

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

Rodrigo Trevisan Braga

**ARTE E APARATO PARA GRAVAÇÃO E REPRODUÇÃO DE SONS OU SINAIS
DO FINAL DO SÉCULO XIX E INÍCIO DO XX: DA GRAVAÇÃO MECÂNICA À
GRAVAÇÃO ELETROMAGNÉTICA**

DOCTORADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

SÃO PAULO

2021

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

Rodrigo Trevisan Braga

**ARTE E APARATO PARA GRAVAÇÃO E REPRODUÇÃO DE SONS OU SINAIS
DO FINAL DO SÉCULO XIX E INÍCIO DO XX: DA GRAVAÇÃO MECÂNICA A
GRAVAÇÃO ELETROMAGNÉTICA**

DOCTORADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Tese apresentada à Banca Examinadora da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de DOUTOR em HISTÓRIA DA CIÊNCIA, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Márcia Helena Mendes Ferraz.

SÃO PAULO

2021

Banca Examinadora

Para Laura Procópio Braga

Foram concedidos, para a realização da pesquisa e do curso de doutorado, uma bolsa CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e o apoio financeiro da Fundasp (Fundação São Paulo). Processo número: 88887.147970/2017-00.

Agradecimentos

Ao Programa de Estudos Pós-Graduados em História da Ciência, por propiciar um ambiente fértil para o aprendizado e a discussão de ideias.

À minha orientadora Professora Doutora Márcia Helena Mendes Ferraz, por mais uma vez guiar a jornada com maestria e elegância.

Aos amigos e colaboradores, André Gomes Julião, Antônio Rago Filho, Gabriel Amaral, Marpessa de Castro, Natalia Milano, Paulo Vinicius Parra de Souza, Ricardo Pelicione, Rodrigo de Oliveira Andrade, Robson Nogueira, Raissa Bombini e Tennyson Arantes Correa.

Aos meus pais, Aurelino Fonseca Braga e Maria Florinda Trevisan Braga.

Agradecimento especial para Maria Lília Guedes Rebello.

Resumo

A tecnologia para gravar e reproduzir sons e sinais foi desenvolvida no final do século XIX e início do XX a partir de pesquisas sobre o fenômeno acústico, afinação, timbre e eletromagnetismo. Duas formas de gravação foram apresentadas, uma mecânica e outra eletromagnética. A pesquisa de Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), assim como os aparatos de medição sonora criados por Karl Rudolph Koenig (1832-1901), tiveram forte influência no desenvolvimento de duas formas de gravação mecânica: o *Phonograph*, patenteado por Thomas Edison (1847-1931), e o *Gramophone*, por Emil Berliner (1851-1929). A forma de gravação eletromagnética foi inicialmente proposta por Oberlin Smith (1840-1926), que apresentou uma maneira teórica de gravar sons e sinais que seria melhor do que o formato mecânico. Entretanto, essa teoria só foi posta em prática por Valdemar Poulsen (1869-1942) na apresentação de seu *Telegraphone*, com um método de gravação de sons e sinais que poderia fazer parte do circuito de telefonia, podendo, ainda, ser usado tanto para gravar recados como para reproduzir mensagens previamente gravadas. A presente tese buscou identificar os fundamentos teóricos, as experiências e os aparatos que possibilitaram o avanço na criação de gravadores e reprodutores de som, apontando a importância de várias pesquisas científicas, com destaque para a pesquisa sobre acústica de Helmholtz e a pesquisa sobre eletromagnetismo de James Clerk Maxwell (1831-1879).

Palavras-chave: História da Ciência, História da Técnica, Telegraphone, Poulsen, Helmholtz, Maxwell.

Abstract

The technology to record and reproduce sounds and signals was developed in the late 19th and early 20th centuries based on research on the acoustic phenomenon, tuning, timbre and electromagnetism. Two forms of recording were presented, one mechanical and the other electromagnetic. Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz's research (1821-1894), as well as the sound measurement apparatus created by Karl Rudolph Koenig (1832-1901), had a strong influence on the development of two forms of mechanical recording: the Phonograph, patented by Thomas Edison (1847-1931), and The Gramophone, by Emil Berliner (1851-1929). The form of electromagnetic recording was initially proposed by Oberlin Smith (1840-1926), who theoretically presented a way to record sounds and signals that would be of better quality than the mechanical format. However, this theory was only put into practice by Valdemar Poulsen (1869-1942) when presenting his Telegraphone, with a method of recording sounds and signals that could be part of the telephony circuit, which can be used both to record messages and to reproduce previously recorded messages. The present thesis sought to identify the theoretical foundations, experiences and apparatus that made possible the progress in the creation of sound recorders and reproducers, thus being able to point out the importance of several scientific research, with emphasis on the research on Helmholtz's acoustics and the research on electromagnetism by James Clerk Maxwell (1831-1879).

Keywords: History of Science, History of Technology, Telegraphone, Poulsen, Helmholtz, Maxwell.

Sumário

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 – GRAVAÇÃO MECÂNICA	9
1.1 Pesquisa sobre acústica	9
1.2 O Fonógrafo	13
1.3 Proposta de um gravador Eletromagnético.....	19
CAPÍTULO 2 – TRANSIÇÃO ELETROMAGNÉTICA	29
2.1 A mensuração dos fenômenos eletromagnéticos.....	34
2.2 Estudos sobre os fenômenos eletromagnéticos	38
2.2.1 Hans Christian Oersted	38
2.2.2 André-Marie Ampère	40
2.2.3 Michael Faraday	43
2.2.4 James Clerk Maxwell	47
CAPÍTULO 3 – O GRAVADOR ELETROMAGNÉTICO	55
3.1 Telégrafo	55
3.2 Telégrafo eletro-harmônico.....	59
3.3 Aparato para converter as ondas acústicas em ondas eletromagnéticas	63
3.4 Microfone de Berliner	69
3.5 Telegraphone	71
3.6 Impacto da invenção	87
3.7 Fita Magnética	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
BIBLIOGRAFIA.....	100

Índice de figuras

Figura 1. *Gravação em papel feita por Helmholtz.*

Figura 2. *Diapasão modificado.*

Figura 3. *Phonautograph.*

Figura 4. *O Fonógrafo.*

Figura 5. *Fonograma.*

Figura 6. *Primeira proposta de Smith.*

Figura 7. *Segunda proposta de Smith.*

Figura 8. *Microfone de carbono de Edison.*

Figura 9. *Hélice de indução.*

Figura 10. *Cordão C.*

Figura 11. *Jarra de Leyden.*

Figura 12. *Balança de torção.*

Figura 13. *O efeito magnético em uma corrente elétrica.*

Figura 14. *Balança eletrodinâmica.*

Figura 15. *Linha de força de Faraday.*

Figura 16. *Vórtices de Maxwell. Maxwell.*

Figura 17. *Telégrafo eletro-harmônico.*

Figura 18. *O telefone.*

Figura 19. *Microfone de Berliner.*

Figura 20. *Patente do Telegraphone.*

Figura 21. *Exemplo de uso do Telegraphone.*

Figura 22. *Detalhe do circuito de gravação eletromagnético.*

Figura 23. *Patente de Poulsen e Pedersen.*

Figura 24. *Proposta de uso do Telegraphone.*

Figura 25. *Melhorias no design dos polos magnéticos.*

Figura 26. *Bateria polarizada.*

Figura 27. *Novas formas de mídia.*

Figura 28. *O gravador Marconi-Stille.*

Figura 29. *Fita magnética.*

Figura 30. *Protótipo do gravador eletromagnético.*

Figura 31. *Magnetophon K1.*

Introdução

Esta tese é um aprofundamento dos estudos realizados no mestrado, onde tivemos a oportunidade de pesquisar a geração e transmissão de som no final do século XIX e início do XX, ao analisarmos o caso do *Telharmonium*, instrumento inventado e patenteado por Thaddeus Cahill. Nossos interesses focalizavam conhecer os aspectos históricos e científicos que embasaram a criação de aparatos voltados para a geração, gravação e transmissão de música, sons e sinais. Iniciamos nossa pesquisa analisando patentes relacionadas à criação de instrumentos musicais e logo percebemos que haveria a necessidade de identificar as bases teóricas que alicerçaram a criação de tais aparatos, assim como a influência das pesquisas científicas conduzidas entre o final do século XIX e início do século XX.

O objeto de estudo, desta vez, será a gravação de sons e sinais, algo que até então não havia sido concretizado, ainda que vários pesquisadores houvessem se dedicado a apresentar uma solução que possibilitasse ao ser humano a capacidade de estocar a sua própria voz.

Apesar de não haver muitos trabalhos sobre esse assunto específico, esta pesquisa se pautará na metodologia criada no Centro Simão Matias da PUC-SP, que trabalha a devida relação entre ciência e técnica, bem como o processo da construção do conhecimento da arte e da ciência moderna e não se limita em resolver essas questões a partir da distinção entre ciência, técnica e tecnologia.

Todavia, uma análise histórica e epistemológica logo revela que essas duas formas de conhecimento são diferentes, tal como ciência e techné. Não podemos dizer que a tecnologia

é um aprimoramento da *techné*, assim como não podemos afirmar que a ciência moderna é um aprimoramento da antiga. Do mesmo modo, devemos tomar o cuidado de não entender a tecnologia como "ciência aplicada", nem como aprimoramento de antigas "técnicas" ou mesmo da *techné*.

Tomaremos como base as recentes investigações em História da Ciência que têm insistido na necessidade não só de contextualizar, mas analisar a ciência, a técnica e a tecnologia em seu aspecto multifacetado. Essas três expressões de conhecimento devem ser contextualizadas para não perderem seu real significado. Mais do que buscar no passado caracterizações do que é tecnologia e técnica no presente, é preciso ir ao passado e compreendê-las em seu aspecto histórico¹.

Com isso em mente, podemos observar que, no início do século XX, não havia uma maneira de gravar o som. A voz humana, por exemplo, só permanecia na memória de cada um, perdendo força com o passar dos anos. Lembrar da voz de um ente querido ou de uma canção exigia uma boa memória, treino e disciplina. A música só existia ao ser executada, de modo que o silêncio dominava o ambiente assim que o músico retirava suas mãos do instrumento.

A gravação da voz ou do som seria uma maneira de eternizar um momento, uma lembrança, uma experiência. Durante milênios, a espécie humana criou culturas com um vasto apreço pela música, pela comunicação usando sons, mas sem um aparato capaz de gravar estes sons, e, dessa forma, muito se perdeu no tempo.

¹ Alfonso-Goldfarb et al., *Centenário Simão Matias*, 5-9.

Entretanto, no final do século XIX, os avanços nas pesquisas científicas apresentaram resultados interessantes em várias áreas, entre elas o eletromagnetismo e a acústica, e com esse conhecimento algumas propostas de gravação de som foram apresentadas.

Mas qual era o conhecimento necessário para a criação de um gravador? Algum conhecimento sobre acústica e eletromagnetismo deveria circular entre os cientistas, engenheiros e, eventualmente, músicos.

Sobre os estudos de acústica, é de fundamental importância o livro de Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), publicado em 1863 e intitulado *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*, no qual podemos ver o resultado de anos de pesquisa em um compêndio que contempla os estudos de várias gerações de pesquisadores².

Sabemos também que uma grande pesquisa sobre eletromagnetismo estava sendo desenvolvida durante quase todo o século XIX e, em sua metade final, uma grande sistematização foi proposta por James Clerk Maxwell (1831 - 1879), abrindo caminho para a consolidação dos conhecimentos sobre eletromagnetismo com uma fundamentação teórica que facilitaria a conversão de sinais acústicos em eletromagnéticos³.

Analisando os documentos da época, percebemos que algumas publicações sobre o assunto tratavam de forma teórica a possibilidade de gravar sons, primeiro mecanicamente, como proposto por Thomas Edison (1847-1931), e outros inventores, depois, através de

² Helmholtz, *On the Sensations of Tone*, 7. As traduções, salvo referência específica, são de nossa autoria.

