesquisa em Redes Históricas, com o intuito de explorar as interações entre atores humanos e não humanos. Este produto apresenta o plano de aula da aula introdutória, a escolha dos temas, o roteiro e cronograma para as reuniões com os grupos, o plano de aula da construção das redes, o plano de aula da análise de redes, com uma breve exposição do conceito de redes e de seus elementos básicos. É importante destacar que para a aplicação deste produto é necessário que o(a) professor(a) esteja munido(a) substancialmente de conhecimento prévio sobre o recorte histórico selecionado, para que assim, seja capaz

¹ A metodologia adotada na reprodução desse produto possibilita a sua adequação ao ambiente escolar em que for aplicado.

de auxiliar os estudantes no esclarecimento de dúvidas e na mediação da pesquisa. Por isso, além da sequência metodológica de aplicação, este produto conta com um texto histórico, escrito em uma perspectiva não linear, de forma a evidenciar as diversas conexões - muitas delas, por vezes, invisíveis à ciência - que contribuíram para o advento das máquinas a vapor.

Segue abaixo o cronograma e a organização das atividades desenvolvidas durante a aplicação do produto, essa organização foi previamente disponibilizada para os estudantes.

**Organização das atividades
Turmas envolvidas no projeto:**

Turma	Dia e horário das aulas	Quantidade de estudantes
X	Sex - 8:40	30
Y	Sex - 10: 35	30

Cronograma das atividades/datas importantes:

1º Aula síncrona: Apresentação e explicação do projeto, divisão dos temas e grupos.

07/01 - 08:40

07/01 - 10:35

2º Encontros com os grupos: Encontros com duração máxima de 15 min, preferencialmente 10 min. Horários e datas a serem agendadas com cada grupo. Todos os encontros serão registrados por meio de relatórios (Vide relatórios das reuniões) e imagens.

1º Semana: 18/01 a 22/01

2º Semana: 01/02 a 05/02

3º Semana: 15/02 a 19/02

3º Disponibilização dos vídeos: Os vídeos serão recebidos até o dia **23/02** e serão postados até o dia 25/02, para acesso dos alunos de cada turma. Os vídeos serão disponibilizados em um canal do YouTube e os acessos serão contabilizados.

4º Dinâmica de grupo: Construção das redes históricas, aula síncrona.

04/03

05/03

5º Análise das redes: Desenvolvimento de um vídeo (até dia **10/03**) com a análise das redes que farão parte de uma aula assíncrona.

11/03

12/03

Observações: as atividades serão desenvolvidas em dois bimestres. No terceiro bimestre ocorrerão a 1º aula síncrona e o primeiro encontro com os grupos, no quarto bimestre as demais atividades.

1 FORMATO DA PRIMEIRA AULA

1.1 Identificação

Nível: Ensino Médio;

Modalidade: Remota - Aula síncrona;

Tema: Apresentação do trabalho e conceitos básicos de redes;

Duração: 50 minutos.

1.2 Objetivos

- Apresentação do tema e objetivos do trabalho;
- 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

Num primeiro momento, o(a) professor(a) deve apresentar aos estudantes o tema do trabalho, focando no objetivo da pesquisa historiográfica que resultará da construção de uma rede histórica ambientada no advento das máquinas térmicas. Na sequência, deve apresentar a proposta de organização das atividades, bem como o cronograma com as possibilidades de datas para realização dos encontros. Feito isso, o(a) professor(a) deve apresentar os temas, previamente determinados, e iniciar a divisão dos grupos, adotando, para essa divisão, o critério que julgar adequado de acordo com a realidade de cada turma.

Os temas são:

- 1- Desenvolvimento econômico e Social da Inglaterra nos séculos XVIII e XIX;
- 2- Relações entre arte, ciência e tecnologia na Inglaterra dos séculos XVIII e XIX;
- 3- Denis Papin (1647-1713);
- 4- Joseph Black (1728-1799);
- 5- Willian Murdock (1753-1839);
- 6- Sadi Carnot (1796-1832);
- 7- John Roebuck (1718-17940);
- 8- Jonathan Carter Hornblower (1753-1815).