³ Niven, *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 155.

impulsos elétricos gerados por um microfone, conforme os estudos de Oberlin Smith (1840-1926), e Valdemar Poulsen (1869-1942).

A gravação do som em forma mecânica foi fruto das pesquisas em acústica e sobre a fisiologia do ouvido humano, resultado dos estudos de Helmholtz. A forma eletromagnética de gravação, por sua vez, utiliza dos mesmos conceitos de acústica, porém, com o adendo do eletromagnetismo para o registro dos sons. Seria necessária a junção entre os conceitos de acústica e eletromagnetismo, levando a pensar que, a partir de um aparelho como o microfone – capaz de converter ondas acústicas, como a voz, em um pulso eletromagnético –, teoricamente, parecia possível estocar esses pulsos para serem reproduzidos posteriormente.

Certamente as teorias sobre o eletromagnetismo circulavam entre os entusiastas dos telégrafos e telefones da época. A formação destes técnicos abrangia o conhecimento, mesmo que prévio, dos trabalhos de Heinrich Hertz (1857-1894), Lord Kelvin (1824-1907), Michael Faraday (1791-1867) e Guglielmo Marconi (1874-1937), assim como o tratado de acústica de Helmholtz, anteriormente mencionado, além de textos de divulgação científica de Elisha Gray (1835-1901) e John Munro (1849-1930).

A abordagem de cada estudioso era diferente, cada um focado em um aspecto, mas podemos investigar os estudos científicos da época e encontrar as bases teóricas que fundamentam a ideia da possibilidade de gravar a voz humana.

A presente tese tem como objetivo entender a História da Ciência por trás dos gravadores. Para isso, teremos que conhecer o estado da arte no final do século XIX e início do século XX. Veremos quais assuntos eram discutidos entre os inventores de aparatos

elétricos e seus colaboradores, assim como as teorias sobre acústica e eletromagnetismo neste período e, ainda, o contexto histórico.

Para tanto, é necessário um estudo mais aprofundado em História da Ciência, pautado numa metodologia utilizada junto ao Programa de Estudos Pós-graduados em História da Ciência da PUC-SP, baseada na intersecção de três esferas de análise. A primeira dessas esferas aborda os aspectos epistemológicos das teorias e práticas científicas em estudo, enfatizando o estudo dos conceitos em questão. A segunda é uma esfera historiográfica, e refere-se às várias formas como o objeto da pesquisa foi analisado. Já a terceira esfera buscar situar o objeto de estudo no contexto de sua concretização, abordando aspectos sociais, econômicos e políticos, entre outros⁴.

Essa abordagem permite analisar o conhecimento sobre natureza, arte e sociedade da época, analisando do que era composta a rede de conhecimento sobre acústica, física, eletricidade e ciência do final do século XIX.

Assim, no capítulo um, trataremos da relação entre a pesquisa de Helmholtz e a criação de aparatos de medição sonora criados por Karl Rudolph Koenig (1832-1901). Esses aparatos foram desenvolvidos a pedido de Helmholtz e o ajudaram a conduzir experiências cruciais para a criação de sua teoria.

Inspirado na anatomia e funcionamento do aparelho auditivo humano, Koenig desenvolveu o *Phonautograph*, que será analisado no decorrer desse

⁴ Alfonso-Goldfarb, Waisse & Ferraz, “From shelves to Cyberspace”, 551-560.

mesmo capítulo. Este aparato é de vital importância para a nossa pesquisa, pois configura-se como a base tecnológica que inspirou a criação dos primeiros gravadores mecânicos do início do século XX, inclusive o *Phonograph*, patenteado por Thomas Edison, e o *Gramophone*, por Emil Berliner (1851-1929).

Após a análise dos gravadores mecânicos, voltaremos nossa atenção para um artigo publicado na revista *The Electrical World*, em 8 setembro de 1888, que apresentava uma proposta de gravação eletromagnética. O autor do artigo, Oberlin Smith, descreve uma possível maneira de magnetizar um fio de metal com as mesmas características sonoras do som original; essa forma de gravação apresentaria inúmeras vantagens em relação à gravação mecânica por ser teoricamente mais limpa e facilmente reutilizável, sem a necessidade de trocar os cilindros próprios dos gravadores mecânicos. Contudo, Smith apenas apresentou uma proposta e nunca foi capaz de materializar sua ideia, justamente por falta de estudos mais aprofundados em eletromagnetismo.

No capítulo dois, veremos como a pesquisa sobre eletromagnetismo estava rapidamente se desenvolvendo no final do século XIX e início do século XX. Ao acompanharmos as publicações de Elisha Gray, um prolífico inventor e divulgador científico, podemos ter uma boa noção do que era estudado e discutido entre seus pares na época. Em uma série de publicações intitulada *Nature's Miracles*, Gray traçou um panorama sobre a história do eletromagnetismo, o que será de grande relevância para nossa pesquisa, tendo em vista que o autor é um personagem importantíssimo para o desenvolvimento de aparatos eletromagnéticos e um inventor influente e respeitado.

Veremos também as contribuições de Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) e sua pesquisa sobre eletricidade com a Balança de Torção, peça fundamental para a criação de uma teoria sobre o eletromagnetismo. Seguindo os passos de Coulomb, acompanharemos as contribuições de Hans Christian Oersted (1777-1851) e seus estudos sobre o campo magnético, assim como as contribuições de André-Marie Ampère (1775-1836) e seus estudos com a Balança Eletrodinâmica, além de Michael Faraday, com seus estudos sobre as linhas de força.

Por fim, analisaremos como o trabalho de James Clerk Maxwell – que conseguiu agrupar todos os estudos mencionados em uma teoria unificada do eletromagnetismo – abriu as portas para o desenvolvimento de aparatos eletromagnéticos, que passaram a ter um comportamento previsível e calculável.

No capítulo três, veremos a criação dos primeiros aparatos eletromagnéticos, que são o telégrafo e o telefone, e como sua tecnologia é peça fundamental para entender o funcionamento do gravador eletromagnético. O telégrafo foi a inspiração de todos os circuitos elétricos desenvolvidos após sua concepção, e o telefone foi um grande invento que possibilitou, pela primeira vez, a conversão da energia acústica em energia elétrica.

A partir deste ponto, veremos como Valdemar Poulsen foi capaz de criar um aparato de gravação eletromagnético, na forma que havia sido proposta por Oberlin Smith, mas que não tinha se materializado. Poulsen foi muito além de concretizar a proposta apresentada na revista *The Electrical World*, aperfeiçoando e reinterpretando vários aspectos importantes

para a criação de seu *Telegraphone*. Adotando a teoria eletromagnética, pôde criar um aparato realmente efetivo para estocar e reproduzir sons e sinais.

O aparato para gravação eletromagnética de Poulsen, o *Telegraphone*, foi apresentado na Exposição Universal de Paris de 1900, na qual foi o grande vencedor. Ali, Poulsen teve a oportunidade de gravar a voz do imperador Franz Joseph I, da Áustria, sendo esta provavelmente a gravação magnética mais antiga registrada.

Boa parte dos estudos sobre aparatos abordada nesta tese será feita através das patentes concedidas a seus inventores⁵. A lista completa de patentes facilita a averiguação de documentos correlatos e que de certa forma se conectam, seja diretamente, quando é necessária a citação de uma patente anterior, ou quando indiretamente o autor da nova patente não quer publicitar sua influência. Em alguns casos, um perito estabelecia um parecer obrigando o autor de uma patente a apontar uma ideia correlata ou mesmo plágio.

Apesar da grandiosidade tecnológica da patente do *Telegraphone*, o aparato não obteve sucesso comercial. Então, alguns inventores dedicaram-se a aperfeiçoar o método de gravação e apresentaram patentes importantes, como Fritz Pflumer (1881-1945), que ofereceu uma proposta claramente inspirada no *Telegraphone*, mas já com avanços técnicos consideráveis. Em 1941, Pflumer apresentou a patente da fita magnética, tecnologia que mudaria completamente a forma de estocar dados, sons e sinais.

⁵ As patentes analisadas nesta tese foram digitalizadas pela empresa Google quando esta moveu um enorme empreendimento de digitalização dos documentos registrados na central de patentes dos Estados Unidos.

CAPÍTULO 1 – GRAVAÇÃO MECÂNICA

1.1 Pesquisa sobre acústica

Em 1855, o cientista alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz iniciou uma série de pesquisas sobre acústica e a fisiologia do aparelho auditivo. A intenção de Helmholtz era averiguar e sistematizar todo o funcionamento do sistema auditivo, assim como entender a composição das ondas sonoras. Helmholtz iniciou suas pesquisas estudando a física das ondas sonoras, a forma como um tom musical formava-se e como poderia ser transmitido pelo ar até o ouvido. Proveu seu laboratório com muitos aparatos científicos que pudessem facilitar os experimentos e, desta forma, coletava dados que estes aparatos proviam para, posteriormente, matematizar os resultados⁶.

A teoria apresentada por Helmholtz explicou a composição do som, formado por simples ondas senoidais que, quando somadas, formavam o timbre de um instrumento ou voz, e de como o ouvido humano seria capaz de captar e entender essas ondas de forma análoga às séries de Fourier⁷.

Em sua análise do aparelho auditivo, Helmholtz descreveu como o tímpano transmitia as vibrações do ar para os ossos da caixa timpânica – o estribo, a bigorna e o martelo – que, depois, eram processadas na cóclea e, finalmente, enviadas ao cérebro⁸.

⁶ Helmholtz, 7.

⁷ Ibid., 8.

⁸ Ibid., 134.

Os aparatos científicos usados para a pesquisa haviam sido desenvolvidos por Karl Rudolph Koenig, entre eles, a sirene polifônica⁹ e o *Phonautograph*. Este último foi concebido para funcionar como o ouvido humano, com uma membrana semelhante ao tímpano ligada à ponta de uma agulha que, por sua vez, conectava-se a um cilindro no qual se desenrolava um papel. À medida que o som tocava na membrana, transmitia a vibração para a ponta da agulha, registrando a vibração no papel¹⁰.

Na figura a seguir, podemos ver os resultados destas gravações em papel na publicação de Helmholtz:

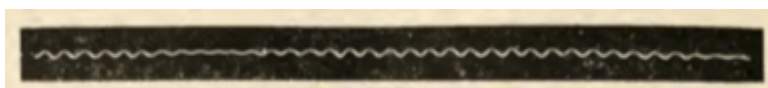


Figura 1. Gravação em papel feita por Helmholtz. Helmholtz, *On the Sensations of Tone*.

Helmholtz salienta que desenhos semelhantes haviam sido feitos por Adam Politzer (1835-1920) – médico especialista em otologia –, a partir de um experimento ligando uma ponta de uma agulha aos ossos auditivos de um pato, denominados columela, produzindo um som por meio de dois tubos de órgão. Dessa forma, ele provava que ossos do sistema auditivo transmitiam as vibrações sonoras¹¹.

⁹ Ibid.

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

A gravação das ondas sonoras em papel foi muito importante para a análise da forma da onda. Sobre os desenhos obtidos, Helmholtz pôde aplicar a série de Jean Baptiste Fourier (1768-1830), e o resultado adquirido mostrou que uma onda acústica seria uma somatória de várias ondas senoidais¹².

O comportamento das ondas sonoras, tanto da voz humana quanto dos instrumentos musicais, é semelhante em vários aspectos. No primeiro caso, a onda é gerada pelas cordas vocais no interior da laringe e amplificada pela caixa torácica. Em um instrumento musical, o som é gerado pela fricção ou percussão das cordas e, depois, é amplificado pela caixa de ressonância. Se o instrumento for da família dos sopros, o som se dá pelo movimento do ar que passa no interior de um tubo¹³.

O timbre, então, seria a somatória da onda fundamental mais seus harmônicos parciais superiores, formando uma onda composta que poderia ser impressa em um papel usando um diapasão modificado¹⁴.

¹² Ibid., 19.

¹³ Ibid., 10.

¹⁴ Grove, *Grove's Dictionary of Music and Musicians*, 105.

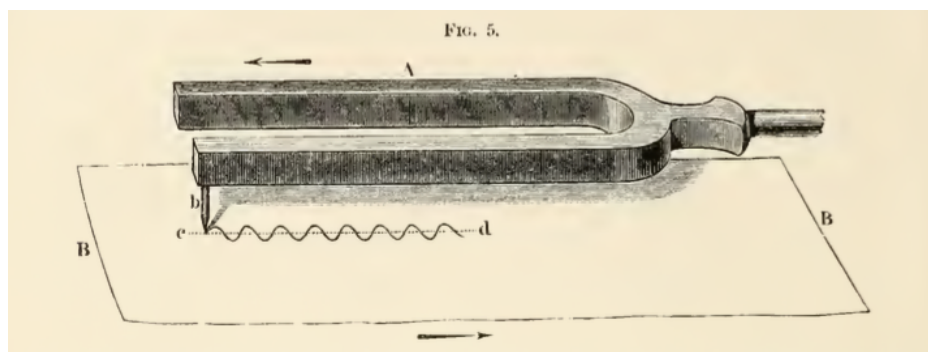


Figura 2. *Diapasão modificado*: Helmholtz, *On the Sensations of Tone*.

O *Phonautograph* e os outros aparatos musicais criados por Koenig ganharam fama internacional por serem precisos e confiáveis, atraindo a atenção da comunidade científica da época. Além de Koenig, os pesquisadores Thomas Young (1773-1829), Édouard-Léon Scott de Martinville (1817-1879) e Hortensius-Emile Charles Cros (1872 -1888) também são citados na criação de aparatos semelhantes ao *Phonautograph*, os quais seriam, então, um tipo de vibroscópio, ou seja, aparatos capazes de gravar somente a forma da onda em alguma superfície e não de gravar e reproduzir o material gravado¹⁵. As tentativas nesta direção serão discutidas nos próximos itens deste capítulo e no capítulo 3.

¹⁵ Apenas após as recentes inovações de *software* para computadores especificamente desenhados para ler os registros foi possível ouvir as gravações feitas pelo *Phonautograph*.

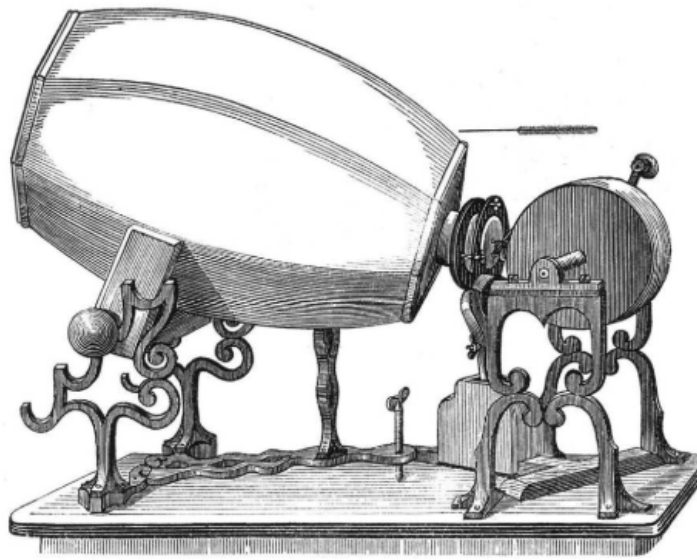


Figura 3. *Phonautograph*. Franz Josef Pisko, *Die neueren Apparate der Akustik* (Vienna, 1865)

1.2 O Fonógrafo

Um aparato capaz de gravar sons e reproduzi-los estava sendo desenvolvido por Thomas Alva Edison por volta de 1877: o *Phonograph*, com o objetivo de gravar sons em uma mídia física.

Edison foi responsável por três patentes relacionadas ao funcionamento do *Phonograph* – fonógrafo, como ficou conhecido em português –, sendo a primeira patente, de número US200521A, de 1878, intitulada *Improvement in Phonograph or Speaking Machines*; seguida da patente número US227679A, de 1880, intitulada *Phonograph* e da patente número US465972A, de 1891 também batizada *Phonograph*. A essas deve-se

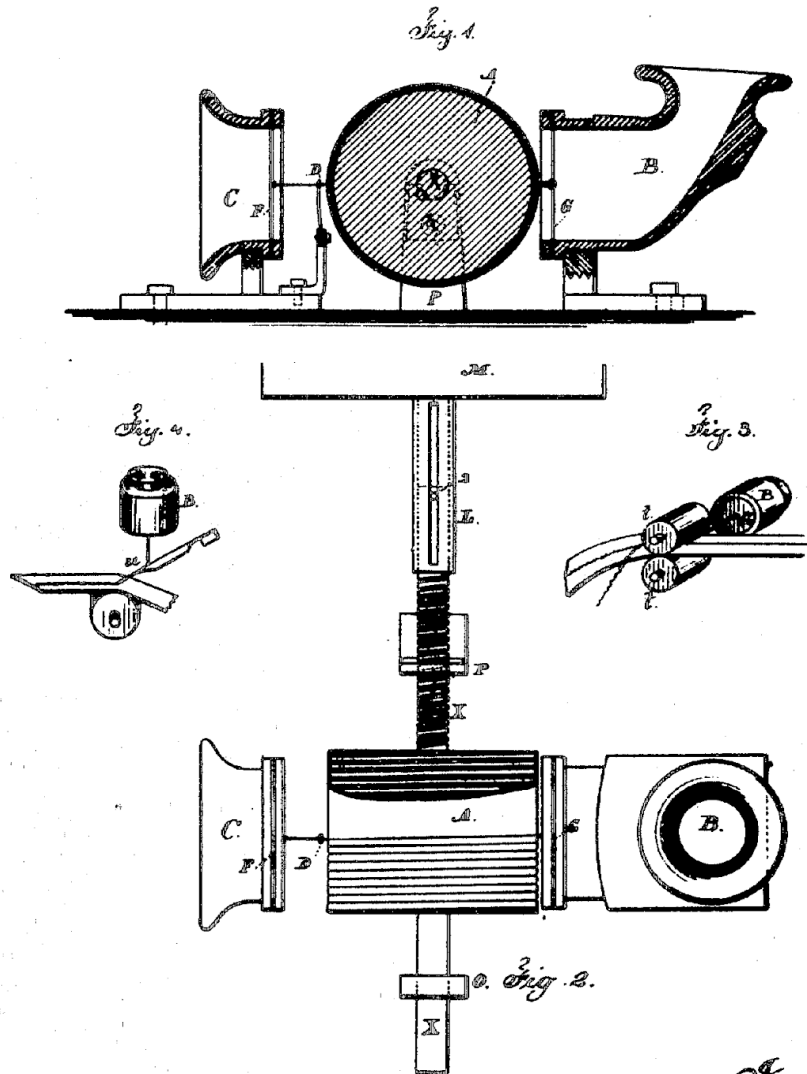
acrescentar a que se relaciona com o cilindro usado para a gravação, patente número US382462A, de 1888, *Phonogram Blank*.

As patentes de Edison descrevem uma forma de capturar sons a partir de uma placa, diafragma ou outro corpo flexível capaz de vibrar pela voz humana ou outros sons. Esse diafragma seria conectado à ponta de uma agulha, que estaria em contato com um material capaz de registrar os movimentos desse corpo vibratório¹⁶. Até aqui, vemos pontos em comum com os experimentos anteriores de registro da onda sonora.

Na figura 4, a seguir, podemos observar o aparato descrito por Edison como *Phonograph*:

¹⁶ Edison. Improvement in Telegraphic Recording Instrument, 1872.

T A. EDISON.
 Phonograph or Speaking Machine.
 No. 200,521. Patented Feb. 19, 1878.



Witnesses

*Chas. A. Smith,
 Harold D. Sessell*

Inventor

Thomas A. Edison.

*per Lemuel W. Perrell
 atty.*

Figura 4. O Fonógrafo.

Na figura acima, B é uma espécie de diafragma ou membrana que se conecta com o cilindro no meio. Uma manivela desenrola o cilindro de modo que a gravação possa ser impressa de forma linear, colocando as linhas que representam a gravação uma ao lado da outra. O cilindro, alocado na ponta de uma agulha, grava a vibração recebida pelo diafragma em forma de ranhuras¹⁷.

Uma vez feita a gravação, o aparato era desmontado para que a manivela fosse girada no sentido contrário da gravação e, depois, conectada ao extremo C da figura, o que faria com que a leitura dessas ranhuras reproduzisse o som gravado¹⁸. A gravação era feita em um cilindro coberto de cera ou “hidrocarboneto plástico”, no qual as ondas sonoras eram estocadas em forma de ranhuras e, então, poderiam ser reproduzidas¹⁹, uma habilidade que o *Phonautograph* de Koenig não possuía.

É possível observar como os estudos de Helmholtz influenciaram a pesquisa de Edison quando este se refere ao funcionamento de seu aparato. O inventor citou a pesquisa sobre a composição aditiva do timbre acústico, isto é, a formação do som por harmônicos parciais superiores, chegando à conclusão de que a voz humana era formada por vibrações distintas²⁰. Edison descreve em sua patente:

“Descobri, após uma longa série de experiências, que um diafragma ou outro corpo capaz de ser acionado pela voz humana não produz, exceto em casos raros, vibrações sobrepostas, como já se supunha, mas cada vibração é separada e distinta e, portanto, torna-se possível gravar e reproduzir os sons da voz humana.²¹”

¹⁷ Edison. Phonograph or speaking machine, 1878.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Ibid.

²⁰ Ibid.

²¹ Ibid.

A patente US382462A refere-se ao cilindro como um Fonograma (conforme Figura 5), que poderia ser gravado e comercializado, dando início a um mercado de venda de cópias de música²². A gravação no cilindro era preservada por tempo indeterminado, e este poderia ser estereotipado aplicando-se gesso nas ranhuras. O processo assegurava a possibilidade de cópias serem manufaturadas de uma forma rápida e barata²³. Edison enxergava que isso poderia ser de grande valia para um mercado de venda de cilindros com gravações que ainda estava por criar.

O método de gravação mecânico, porém, tinha suas limitações, tanto no tempo de gravação quanto na qualidade sonora. Somente na década de 1940, os cilindros de cera começaram a ser substituídos por uma nova tecnologia de gravação mecânica à base de acetato.

²² Edison. Phonogram Blank, 1888.

²³ Ibid.

(No Model.)

T. A. EDISON.
PHONOGRAM BLANK.

No. 382,462.

Patented May 8, 1888.

FIG. 1

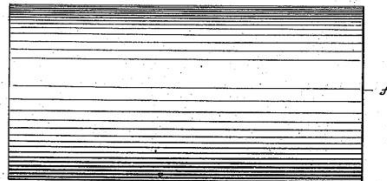


FIG. 2

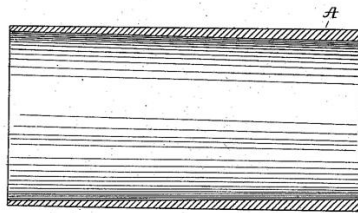
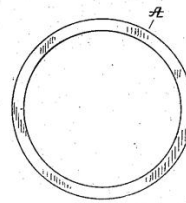


FIG. 3



Witnesses:
E. A. Howland
William Byrnes

Inventor:
Thomas A. Edison
By his Attorney: *Byrnes & Seelye*

K. PETERS, Photo-Lithographer, Washington, D. C.

Figura 5. O Fonograma.

Outros aparatos foram criados para a gravação mecânica, como o *Gramophone* de Emil Berliner, que usava basicamente o mesmo princípio de Thomas Edison, mas com uma tecnologia um pouco mais aprimorada²⁴.