Para a divisão, deve-se atentar em manter a média de estudantes por grupo esteja equilibrada. Com os grupos, temas e cronogramas já definidos, inicia-se a etapa de exposição dos conceitos básicos de uma rede, como a definição de nó, laço e atores, por exemplo. O(a) professor(a), deve então, definir o que é uma rede EGO e estabelecer uma meta para a primeira reunião com os grupos, estabelecendo assim, o início da pesquisa historiográfica.

1.4 Recursos Utilizados

- Dispositivo compatível com chamadas de vídeo e acesso à internet.
- *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 após a primeira aula, até a construção da rede histórica por toda a turma, é direcionado à pesquisa historiográfica, realizada pelos estudantes, dentro do tema definido para cada grupo. Nesse período ocorrem as três reuniões com os grupos, que devem ser agendadas previamente obedecendo um intervalo entre duas reuniões consecutivas de duas semanas.

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:			

2.1 Objetivos gerais

- Motivar e mediar a pesquisa historiográfica;
- Acompanhar os desdobramentos das pesquisas;
- Esclarecer as dúvidas dos estudantes;
- Auxiliar na checagem de fontes.

2.3 Objetivos específicos

- A primeira reunião com os grupos tem a finalidade de um diagnóstico prévio sobre a concepção dos estudantes sobre o episódio histórico em questão e sobre a suas concepções do que é a ciência. Além disso, serve também para entendermos como cada grupo realiza uma pesquisa historiográfica.
- O objetivo dessas reuniões é mediar a pesquisa historiográfica dos estudantes, a cada reunião, o(a) professor(a) deve estabelecer metas para as próximas reuniões, de acordo com o progresso de cada grupo.
- Essas metas devem estar direcionadas à obtenção de informações sobre as relações estabelecidas entre o tema de cada grupo e o advento das máquinas a vapor. Relações que podem ser de diferentes naturezas, como por exemplo, intelectual, empresarial, econômica, científica, desde que os estudantes as julguem relevantes para esse advento.
- Ao final dessas reuniões é esperado que os estudantes tenham construído, ou sejam capazes de construir, um vídeo que evidencie as conexões estabelecidas entre o seu ator/tema, com o advento das máquinas a vapor, além da construção de uma rede EGO, que traz seu ator como nó central, a partir do qual são formados laços com diferentes outros atores.

2.4 Metas gerais para cada reunião

- 1º Reunião: Levantamento bibliográfico, ou geral, dos temas a fim de compreender como cada tema se relaciona com as máquinas a vapor e exposição dos links ou documentos que serviram de base para a pesquisa até então.
- 2º Reunião: Estabelecimento das relações entre cada tema e o advento das máquinas a vapor e representação gráfica dessas representações;
- 3º Reunião: Construção de uma apresentação evidenciando as relações do seu tema com o advento das máquinas a vapor e apresentação da rede EGO de seu tema.

2.5 Recursos utilizados

- Dispositivo compatível com chamadas de vídeo e acesso à internet.
- *Google meet*.

2.6 Proposta de Avaliação

A avaliação desses encontros ocorre de maneira qualitativa e contínua, através da participação e das falas dos estudantes.

3 RECEBIMENTO E DISPONIBILIZAÇÃO DOS VÍDEOS DESENVOLVIDOS PELOS GRUPOS.

3.1 Orientações para a elaboração e recebimento dos vídeos:

- Deve-se estabelecer uma data para que os estudantes enviem os vídeos feitos por eles, de preferência uma semana após a última reunião com os grupos;
- Os vídeos devem possuir duração mínima de 6 minutos e máxima de 10 minutos;
- Os vídeos devem expor as justificativas para as conexões estabelecidas entre cada tema e demais elementos e devem conter a rede EGO de seu tema;
- O recebimento dos vídeos pode ser feito através de recursos como email ou um drive digital (*Google drive, Dropbox, etc.*).