Tanto o *Phonograph* quanto o *Gramophone* foram bem aceitos e passaram a fazer parte da vida cotidiana das pessoas que podiam pagar pelos aparatos. Para a comercialização dos cilindros gravados com cópias de músicas, Edison mantinha uma publicação mensal de seu catálogo, a revista *The Edison Phonograph Monthly*, na qual apresentava uma vasta coleção de música de todos os gêneros. A comercialização do *Gramophone* igualmente contava com catálogos, mas, em vez dos cilindros, usava discos de acetato e, posteriormente, vinil.

1.3 Proposta de um gravador Eletromagnético

Uma forma de gravação eletromagnética foi proposta em um artigo escrito por Oberlin Smith, publicado na revista *The Electrical World* em 8 setembro de 1888 e intitulado “Some Possible Forms of Phonograph”, no qual o inventor descreveu a gravação eletromagnética usando um fio de metal como mídia de gravação. Ele discorreu sobre o entusiasmo da comunidade científica acerca dos gravadores e máquinas falantes²⁵; entretanto,

²⁴ Berliner. Gramophone, 1887.

²⁵ Termo usado, na época, para se referir ao Gramofone e ao Fonografo.

ressaltou que todos os aparatos até então apresentados eram gravadores mecânicos.

Smith foi um engenheiro e inventor nascido em 1840, em Cincinnati, nos Estados Unidos, que dedicou sua vida ao aperfeiçoamento e às inovações relacionados à tecnologia. Apresentou cerca de setenta patentes, mas não apresentou formalmente uma patente sobre o gravador eletromagnético, sendo o único registro sobre o invento o artigo na revista *The Electrical World*²⁶.

O artigo apresenta dois métodos de gravação eletromagnética: o primeiro método consistia na construção de um diafragma ligado a uma agulha – identificado como A na figura 6 –, semelhante à ideia apresentada por Thomas Edison em suas patentes anteriores.

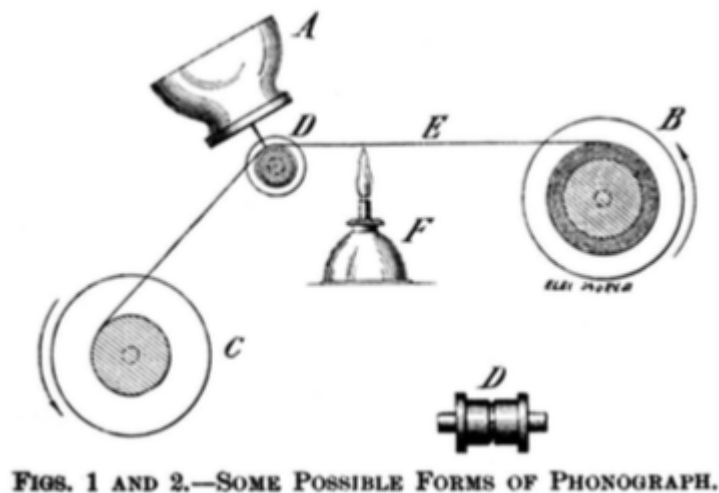


Figura 6. Primeira proposta de Smith. Smith, Oberlin. “Some Possible Forms of Phonograph”.

²⁶ Smith, “Some Possible Forms of Phonograph”, 116.

Um fio de ferro ou outro material que pudesse ser moldado via calor era desenrolado do carretel B e enrolado no carretel C. O cerne da proposta de Smith estava na forma de gravação, feita por uma lâmpada de aquecimento representada pela letra F. O fio, ao passar pela lâmpada de aquecimento, gravaria as vibrações oriundas do diafragma da mesma forma que o *Phonograph* de Edison, com a vantagem de que o fio seria mais estável e duradouro do que o cilindro de cera²⁷.

Mas o método era apenas teórico; não foi apresentado nenhum tipo de protótipo que comprovasse a eficácia do procedimento de gravação. Aparentemente, a intenção de Smith com este primeiro exercício mental era a de apresentar uma versão mais eficiente da máquina de Edison.

Esta forma de gravação teria vantagem em relação às outras por ser de baixo custo e de funcionamento simples, além do fio de ferro ser mais confiável e duradouro. Então, o primeiro método de gravação seria uma espécie de transição entre a forma mecânica apresentada por Edison e Berliner e uma nova proposta, que seria apresentada na continuação do artigo de Smith²⁸.

A segunda proposta de gravação apresentada utiliza uma metodologia diferente da primeira, mantendo, porém, algumas semelhanças em relação ao funcionamento do carretel e do fio de metal. O diafragma foi substituído por um microfone de carbono, representado na figura 7 pela letra A, e a lâmpada de aquecimento foi substituída por uma hélice, que forma

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid.

uma bobina onde o fio de ferro passaria e seria submetido a um processo de indução eletromagnética²⁹.

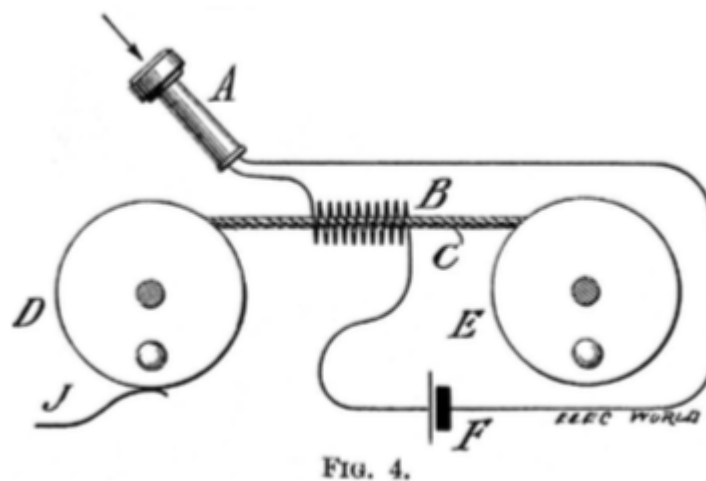


Figura 7. Segunda proposta de Smith. Smith, Oberlin. “Some Possible Forms of Phonograph”.

Neste momento, os métodos de Edison e Smith se divorciam e começam a trilhar caminhos separados. O próprio Smith afirma em seu artigo que tal método nunca tinha sido proposto e que este método de gravação era puramente elétrico³⁰.

O microfone de carbono, parte do circuito, consistia em uma caixa com uma perfuração redonda na qual estaria acoplado um diafragma que, por sua vez, pressionaria um material condutor, no caso o carbono³¹. Como as extremidades do microfone estavam ligadas

²⁹ Ibid.

³⁰ Ibid.

³¹ Edison. Carbon Telephone, 1879.

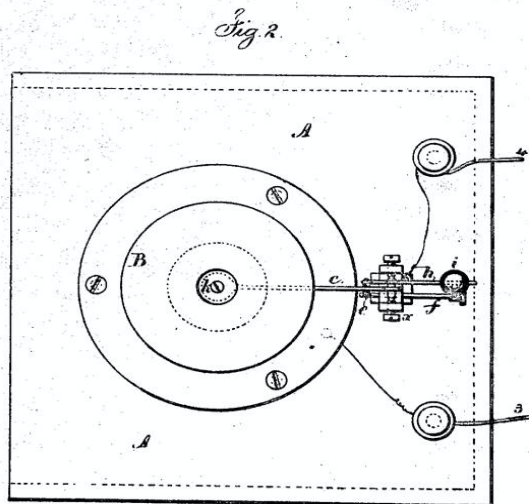
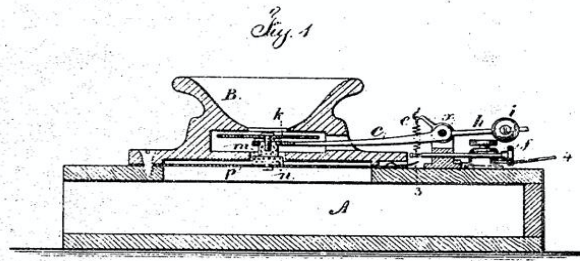
a um fio condutor elétrico e estes conectados a uma corrente elétrica, qualquer variação no estado do diafragma alteraria a corrente elétrica, induzindo uma vibração à corrente. Isto ocorreria porque o carbono dentro do diafragma diminui a resistência elétrica à medida que as ondas sonoras são recebidas³².

³² Ibid.

T. A. EDISON.
Carbon Telephone.

No. 222,390.

Patented Dec. 9, 1879.



Witnesses
Chas. H. Smith
Geo. S. Pinckney

Inventor
Thomas Alva Edison
per *Samuel W. Lippell* (1879)

Figura 8. Microfone de carbono de Edison.

Assim, nesta proposta de Smith, seria usado o microfone de carbono em substituição ao diafragma com uma agulha na ponta (como nos *Phonographs* e *Gramophones* anteriores), assemelhando-se mais ao funcionamento do Telefone de Graham Bell do que aos gravadores mecânicos, como veremos adiante.

Contudo, essa não era a única diferença na proposta do gravador eletromagnético. A metodologia de gravação também era diferente; usando o microfone de carbono, a gravação seria feita a partir da indução eletromagnética. Na figura 9, B refere-se à hélice que induz a variação da corrente elétrica, criada a partir das vibrações sonoras captadas pelo microfone de carbono³³.

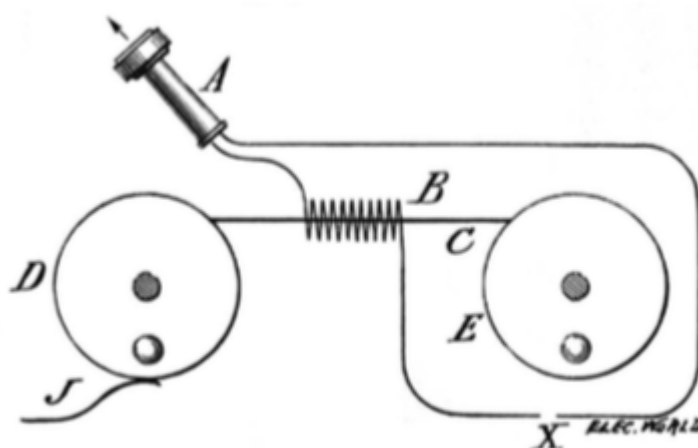


FIG. 5.

Figura 9. Hélice de indução. Smith, Oberlin. “Some Possible Forms of Phonograph”.

³³ Smith, 17.

“Quando em operação com a corrente ondulatória do telefone A que passa pela hélice, o cordão C se torna, por assim dizer, uma série de ímãs curtos agrupados em dilatações alternantes e atenuações de magnetismo”³⁴.

Smith explica que os comprimentos reais desses grupos dependiam da velocidade de seus movimentos, mas seus comprimentos relativos dependiam dos comprimentos relativos da onda sonora e suas intensidades relativas dependiam das amplitudes relativas dessas ondas. Desta forma, o cordão C contém um registro “perfeito” do som, muito mais delicado do que os entalhes na folha de estanho do fonógrafo mecânico³⁵.

Este cordão C poderia ser fabricado de algodão, seda ou outros materiais, que seriam impregnados com pó de aço ou limalha de ferro. Há também a indicação do uso de fios de latão ou qualquer material metálico. A gravação eletromagnética era, de fato, uma magnetização do meio metálico que correspondia às vibrações sonoras³⁶.

Por fim, Smith explicou a possibilidade desta gravação ser reproduzida posteriormente, pois a mídia era mais confiável e tinha melhor qualidade de gravação que os meios mecânicos, de modo que a duração da gravação seria indefinida, podendo durar décadas.

De fato, a gravação eletromagnética só era apagada quando outra corrente elétrica era induzida à mídia, mostrando a possibilidade de reutilização que Smith defendia como um

³⁴ Ibid.

³⁵ Ibid.

³⁶ Ibid.

forte apelo de seu invento. Então, para ouvir o som gravado, seria necessário rebobinar o cordão C e passá-lo pela hélice para reproduzir as vibrações do som original no diafragma do telefone a qualquer momento no futuro³⁷.

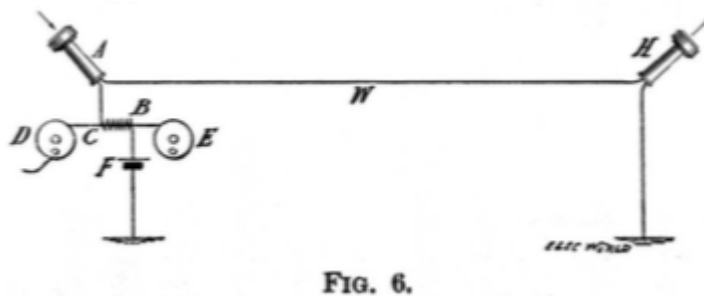


Figura 10. Cordão C. Smith, Oberlin. “Some Possible Forms of Phonograph”.

Ao final do artigo, Smith confessou que seu método elétrico nunca foi concluído. O inventor conseguiu construir somente um aparato temporário, mas foi obrigado a abandonar o projeto antes de chegar a resultados acústicos³⁸. Em outras palavras, nunca conseguiu materializar sua teoria em um protótipo funcional. Assim, registrou³⁹:

³⁷ Ibid.

³⁸ Ibid.

³⁹ Ibid.

“O escritor confessa muita ignorância sobre o assunto, mas ficou um tanto surpreso ao encontrar uma quantidade igual em vários eletricitas conhecidos a quem consultou; e também para descobrir que nenhum dos livros que ele tinha em mãos forneceu dados definitivos sobre as melhores proporções para ímãs permanentes ou sua força real (quando saturadas) na força de tração. Certamente, neste departamento de ciências elétricas, existe um campo (magnético) de bom tamanho para um número de linhas de força – mentais – para trabalhar, no caminho de experimentos cuidadosos.”

Após explicar que não teria o tempo nem os recursos necessários para tirar tal invento do papel, Smith terminou o artigo propondo que outros cientistas se dedicassem a resolver os problemas práticos de sua proposta com experimentos e teorias mais refinadas:

“[...] esperando que algum dos numerosos pesquisadores que trabalham neste campo possam encontrar neles um bom germe a partir do qual algo útil possa crescer. Nesse caso, ele certamente obterá o devido crédito por sua participação no assunto; mas se, por outro lado, essas sugestões se mostrarem sem valor, ainda terão servido a um propósito, com o princípio de que uma demonstração do que *não pode* ser feito é frequentemente uma sugestão pertinente do que *pode* ser.⁴⁰”

As dificuldades encontradas por Smith para colocar em prática sua teoria não foram de fácil solução. Na verdade, um exército de pesquisadores, cientistas e engenheiros dedicou-se ao estudo do eletromagnetismo durante todo o século XIX. A seguir, veremos as bases teóricas e as propostas para a resolução deste problema, assim como da relação entre o magnetismo e a eletricidade que foi, durante séculos, objeto de pesquisa e experimentos que culminaram em uma teoria capaz de suplementar de forma satisfatória a intenção de Oberlin Smith.

⁴⁰ Ibid.

CAPÍTULO 2 – TRANSIÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Após tratar, no capítulo anterior, da gravação mecânica do som e dos planos – não concretizados – de produzir um gravador eletromagnético, vamos abordar agora conceitos de ciência e desenvolvimentos técnicos que embasaram e propiciaram a produção do sonhado gravador.

Para tanto, vamos lançar mão de textos de história da ciência auxiliados, em alguns pontos, por originais dos autores tratados e ainda de uma série de livros de divulgação científica conhecida como *Nature's Miracles*, publicada por Elisha Gray (1835-1901), inventor estadunidense com grande conhecimento em eletricidade. Nesse trabalho, o autor apresenta um panorama da ciência da época que, acreditamos, servirá para entender o que era estudado e divulgado sobre o tema na virada do século XIX para o século XX. Gray trabalhou temas como eletricidade e eletromagnetismo para o grande público, evitando termos técnicos complicados, mas sempre tratando das questões fundamentais de sua época.

Gray ressaltou a importância de se conhecer a construção e o funcionamento de eletroímãs para entender o desenvolvimento do eletromagnetismo⁴¹. Assim, explicou que a construção de um eletroímã se daria enrolando um fio com isolamento num pedaço de ferro e fazendo passar eletricidade pelo fio. Esse pedaço de ferro é um ímã – eletroímã – apenas enquanto durar a passagem da eletricidade.⁴²

⁴¹ Gray, *Nature's Miracle*, 6.

⁴² *Ibid.*, 26-27.

Adiante, veremos como os cientistas trabalharam para entender o fenômeno magnético e sua íntima relação com a eletricidade, assim descrita por Gray:

“O advento da eletricidade trouxe o magnetismo para a linha de frente como um dos grandes fatores em nossa civilização moderna. E poderíamos dizer com igual força que a descoberta do magnetismo trouxe a eletricidade para a linha de frente. A verdade é que eles dependem um do outro. A eletricidade seria privada de grande parte de sua importância como um fator na vida moderna se não fosse por sua relação com o magnetismo. Até mesmo a iluminação elétrica seria impossível comercialmente se não fosse a parte que o magnetismo desempenha na produção de eletricidade para este fim.... Quando passamos a analisar a relação entre magnetismo e eletricidade não podemos separá-los sem roubar uma grande parte de sua utilidade. Elas são forças interdependentes.”⁴³

Continuando sua exposição sobre o fenômeno elétrico, Gray lembrou o legado de William Gilbert (1544-1603), que fez experiências com vários materiais, os quais, quando friccionados, apresentavam um comportamento elétrico. Com base nisso, estabeleceu uma classificação dos materiais mais propensos a esse comportamento. Sua publicação de 1600, *On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth*, ajudou a forjar as bases do conhecimento da eletricidade.⁴⁴

Avançando em sua apresentação histórica, Gray discorreu sobre a Garrafa de Leyden. Essa invenção, realizada por volta de 1746, constituía-se numa garrafa de vidro revestida por dentro e por fora com uma folha de estanho. A parte interna era conectada com um gancho de latão no topo da garrafa, que poderia ser carregado com eletricidade. Os revestimentos

⁴³ Ibid., 23-24.

⁴⁴ Ibid., 7.

interno e externo deveriam estar isolados⁴⁵. A garrafa, então, foi usada como um capacitor, ajudando cientistas a desequilibrar a carga elétrica e provocar pequenas faíscas, sendo, portanto, um artefato essencial para o desenvolvimento das teorias sobre eletricidade.

Na época, havia um intenso debate sobre o que seria a eletricidade; enquanto alguns estudiosos propunham que a eletricidade era composta por dois fluidos, outros admitiam apenas um. Benjamin Franklin (1706-1790), adepto desta última hipótese, precisava encontrar uma maneira de testar suas ideias. A Garrafa de Leyden foi parte importante do sistema criado por Franklin para a famosa experiência da pipa; ele acreditava que a eletricidade seria como um fluido único e que o fenômeno elétrico estaria presente somente quando o equilíbrio fosse perturbado⁴⁶.

De acordo com a teoria da eletricidade de um fluido único, um corpo carregado com eletricidade positiva tinha uma quantidade excessiva de energia e outro corpo, em separado, tinha uma quantidade reduzida de energia; por isso, apresentava eletricidade negativa. A garrafa de Leyden foi usada como experimento do fenômeno elétrico por ter um dos seus revestimentos (o interior) carregado com eletricidade positiva e o outro revestimento carregado de eletricidade negativa ⁴⁷.

⁴⁵ Munro, *Story of Electricity*, 22-23.

⁴⁶ Gray, *Nature's Miracle*, 9.

⁴⁷ *Ibid.*, 33.

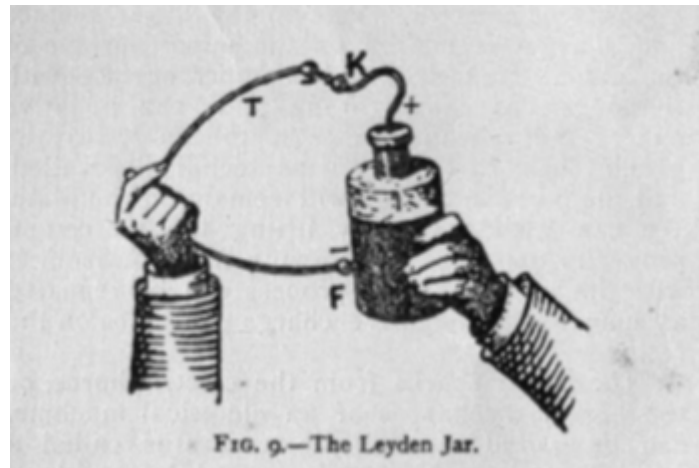


Figura 11. Garrafa de Leyden. Munro. *The story of electricity*, 22.

Franklin usou uma pipa para atrair raios em uma tempestade e, assim, carregar eletricamente uma garrafa de Leyden. Uma vez com a garrafa carregada, pôde conduzir uma série de experiências que ajudariam a estabelecer semelhanças entre os raios de um trovão e a energia elétrica gerada por fricção⁴⁸.

Elisha Gray prossegue na perspectiva histórica para o desenvolvimento do conhecimento elétrico. Em 1790, Luigi Galvani (1737-1798), um anatomista italiano, conduzia experiências com máquinas elétricas e um incidente ocorreu durante a preparação do jantar. Segundo Gray, a esposa de Galvani estava preparando rãs para fazer uma sopa e as pernas de rã ficaram posicionadas sobre a mesa perto de uma das máquinas elétricas de Galvani. Quando uma faca que estava à mesa, e tinha tido contato com a máquina elétrica, tocou a perna da rã, a perna se mexeu. A esposa de Galvani comunicou o incidente ao marido

⁴⁸ Ibid., 46.

e repetiu a experiência. É sabido que Galvani recebeu os créditos por essa descoberta, sem mencionar a participação da esposa em seus escritos, fato que Elisha Gray fez questão de divulgar em sua série de livros sobre ciência⁴⁹.

Alessandro Volta (1745-1827), professor de filosofia da faculdade de Pavia, na Itália, pesquisando o fato da eletricidade na perna da rã, concluiu que o movimento não foi causado pela eletricidade animal, mas sim por uma reação química que ocorrera entre os metais que tocaram os músculos da perna da rã⁵⁰. Esta ideia levou o cientista a construir uma pilha de camadas de zinco, cobre e um pano embebido com uma solução salina. A pilha voltaica era então concebida com várias partes deste trio e gerava um choque elétrico forte.

Para Gray, o tipo de eletricidade gerada por Galvani e Volta era o mesmo, sendo o trabalho de Volta uma espécie de construção da bateria galvânica. O nome atribuído à unidade de pressão elétrica ou força eletromotiva, “Volt”, porém, foi pensado como homenagem a Alessandro Volta⁵¹.

O conceito químico que Volta aplicara no desenvolvimento de sua pilha mostrou um caminho de pesquisa interessante para Humphry Davy (1778–1829). O cientista fez uma série de experimentos passando corrente elétrica por diversas soluções químicas e, assim, descobriu novos elementos, como o sódio e o potássio. Ainda segundo Gray, como resultado dessas pesquisas, Davy criou uma teoria das combinações químicas, afirmando que os

⁴⁹ Ibid., 12-13.

⁵⁰ Ibid., 13.

⁵¹ Ibid., 14.

elementos químicos são ligados por uma corrente elétrica, teoria que foi predominante durante todo o século XIX⁵².

2.1 A mensuração dos fenômenos eletromagnéticos

O francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) desenvolveu um aparato para medição da quantidade de cargas elétricas estáticas presentes em uma garrafa de Leyden. A Balança de Torção, como ficou conhecida, foi fundamental para a formulação da que leva seu nome, que postula que a força elétrica entre objetos é inversamente proporcional à distância entre eles.

Coulomb foi um filósofo natural, com grande interesse pela História da mecânica, da eletricidade e do magnetismo. Suas pesquisas renderam publicações importantes para a área, como a obra *Théorie des Machines Simples, En Ayant Égard au Frottement de Leurs Parties et à la Roideur des Cordages*, e, posteriormente, em 1784, *Mémoire Recherches Théoriques et Expérimentales sur la Force de Torsion et sur l'Élasticité des Fils de Metal*. Suas memórias apresentam os resultados dos experimentos sobre a força de torção usando fios de metal alocados dentro de uma balança de torção⁵³.