3.2 Orientações para a verificação dos vídeos:

- O(a) professor(a) deve assistir a todos os vídeos antes de disponibilizá-los aos demais estudantes;
- Deve verificar se os vídeos possuem a duração determinada, se estão devidamente identificados, se trazem a rede EGO e as referências utilizadas pelo grupo;
- Ao assistir aos vídeos é importante se atentar se o conteúdo é adequado ao ambiente escolar.

3.3 Disponibilização dos vídeos:

É recomendado que se crie um canal do *YouTube* para facilitar a disponibilização dos vídeos a todos os estudantes da turma.

Existem alguns tutoriais disponíveis na internet que ensinam a criar um canal no *YouTube*, como por exemplo:

- Criar um canal do YouTube. Disponível em: <<https://support.google.com/youtube/answer/1646861?hl=pt-BR>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

- Como configurar e personalizar seu canal. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5OKMXrvxO-0&t=3s>>. Acesso em: 4 jun. 2023.

IMPORTANTE: ao disponibilizar os vídeos no canal do *YouTube*, certifique-se de que os vídeos estão disponíveis como **NÃO-LISTADO**, apenas dessa forma, só quem terá acesso aos vídeos será quem receberá o *link*.

Feito isso, os estudantes devem receber os *links* dos vídeos que cada grupo da turma e devem assisti-los até o dia anterior a construção da rede geral da turma.

4 PLANO DE AULA - CONSTRUÇÃO DA REDE HISTÓRICA GERAL

4.1 Identificação

Nível: Ensino Médio;

Modalidade: Remota - Aula síncrona;

Tema: Construção da rede histórica geral da turma.

Duração: 50 minutos.

4.2 Objetivos

Construção da rede histórica geral da turma, a partir do estabelecimento de relações entre atores humanos e não humanos, relevantes ao advento das máquinas a vapor.

4.3 Metodologia

Esta aula deve se iniciar com uma pergunta motivadora que dê início a construção da rede. Pergunta motivadora: “Qual ator/personalidade, vocês identificam como mais relevante para o advento das máquinas a vapor?”

Na sequência, o(a) professor(a) deve escrever o nome mais votado pelos estudantes e motivá-los a estabelecer relações de outros atores com o ator inserido. E, assim, conduzir a construção da rede de atores humanos.

Toda inserção de ator ou relação deve ser justificada pelos estudantes, o(a) professor(a) deve atuar apenas como mediador(a) motivando a participação dos estudantes. A cada inserção deve-se perguntar ao restante da turma se todos concordam com aquela justificativa, caso alguém discorde, este deve apresentar uma justificativa para tal e os demais estudantes devem definir se concordam ou não com as justificativas.

Estabelecidas as relações entre atores humanos, o(a) professor(a) deve conduzir os estudantes à inserção de atores não humanos na rede. Assim como os atores humanos, todo novo ator ou relação deve ser apresentado juntamente com uma justificativa. A definição do que pode ser considerado ator não humano também parte dos estudantes.

É muito importante que essa aula seja registrada de alguma forma, seja por gravação da aula ou por anotações.

4.4 Recursos Utilizados

- Dispositivo compatível com chamadas de vídeo e acesso à internet.
- Mesa digitalizadora;
- *Google meet e jamboard.*

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;

Modalidade: Remota - Aula assíncrona;

Tema: Análise da rede histórica geral da turma.

Duração: 50 minutos.

5.2 Objetivos

Analisar e evidenciar as diversas relações estabelecidas pela turma durante a construção da rede geral.

5.3 Metodologia

O(a) professor(a) deve analisar a rede histórica construída pela turma e as relações estabelecidas por eles.

Na sequência, deve indicar os atores que tiveram mais ou menos conexões, de maneira a abordar as características observáveis da rede.

O(a) professor(a) deve evidenciar os elementos da rede e os tipos de relações estabelecidas. E como esses elementos trazem à luz os diversos aspectos da natureza da ciência.

É nesse momento que o(a) professor(a) deve concluir a atividade como um todo desde a pesquisa historiográfica até a construção da rede.

5.4 Recursos Utilizados

- Dispositivo compatível com chamadas de vídeo e acesso à internet.
- Mesa digitalizadora;
- *Google meet e jamboard.*

5.5 Proposta de Avaliação

A avaliação dos estudantes está condicionada ao acesso à aula.

6 RECORTE HISTORIOGRÁFICO

A aplicação deste produto necessita que o(a) professor(a) esteja familiarizado(a) com o recorte histórico que abrange o advento das máquinas a vapor. Desde a motivação para a construção das máquinas, dentro do contexto social, econômico, cultural e histórico em que elas estavam inseridas, até seus impactos e melhorias. Isso porque, a proposta aqui apresentada resulta na compreensão de como diversas relações entre atores humanos e não humanos, foram relevantes para tal advento. Sendo assim, o(a) professor(a) deve ter conhecimento sobre atores que muitas vezes são invisíveis à ciência e a história das máquinas a vapor, mas que são responsáveis por compor o corpo que estrutura esse advento.

Distanciando da narrativa descontextualizada da história das máquinas a vapor presente nos livros didáticos, a dissertação de mestrado que resultou nesse produto educacional, de título “Construção e análise de redes histórias para o ensino de física: Máquinas a vapor.” (OLIVEIRA, 2023), traz um texto histórico que contextualiza variados elementos que foram relevantes para o desenvolvimento e a difusão das máquinas a vapor na Grã Bretanha entres os séculos XVIII e XIX. A rede histórica de atores humanos, apresentada na figura 1, foi construída com base nesse texto histórico, e tratada a partir do *software Gephi 9.0*. Ao tratar os dados nesse *software*, ele organiza as informações de maneira gravitacional, ou seja, aproximando atores pouco conectados dos muito conectados e distanciando os muito conectados uns dos outros. Dessa forma, os atores, na figura 1, foram organizados naturalmente de maneira bem próxima da organização temporal, ficando próximos os atores que compunham o mesmo período histórico.

É importante reforçar que a rede aqui apresentada, como qualquer outra rede histórica, retrata a percepção de quem a construiu, sobre o episódio histórico explorado. Sendo assim, ela é uma representação da complexidade de conexões que permeiam o advento das máquinas a vapor, mas, certamente, não esgota todas as possíveis relações, entre os diversos possíveis atores relevantes a esse período. Nosso objetivo ao apresentá-la, é expor aos professores que desejem reproduzir este produto, o quão complexo é esse recorte histórico, bem como elencar elementos que os auxiliem na condução das pesquisas historiográficas. Para uma compreensão mais ampla das diversas conexões apresentadas, é recomendado que os professores realizem a leitura do texto histórico que serviu de base para construção da rede.