⁵² McClellan & Dorn. *Science and Technology in World History*, 303.

⁵³ Coulomb, *Mémoires sur l'Électricité et le Magnétisme*, 569.

Em 1785, Coulomb publicou suas memórias sobre eletricidade e eletromagnetismo no livro intitulado *Premier Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme*⁵⁴. Nesta obra, o autor apresenta os resultados de sua pesquisa sobre equilíbrio de torção para a investigação experimental da distribuição de eletricidade em superfícies e das leis de ação elétrica e magnética. Coulomb apresentou uma explicação para as leis da atração e repulsão entre cargas elétricas e polos magnéticos, mostrando que a atração e a repulsão ocorriam devido a diferentes tipos de fluidos⁵⁵.

Coulomb então descreveu como construir essa balança elétrica, posteriormente conhecida como Balança de Torção, baseado na propriedade dos fios metálicos terem uma força de torção de reação proporcional ao ângulo de torção. Com isso, pode deduzir que dois corpos eletrificados com o mesmo tipo de energia sofreriam repulsão⁵⁶: “... a ação repulsiva que as duas bolas eletrificadas da mesma natureza da eletricidade exercem uma sobre a outra segue a razão oposta do quadrado das distâncias.”⁵⁷

Na *Second Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme*, o pesquisador concluiu que os fluidos magnéticos e os elétricos atuavam por repulsão ou atração. Assim, a força atrativa entre duas esferas de cargas opostas seria proporcional ao produto das quantidades de cargas nas esferas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as esferas⁵⁸.

⁵⁴ Ibid., 569.

⁵⁵ Ibid., 570.

⁵⁶ McClellan & Dorn, 305.

⁵⁷ Coulomb, 572.

⁵⁸ Ibid., 578.

Em sua *Troisième Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme*, o cientista explicou sobre a quantidade de eletricidade que um corpo isolado perde em um determinado intervalo de tempo, seja por contato com ar menos úmido ou nos suportes mais ou menos propícios à condução elétrica⁵⁹.

Já na *Quatrième Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme*, o autor concluiu que as duas principais propriedades do fluido elétrico seriam demonstráveis. Primeiramente, este fluido não se expandia em qualquer objeto de acordo com uma afinidade química ou por uma atração eletiva, mas se dividia entre diferentes objetos colocados em contato. Em segundo lugar, na condução entre objetos, depois de atingir um estado de estabilidade, o fluido se expandiria na superfície do corpo e não penetraria no interior⁶⁰.

Em sua obra, Coulomb concluiu que existia uma relação inversa da força entre as cargas elétricas e o quadrado de sua distância. Observou ainda a mesma relação entre os polos magnéticos. Posteriormente, tais conclusões foram sistematizadas sob a denominada lei de Coulomb.

⁵⁹ Ibid., 612.

⁶⁰ Ibid., 67.

2.2 Estudos sobre os fenômenos eletromagnéticos

Uma série de estudiosos dedicou-se aos trabalhos sobre os fenômenos eletromagnéticos, construindo uma base que daria sustentação a um grande número de inventos. Trataremos de alguns desses estudiosos, selecionando o que mais de perto se relacionava ou viria a se relacionar – explicando o funcionamento – com os aparatos mencionados nesta tese.

2.2.1 HANS CHRISTIAN OERSTED

O dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) ministrou uma série de palestras para a divulgação científica quando trabalhava como professor da Universidade de Copenhague, em 1806. Suas pesquisas iniciais estavam no campo da eletricidade e acústica. Em um de seus experimentos usou um fio condutor de um circuito elétrico fechado sobre uma bússola, o que fez com que a agulha da bússola mudasse de direção⁶¹.

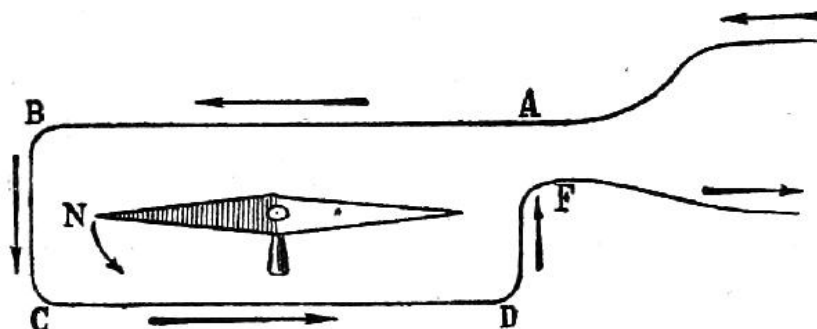


Figura 13. O efeito magnético em uma corrente elétrica. Potamian & Walsh. *Makers of Electricity*, 343.

⁶¹ McClellan & Dorn, 303.

Isso revelou que o fio eletrificado exerceria uma força magnética a seu redor e, justamente esse campo magnético, alteraria a posição da agulha da bússola. Com esse experimento, Oersted demonstrou que o fenômeno elétrico era intrinsecamente relacionado ao fenômeno magnético, sendo possível gerar um campo magnético a partir de uma corrente elétrica. O campo magnético produzido por corrente elétrica manifestava-se em forma de círculos concêntricos e as forças magnéticas mostravam uma dependência do inverso do quadrado da distância⁶².

Outros estudiosos foram os físicos franceses Jean-Baptiste Biot e Félix Savart. Eles desenvolveram uma fórmula matemática para calcular o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que recebeu seus nomes: a Lei de Biot-Savart.

A intensidade do campo magnético é diretamente proporcional à corrente elétrica que passa pelo condutor e inversamente proporcional à distância entre o ponto de referência e o centro do fio. Oersted descobriu, então, que a alternância de abertura e fechamento de um circuito elétrico geraria um efeito magnético em um cabo paralelo à agulha da bússola. Com isso, o cientista pôde demonstrar o efeito magnético da corrente elétrica em movimento e estabelecer o princípio científico que, mais tarde, seria aplicado na criação de um motor elétrico e do telégrafo.⁶³

⁶² Ibid., 307.

⁶³ Ibid., 303.

2.2.2 ANDRÉ-MARIE AMPÈRE

O cientista francês André-Marie Ampère (1775-1836), natural de Lyon, apresentou desde muito cedo uma paixão por leitura. Seus assuntos de interesse eram vastos, passando por história, filosofia, matemática, literatura e poesia. Em 1802, Ampère escreveu sobre a teoria matemática dos jogos, publicando o livro *Considération sur la Théorie Mathématique du Jour*, obra que iniciou sua carreira profissional e o conduziria à vaga de professor de matemática na *École Polytechnique* de Paris, em 1813⁶⁴.

Anos mais tarde, em 1820, ao se deparar com o trabalho de Oersted, Ampère iniciou experimentos que o ajudaram a compreender melhor a ideia de que o fenômeno elétrico estaria intrinsecamente relacionado com o fenômeno magnético. Ampère construiu a balança eletrodinâmica, um aparato feito de uma parte de cobre em forma de U, posicionado como um pêndulo e eletrificado com um fio condutor, e outra parte sendo apenas um fio condutor. Ao passar uma corrente elétrica na mesma direção do fio condutor paralelo, o pêndulo era atraído, e quando a corrente era invertida, o pêndulo era repelido. O fluxo da corrente elétrica criara um campo magnético em seu entorno e, assim, o comportamento de atração e repulsão esperado de um ímã era observado em uma corrente elétrica.⁶⁵

⁶⁴ Potamian & Walsh. *Makers of Electricity*, 383.

⁶⁵ *Ibid.*, 210.

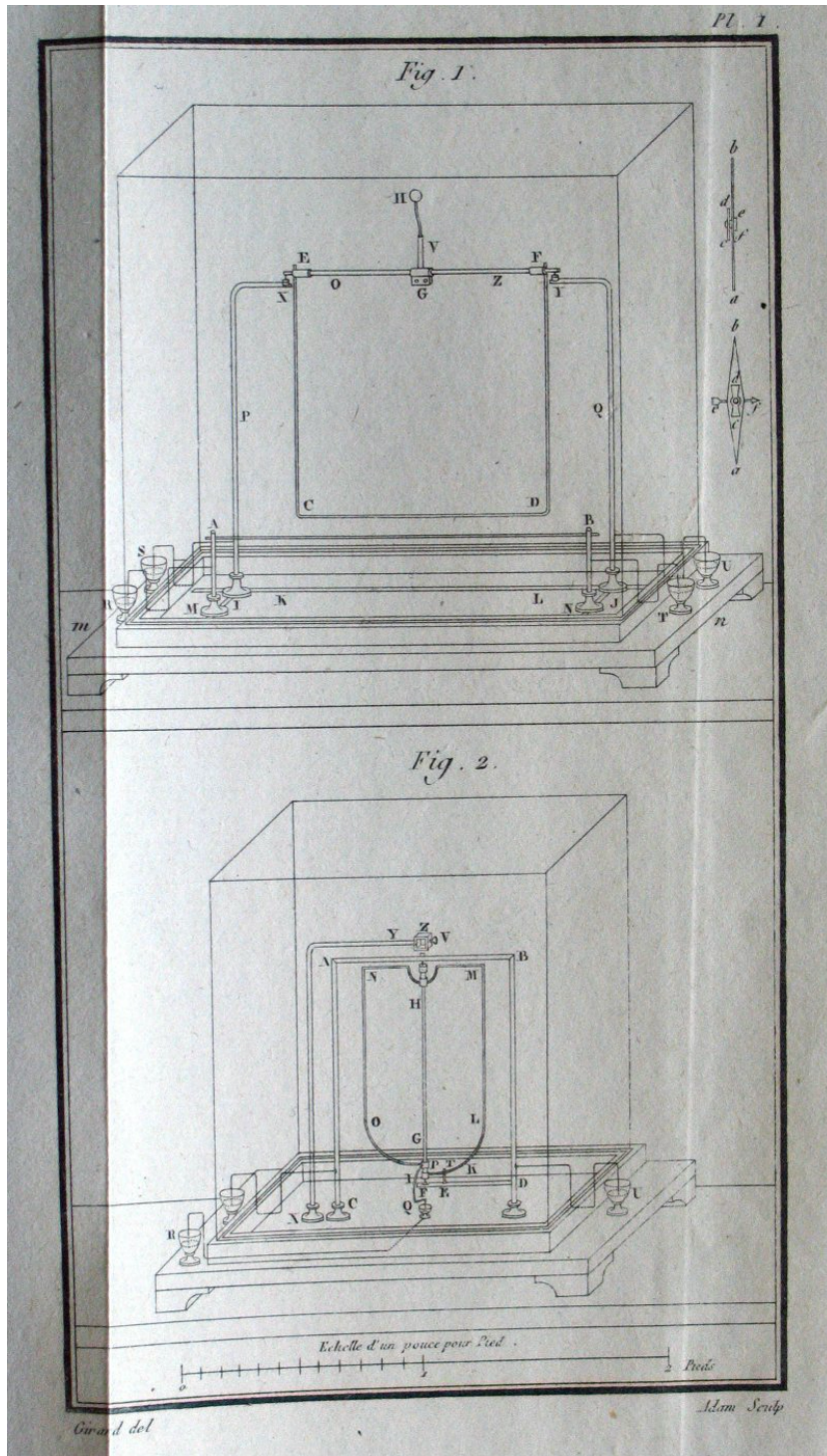


Figura 14. Balança eletrodinâmica. *Recueil d'Observations électro-Dynaiques*, 391.

Este experimento é de particular interesse para nossa pesquisa, pois é a base do funcionamento do telégrafo e do microfone, invenções fundamentais na manufatura do telefone e, conseqüentemente, do gravador eletromagnético, que será explorado com mais detalhes à frente.