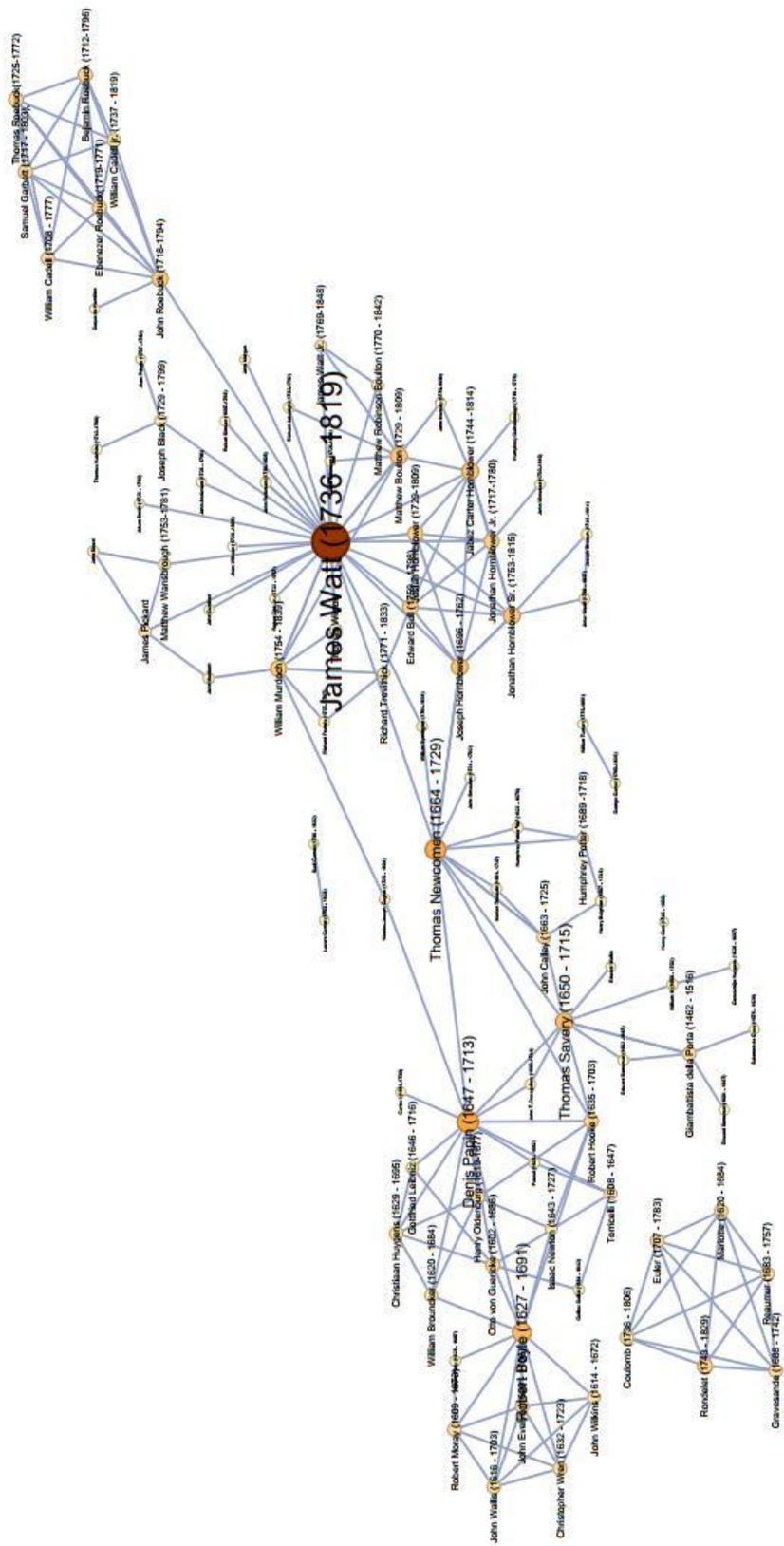


Figura 1- Rede de atores humanos baseada no texto histórico da dissertação de mestrado – Construção e análise de redes históricas para o ensino de física: Máquinas a vapor.

Fonte: A autora, 2023.

Nessa rede, de início, já é possível observar que os atores apresentados nos livros didáticos de maneira descontextualizada, Thomas Savery (1650-1715), Thomas Newcomen (1664 - 1729) e James Watt (1736-1819), são atores que compõe a rede, mas extremamente conectados com diversos outros atores. As relações estabelecidas por esses atores e suas posições na rede, mostram que, primeiro, eles estavam distantes temporalmente e, segundo que eles estavam imersos em dinâmicas diferentes na construção das máquinas a vapor.

Outro elemento importante que pode ser observado na rede, na extremidade esquerda, se encontram nomes relacionados aos estudos sobre a pressão atmosférica e a utilização do vácuo. Nomes como Evangelista Torricelli (1608-1647), Otto von Guericke (1602 - 1686), Robert Hooke (1635 - 1703), Robert Boyle (1627 - 1691), entre outros. Evidenciando que a ciência utilizada na construção das máquinas a vapor já estava bem estabelecida, já no final do século XVII, quando Denis Papin (1647 - 1713), propôs uma máquina que utilizasse o vapor para gerar vácuo. Papin aparece bem conectado, estabelecendo relações de colaboração direta, como com Boyle e Hooke, por exemplo.

Conectado a alguns indivíduos relacionados com os estudos sobre a pressão atmosférica, que também eram membros da *Royal Society*, aparece Thomas Savery (1650-1715), que foi o primeiro a propor e construir uma máquina prática para remover as águas das minas de carvão. Savery se conecta com algumas personalidades que não aparecem conectadas com os demais mencionados, isso porque ele se baseou em alguns dispositivos, já existentes, que eram utilizados para bombear a água em diferentes fins. Os atores conectados a ele, que aparecem abaixo de seu nome, são indivíduos que estavam relacionados ao bombeamento das águas, seja para as residências ou para jardins da aristocracia.

Na sequência, a rede apresenta a relação entre Savery, Tomas Newcomen (1664-1729) e seu sócio, John Calley (1664-1729). Newcomen também se conecta a Hooke, com quem trocava correspondências. Hooke teceu críticas ao dispositivo inventado por Savery a pouca eficiência que ele apresentava. É possível que a relação entre Newcomen e Hooke tenha o colocado frente ao funcionamento das máquinas a vapor propostas até então. Mas além disso, as máquinas de Savery despertaram interesse em trabalhadores de diversas áreas. Newcomen desenvolveu um dispositivo que se mostrou mais eficiente que o de Savery, unindo elementos dessa máquina a elementos da máquina proposta por Papin.

Nessa rede é notável que a região central, onde se encontra Newcomen como o ator mais bem conectado, é a região com a menor densidade de conexões, diferente do que ocorre nas regiões das extremidades. Esse fato apresenta a influência da patente concedida a Savery, que restringia a construção de qualquer dispositivo que elevasse água através do fogo entre 1699 e 1733. Uma vez que a máquina desenvolvida por Newcomen se mostrou mais eficiente, para que ele pudesse implementá-la foi necessário estabelecer uma parceria entre Newcomen, Calley e Savery. Assim, sob a patente de Savery-Newcomen, foi implementada a primeira máquina de Newcomen em 1712, a partir daí iniciou-se a sua difusão.

As máquinas a vapor eram construídas diretamente nas minas de carvão em que iriam operar, dessa forma, muitos artesãos e engenheiros, que tiveram contato com as máquinas, desenvolveram melhorias para facilitar o seu trabalho. Alguns desses personagens aparecem conectados à Newcomen, por terem implementado melhorias em sua máquina. Devido à patente, essas melhorias foram em sua maioria operacionais e não estruturais.

Com a difusão das máquinas a vapor de Newcomen o interesse pelas máquinas aumentou. A Universidade de Glasgow detinha um modelo de bancada da máquina com o objetivo de propor melhorias a ela. Nesse contexto, que ocorreu uma melhoria estrutural na máquina a vapor de Newcomen. Foi solicitado a James Watt (1736-1819), que trabalhava nessa universidade consertando dispositivos matemáticos, que resolvesse o problema do alto consumo de combustível das máquinas de Newcomen. E assim ele o fez, desenvolvendo uma máquina que continha um condensador separado, reduzindo assim as perdas. Essa solicitação foi feita a Watt pelo professor John Anderson (1726 - 1796).

Watt aparece na rede extremamente conectado, isso porque, ao terminar a vigência da patente de Savery-Newcomen, era de interesse de alguns empresários desenvolverem melhorias na máquina, como é o caso de John Roebuck (1718–1794), um empresário, que trabalhava na produção de ferro e posteriormente alugou uma mina de carvão para alimentar sua fábrica, que financiou a construção da máquina proposta por Watt, tornando-se assim, seu primeiro sócio. Watt também aparece conectado a intelectuais da época, muitos deles professores da Universidade de Glasgow, como John

Robinson (1739-1805), Joseph Black (1729 - 1799), entre outros que aparecem conectados apenas² a Watt. Através desses contatos que ele conheceu Roebuck.

Estando na Universidade de Glasgow, Watt assistiu a algumas aulas de Joseph Black, que desenvolveu a teoria do que hoje conhecemos como calor latente.

Roebuck se conecta tanto a Watt, quanto a outros empresários e parceiros comerciais que ele teve. Ele se encontra na extremidade direita da rede e estabelece conexões com indivíduos, que também estão bastante conectados entre si. A presença de Roebuck e dos atores relacionados a ele na rede trazem luz a relevância das parcerias comerciais e financiamentos. Com o apoio financeiro de Roebuck foi possível a construção e a implementação da máquina de Watt e aos então sócios foi concebida a patente de construção das máquinas que teve vigência a partir de 1769.