Ampère também conduziu experimentos com um fio enrolado em forma de bobina e uma pilha voltaica. Mais uma vez, pôde observar que a agulha de uma bússola se movia para alinhar-se ao campo magnético criado pela corrente elétrica, reforçando a importância dos experimentos de Oersted⁶⁶. A partir dessas experiências, dedicou-se a formular uma teoria capaz de explicar o fluxo eletrodinâmico, unindo eletricidade e magnetismo sob uma única lei natural. A força magnética manifesta-se em um circuito elétrico fechado e em movimento; quanto maior a intensidade da corrente, maior é a força magnética.

Em sua teoria, um átomo seria circundado por um elétron que, ao ser atingido por uma corrente elétrica, se transformaria em um pequeno ímã. Os átomos de um ímã permanente estariam alinhados na mesma direção; em outros materiais, o alinhamento dos átomos seria irregular, o que causaria a anulação dos efeitos magnéticos⁶⁷.

A pesquisa de Ampère concluiu que correntes iguais e opostas gerariam forças iguais e opostas; uma corrente tortuosa seria equivalente a uma reta, desde que as duas correntes quase coincidissem ao longo de todo o seu comprimento; correntes iguais que percorrem curvas fechadas semelhantes e de localização semelhante atuariam com forças iguais,

⁶⁶ Nye, *The Cambridge History of Science*, 311.

⁶⁷ Potamian & Walsh, 201.

quaisquer que fossem as dimensões lineares dos circuitos; e uma corrente fechada não exerceria força, tendendo a girar um condutor circular em torno de seu centro⁶⁸.

2.2.3 Michael Faraday

Michael Faraday (1791-1867) foi um físico experimental inglês que mantinha o hábito da leitura e de estudos acerca de vários assuntos de seu interesse. Em 1810, teve o privilégio de assistir a algumas aulas do filósofo natural John Tatum (1772-1858) e, posteriormente, palestras do presidente da *Royal Society* Humphry Davy (1778-1829)⁶⁹. Logo foi convidado para ser assistente de laboratório de Davy e, em 1825, tornou-se membro da *Royal Society*⁷⁰.

Os estudos sobre fenômenos eletromagnéticos eram feitos sem uma aplicação matemática aprofundada. Em vez disso, Faraday concebia os efeitos da eletricidade e do magnetismo visualmente como distorções mecânicas no espaço⁷¹.

Estudando as limalhas de ferro distribuindo-se em torno de um ímã, Faraday começou a desenvolver sua teoria de campos eletromagnéticos e das linhas de força emanadas dos ímãs e das correntes elétricas.⁷²

⁶⁸ Niven, 193.

⁶⁹ Gladstone, *Michael Faraday*, 67.

⁷⁰ *Ibid.*

⁷¹ Nye, 312.

⁷² *Ibid.*

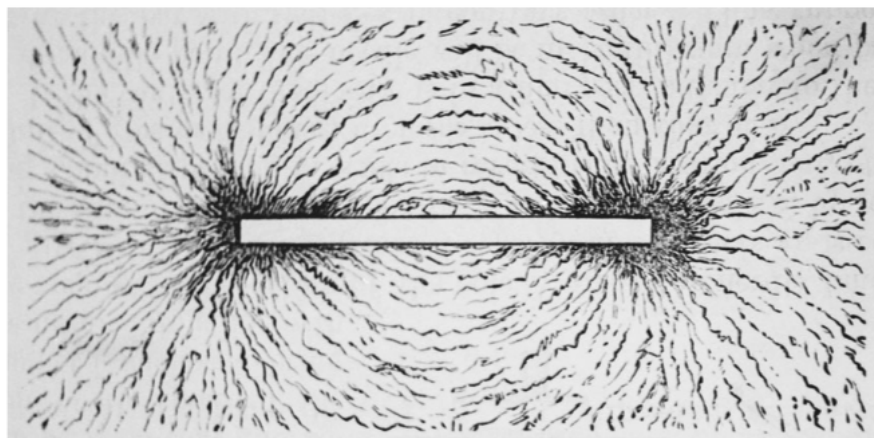


Figura 15. Linha de força de Faraday. Gladstone. *Michael Faraday*, 67.

Fica claro que a pesquisa de Faraday unia a teoria científica e suas aplicações tecnológicas, sendo de fundamental importância a criação de aparatos de laboratório que o auxiliassem a medir o campo magnético. Sabendo que um campo elétrico apresentava um comportamento magnético, o cientista dedicou-se a provar que o inverso também seria possível.

Em um experimento em 1826, estudando os conceitos apresentados por Oersted e Ampère, Faraday provou que era possível gerar um campo magnético quando uma corrente elétrica passasse por um condutor, e que dois cabos com corrente elétrica se comportavam como ímãs, demonstrando que duas correntes paralelas se atraíam. A partir disso, o cientista formulou uma lei do inverso do quadrado para forças entre elementos, o que explicava totalmente o efeito observado por Oersted⁷³.

⁷³ Ibid., 313.

Faraday, então, começou a se questionar sobre como um ímã agia sobre outro ímã e se uma corrente elétrica poderia ser produzida a partir de um campo magnético. E, se uma corrente elétrica influenciava outra corrente elétrica, seria possível criar uma corrente elétrica a partir de um campo magnético?

Continuando suas experiências, descobriu que, enrolando um pedaço de fio isolado em torno de um ferro, trazendo as duas extremidades do cabo muito próximas uma da outra e, em seguida, colocando o ferro nos polos de um ímã permanente e empurrando-o para longe, uma faísca passava entre as duas extremidades do fio. Faraday havia desenvolvido um dínamo⁷⁴, assim descrito por Gray:

“O dínamo é uma máquina que converte energia mecânica em energia elétrica, e o grande valor prático da energia nessa forma é que ela pode ser distribuída economicamente através de um condutor por muitas milhas. Podemos transmitir energia mecânica por meio de uma corda ou cabo por uma distância limitada, mas com grande perda por fricção. Podemos transmitir energia através de tubos por meio de ar comprimido ou vapor, mas há uma grande perda, especialmente no caso do vapor, por condensação do frio. Nenhum desses métodos está disponível para longas distâncias. Outra vantagem que a eletricidade tem sobre outras formas de energia é a velocidade com a qual ela pode ser transmitida de um lugar para outro. Nesse aspecto, não tem rival exceto a luz. Mas não fomos capazes de aproveitar a luz e disponibilizá-la para transportar mercadorias ou notícias, exceto no último caso por uma curta distância, piscando-a em sinais acordados.”⁷⁵

Em 1845, Faraday conduziu experimentos e determinou que alguns materiais eram mais propensos a serem atraídos pelo campo magnético e outros seriam mais propensos a

⁷⁴ Gray, 67.

⁷⁵ Ibid., 67-68.

serem repelidos. Para os materiais atraídos por imãs, Faraday usou a nomenclatura Paramagnético. São eles: Ferro, Níquel, Cobalto, Alumínio, Manganês, Cromo, Cério, Titânio, Platina, minérios e sais desses metais e Oxigênio. Para os materiais repelidos por imãs, Faraday adotou a nomenclatura Diamagnético. São eles: Bismuto, Fósforo, Antimônio, Zinco, Mercúrio, Chumbo, Prata, Cobre, Ouro, Água, Álcool, Telúrio, Selênio, Enxofre, Tálcio, Hidrogênio e Ar.⁷⁶

A coleção de materiais ideais para o uso eletromagnético seria de vital importância para inventores que decidiram explorar as características do fenômeno, sendo a base da manufatura de equipamentos como o telégrafo e, posteriormente, o telefone.

As pesquisas de Oersted, Ampère e, subsequentemente, as experiências de Faraday abriram caminho para uma experimentação mais apurada; assim, aparelhos como o galvanômetro foram inventados justamente para aumentar o controle sobre as experiências. Esses aparatos foram também utilizados nos primeiros telégrafos elétricos e, com isso, a eletricidade saiu dos laboratórios de pesquisa para o campo prático.⁷⁷

⁷⁶ Munro, 51.

⁷⁷ Ibid., 56.

2.2.4 James Clerk Maxwell

É fato que um trabalho de pesquisa acadêmica influencia outros trabalhos e cria condições para melhores experimentos e a criação de novas teorias. O trabalho do escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) incorporou o espírito colaborativo e acumulativo que percorreu a ciência em todo o século XIX. O que observamos com sua obra é justamente a junção das ideias e experimentos de todos os cientistas aqui mencionados, criando uma síntese que culminou em uma teoria geral⁷⁸.

Maxwell foi capaz de integrar os conhecimentos existentes de sua época e se propôs a trabalhar temas como a teoria elementar de instrumentos ópticos, a teoria das três cores primárias, a estabilidade do movimento dos anéis de saturno, a teoria cinética dos gases e, também, o eletromagnetismo⁷⁹. A genialidade de Maxwell não ficou restrita ao eletromagnetismo, apesar de certamente ser o aspecto mais famoso de sua obra.

Nascido em Edimburgo em 13 de junho de 1831, Maxwell estudou na *Edinburgh Academy*. Aos quatorze anos, apresentou seu primeiro trabalho acadêmico sobre o processo de desenhar uma elipse usando uma corda e dois pinos distanciados, mantendo a corda esticada com a ponta do lápis e movendo-o para os lados. Este trabalho trouxe um método diferente de formar os focos de uma elipse⁸⁰.

Desde o primeiro trabalho até o ano de 1877, quando se afastou das atividades acadêmicas, Maxwell construiu uma vasta carreira. Ocupou uma cadeira de filosofia natural

⁷⁸ Feynman, Leighton & Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, 1.

⁷⁹ Niven, Preface X.

⁸⁰ Ibid.

no *Marischal College* em Aberdeen, foi professor de matemática na *Queens's College*, em Belfast, e foi professor de física e astronomia no *King's College*, em Londres. Em 1858, foi vencedor do prêmio Adams da Universidade de Oxford por seu trabalho sobre a estabilidade dos anéis de Saturno⁸¹.

A teoria eletromagnética foi apresentada por Maxwell nos trabalhos *On Faraday's Lines of Force*, de 1861, e *On Physical Lines of Force*, de 1862. Influenciado pelas pesquisas de Oersted, Ampère e Faraday, Maxwell escreveu em seu trabalho sobre as linhas de força:

“Suponho que os fenômenos da eletricidade estática já foram explicados pela ação mútua de dois tipos opostos de matéria. Se considerarmos uma delas como eletricidade positiva e a outra como negativa, então quaisquer duas partículas de eletricidade se repelem com uma força que é medida pelo produto das massas das partículas dividido pelo quadrado de sua distância⁸².”

Outros pensadores foram importantes para o trabalho de Maxwell. Por exemplo, Joseph John Thomson (1856-1940), que estabeleceu a relação entre as equações de eletrostática com as equações do fluxo de calor. Igualmente importante foi George Gabriel Stokes (1819-1903) com seu trabalho sobre integração de formas diferenciais, conhecido como o teorema de Stokes, o que possibilitou Maxwell resolver diversos teoremas do cálculo vetorial⁸³.

⁸¹ Ibid., xiv.

⁸² Ibid., 175.

⁸³ Ibid., xiii.

Munido de todos esses conhecimentos, Maxwell passou a investigar o fenômeno eletromagnético com a intenção de entender todo o seu funcionamento. Sua primeira observação indicava que aquilo que se passava em superfícies elementares também acontecia em superfícies de magnitude finita; portanto, quaisquer duas superfícies limitadas pela mesma curva fechada teriam a mesma quantidade de indução magnética.

Maxwell, então, propôs importantes axiomas: duas partículas de eletricidade, quando em movimento, não se repeliam com a mesma força que quando em repouso, mas a força era alterada por uma quantidade que dependia do movimento relativo das duas partículas. Portanto, quando a eletricidade estava se movendo em um condutor, a velocidade do fluido positivo relativamente à matéria do condutor era igual e oposta àquela do fluido negativo. A ação total de um elemento condutor em outro elemento condutor seria o resultado das ações mútuas das massas de eletricidade de ambos os tipos que estavam em cada uma delas. E a força eletromotriz em qualquer ponto era a diferença das forças que atuavam nos fluidos positivo e negativo.⁸⁴

O fenômeno eletromagnético acontece devido à existência de matéria sob certas condições de movimento ou de pressão em todas as partes do campo magnético. A densidade é maior no metal e menor em substâncias diamagnéticas, exatamente como proposto por Faraday anteriormente.

⁸⁴ Ibid., 208.

Em qualquer parte do campo onde passam as linhas de força magnética, a pressão será desigual e em direções diferentes⁸⁵. Essa desigualdade de pressão é produzida pela existência de vórtices, tendo seus eixos na direção das linhas de força, e tendo seu sentido de rotação determinado pelas linhas de força.⁸⁶

Para a criação desta teoria, Maxwell utilizou um conceito mecânico de vórtices, os quais são separados uns dos outros por uma camada de partículas redondas, formando um sistema de células capaz de girar como um vórtice, sendo isso uma partição da camada de partículas.

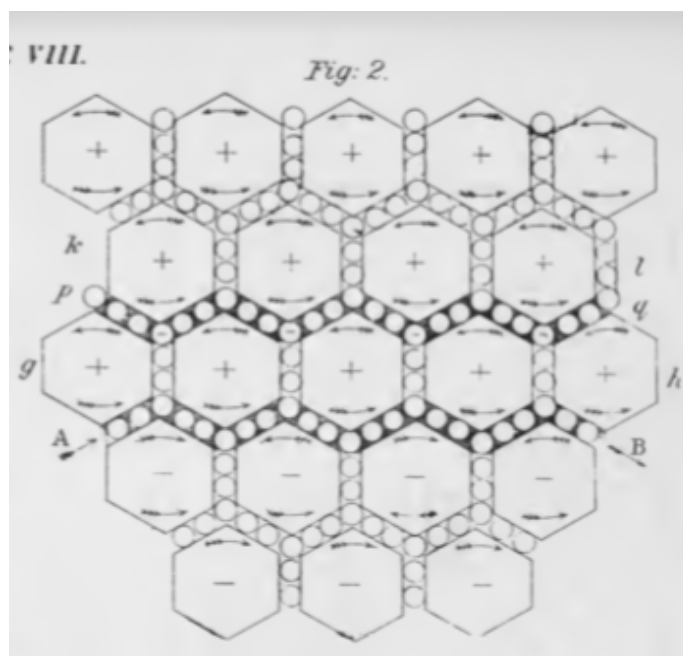


Figura 16. Vórtices de Maxwell. *The scientific papers of James Clerk Maxwell*, p489.

⁸⁵ Ibid.

⁸⁶ Ibid., 485.

Maxwell explica os fundamentos desta teoria:

“Os corpos sólidos são compostos de moléculas distintas, que são mantidas a uma certa distância umas das outras pelos princípios opostos de atração e calor. Quando a distância entre duas moléculas é alterada, elas atuam umas sobre as outras com uma força cuja direção está na linha que une os centros das moléculas, e cuja magnitude é igual à mudança de distância multiplicada em função da distância, a qual desaparece quando essa distância se torna sensível.⁸⁷”

As partículas que formam essa camada estavam em contato de rolagem com ambos os vórtices que elas separam, mas não se esfregavam umas nas outras. Eles estariam livres para rolar entre os vórtices e, assim, mudar de lugar, contanto que escorressem dentro de uma molécula completa da substância; mas, passando de uma molécula para outra, experimentavam resistência e geravam movimentos irregulares, constituindo o calor⁸⁸.

Para Maxwell, essas partículas desempenhavam o papel da eletricidade. Seu movimento constituiria a corrente elétrica, sua rotação serviria para transmitir o movimento dos vórtices de uma parte do campo para outra e as pressões tangenciais colocadas em movimento constituiriam força eletromotriz⁸⁹.

O próprio cientista disse, na apresentação de sua teoria, que a concepção de uma partícula, tendo seu movimento conectado a um vórtice por um contato de rolagem, poderia parecer um tanto estranha. Então, Maxwell deduziu que o modo de conexão mecânica das partículas era uma maneira de ilustrar o fenômeno, servindo para realçar as conexões

⁸⁷ Ibid., 30.

⁸⁸ Ibid., 486.

⁸⁹ Ibid., 487.

mecânicas reais entre os fenômenos eletromagnéticos conhecidos. Contudo, esse sistema, para Maxwell, era de caráter provisório, servindo de base para a busca da verdadeira interpretação dos fenômenos⁹⁰.

Com essa informação em mente, continuaremos a abordar a proposta de Maxwell. Quando uma corrente elétrica ou um ímã é movido na presença de um condutor, a velocidade de rotação dos vórtices em qualquer parte do campo é alterada por esse movimento. A força pela qual a quantidade adequada de rotação é transmitida para cada vórtice constitui, neste caso, também uma força eletromotriz e, se permitido, produzirá correntes.⁹¹

Da mesma forma, quando um condutor é movido em um campo de força magnética, os vórtices nele e em sua vizinhança são deslocados e alterados em sua forma. A força que surge dessas mudanças constitui a força eletromotriz em um condutor em movimento e é matematicamente a mesma que a determinada pelo experimento.⁹²

Apesar da forma teórica apresentada no trabalho, o cientista concluiu que os experimentos trouxeram conclusões independentes das hipóteses citadas. Assim pôde observar a indução de correntes elétricas pelo aumento ou diminuição de correntes vizinhas de acordo com as mudanças nas linhas de força que passavam pelo circuito, a distribuição da intensidade magnética de acordo com as variações de um potencial magnético e, por fim, a indução ou influência da eletricidade estática através de dielétricos⁹³.

⁹⁰ Ibid., 486.

⁹¹ Ibid., 491.

⁹² Ibid., 488.

⁹³ Ibid., 564.

Maxwell propôs um conjunto de leis que regiam o fenômeno eletromagnético:

“Lei I. Toda a intensidade eletrônica ao redor do limite de um elemento de superfície mede a quantidade de indução magnética que passa por aquela superfície, ou, em outras palavras, o número de linhas de força magnética que passam por aquela superfície”. [...]

“Lei II. A intensidade magnética em qualquer ponto é conectada com a quantidade de indução magnética por um conjunto de equações lineares, chamadas de equações de produção”. [...]

“Lei III. Toda a intensidade magnética ao redor do limite de qualquer superfície mede a quantidade de corrente elétrica que passa por essa superfície”. [...]

“Lei IV. A quantidade e a intensidade das correntes elétricas são conectadas por um sistema de equações de condução”. [...]

“Lei V. O potencial eletromagnético total de uma corrente fechada é medido pelo produto da quantidade da corrente multiplicada por toda a intensidade eletrotônica estimada na mesma direção ao redor do circuito”. [...]

“Lei VI. A força eletromotriz em qualquer elemento de um condutor é medida pela taxa instantânea de mudança da intensidade eletrotônica naquele elemento, seja em magnitude ou direção”.⁹⁴

Maxwell finaliza seu estudo do fenômeno eletromagnético com a sistematização matemática de todos os experimentos e teorias apresentados até então. O objetivo dessas equações gerais do campo eletromagnético seria expressar a relação entre o deslocamento elétrico, a condução real e a corrente total, composta dos seguintes aspectos:

A relação entre o deslocamento elétrico, a condução verdadeira e a corrente total, composta de ambos; entender a relação entre as linhas de força magnética e os coeficientes

⁹⁴ Ibid., 206-7.

indutivos de um circuito, como já tinha deduzido nas leis de indução; compreender a relação entre a força de uma corrente e seus efeitos magnéticos, de acordo com o sistema eletromagnético de medição; achar o valor da força eletromotriz em um corpo, como decorrente do movimento do corpo no campo, a alteração do próprio campo e a variação do potencial elétrico de uma parte do campo para outra; calcular a relação entre o deslocamento elétrico e a força eletromotriz que o produz, assim como a relação entre uma corrente elétrica e a força eletromotriz que a produz; avaliar a relação entre a quantidade de eletricidade livre em qualquer ponto e os deslocamentos elétricos ao redor e, por fim, entender a relação entre o aumento ou a diminuição da eletricidade livre e as correntes elétricas ao redor⁹⁵.

O cientista apresentou suas equações gerais do campo eletromagnético adaptando algumas equações já conhecidas, como a Lei de Gauss, a Lei de Faraday e a Lei de Ampère⁹⁶.

Maxwell's Equations

$$\begin{aligned} (1) \quad \nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ (2) \quad \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ (3) \quad \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ (4) \quad c^2 \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\mathbf{j}}{\epsilon_0} \end{aligned}$$

⁹⁵ Ibid., 534.

⁹⁶ Feynman, Leighton & Sands, 18.

No próximo capítulo, veremos como esses conceitos foram aplicados na criação de aparatos eletromagnéticos, como o telegrafo e o telefone, e, posteriormente, o *Telegraphone*.

CAPÍTULO 3 – O GRAVADOR ELETROMAGNÉTICO

Após a análise sistemática de Maxwell, as pesquisas sobre eletromagnetismo avançaram rapidamente. Inúmeros cientistas e engenheiros apresentaram aparelhos capazes de transmitir sinais eletromagneticamente e esses contribuíram muito para a criação de um novo sistema de comunicação. Neste capítulo, vamos apresentar e discutir as várias fases de criação do gravador eletromagnético.

3.1 Telégrafo

Um exemplo da aplicação prática dos estudos sobre eletromagnetismo foi o desenvolvimento do telégrafo por volta de 1833, quando os cientistas alemães Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) e Wilhelm Eduard Weber (1804-1891) fizeram transmissões de sinais por aproximadamente um quilômetro de cabos na cidade de Gottingen, na Alemanha.

Outras experiências foram conduzidas, em 1835, pelo cientista americano Joseph Henry (1797-1878), que conseguiu produzir um efeito em um galvanômetro por indução elétrica a uma distância de seis metros, usando um conjunto de baterias e circuitos elétricos⁹⁷.

Com o aprimoramento do conhecimento sobre eletricidade, o telégrafo tornou-se uma opção para a transmissão de dados. A prática de enviar e receber sinais estava cada vez mais apurada e todas as transmissões foram conduzidas usando o princípio da indução elétrica, pelo qual uma bobina primária induz eletricidade para uma bobina secundária, a distâncias relativamente curtas.

Em 1837, o empresário inglês William Fothergill Cooke (1806-1879) juntou-se ao físico Charles Wheatstone (1802-1875) para patentear o primeiro telégrafo elétrico comercialmente viável. Esta patente foi adicionada ao escritório de patentes dos Estados Unidos no ano de 1842⁹⁸.

A patente do telégrafo eletromagnético apresentava melhorias e utilidades para gerar sinais e soar alarmes em lugares distantes, por meio de correntes elétricas transmitidas através de circuitos metálicos⁹⁹. Uma estação do telégrafo mandaria sinais a um terminal, via cabo, podendo estar a alguns quilômetros de distância; esses cabos formavam linhas de extensão capazes de conduzir correntes elétricas de um terminal ao outro, formando uma grande rede de transmissão. Entre os terminais haveria sistemas elétricos alimentados por uma bateria

⁹⁷ Gladstone, 123.

⁹⁸ Ibid., 125.

⁹⁹ Wheatstone & Cooke. Electromagnetic Telegraph, 1842, 3.

voltaica; assim, o sistema poderia se estender por uma grande área e ainda ser controlado por uma central única¹⁰⁰.

O sistema poderia ser operado por uma pessoa pela aplicação da pressão de suas mãos ou dedos em botões ou teclas, acionando o circuito que criava os sinais, ou alarmes, a distância, podendo escolher os terminais através dos quais desejava se comunicar. O sinal viajaria até um terminal e voltaria para fechar o circuito; desta forma, a corrente elétrica transmitida através desses cabos passaria sem interferência para a continuidade da corrente, fazendo-o progredir a partir da bateria voltaica através de todos os pontos intermediários entre os terminais.

O efeito elétrico