Outra parceria comercial muito relevante e responsável pela difusão das máquinas de Watt, foi a que ele estabeleceu com Mathew Boulton (1729 - 1809), um investidor que adquiriu a parte da patente que cabia a Roebuck. Boulton era um empresário bem articulado e que se mostrou bastante relevante para difusão das máquinas de Watt, que após a fundação da empresa Watt & Boulton, aumentou expressivamente. Diversos atores aparecem relacionados a Watt e Boulton, um deles é William Murdock (1754 - 1839), que foi funcionário na empresa deles. Murdock, no período em que trabalhou na empresa desenvolveu diversos dispositivos e melhorias nas máquinas. Junto a Watt utilizou o movimento de sua máquina a vapor para gerar movimento rotativo. Esse movimento facilitou a difusão das máquinas de Watt em diferentes ramos industriais, como a indústria têxtil e siderurgias, por exemplo.

A aplicação das máquinas de Watt nas siderurgias fez com elas aprimorassem a fabricação de ferro e ligas metálicas, o que melhorava a qualidade dos recipientes usados nas máquinas a vapor. Por isso, nomes relacionados à resistência dos materiais aparecem na rede, conectados entre si, ainda que não estabeleçam uma relação direta com Watt. Personalidades como Coulomb (1736 - 1806), Euler (1707 - 1783), entre outros. Alguns nomes ligados a siderurgias que se conectam a Boulton e Watt como é o caso de John Wilkinson (1728 - 1808), que chegou a fabricar peças para os motores de Watt.

² Certamente esses nomes se relacionavam de alguma forma, mas as conexões entre eles não foram estabelecidas por não julgarmos relevantes ao advento das máquinas a vapor.

Com as máquinas a vapor cada vez ganhando mais espaço nas minas de carvão e nas indústrias, varias pessoas desenvolveram suas próprias máquinas ou modificaram as máquinas de Watt. Esses fatos desencadearam uma guerra de patentes entre Boulton, Watt e diversos atores que estão representados, conectados entre si, abaixo no nome de Watt. O ator Jonathan Hornblower (1717-1780) e seu sócio Marbely (1770-1839) foram personagens que participaram ativamente dessa disputa de patentes. Isso porque, Hornblower desenvolveu uma máquina a vapor de dois cilindros que, no entendimento de Boulton e Watt, infringia patente vigente. Um dos argumentos da defesa de Hornblower era que sua família trabalhou na construção das máquinas de Newcomen. Mas, embora Hornblower e suas várias conexões evidencie o período de disputa de patentes, outros nomes relacionados a Watt como o Murdock e Wilkinson, já mencionados, se tornaram parte dela.

Outro ponto notável é a presença de Sadi Carnot (1796 - 1832) e Lazare Carnot (1753 - 1823), que nessa rede não aparecem relacionados a nenhum outro ator. Sadi Carnot se dedicou a estudar as máquinas e propôs teorias que se explicavam bem o funcionamento delas. O de ele não estabelecer relação direta a outros indivíduos da rede se dá por suas teorias terem sido propostas anos depois da construção e início difusão das máquinas a vapor, em 1824. Mantivemos esse Carnot desconectado dos demais, por não estabelecer relação direta nem temporal com eles, além de evidenciar que as máquinas a vapor foram desenvolvidas com base na ciência disponível na época e anterior a uma ciência que explicasse o seu funcionamento.

Através da construção e análise de redes como a apresentada nesse subcapítulo é possível evidenciar a complexidade do fazer científico e a importância de variadas relações. Nesse breve relato, buscamos expor o impacto das relações e influências econômicas, empresariais, intelectuais, entre outras, no desenvolvimento e difusão das máquinas a vapor. Além disso, nosso interesse foi em evidenciar alguns nomes presentes na rede que representam as diferentes dinâmicas que estão presentes nesse advento.

APÊNDICE 1 – 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: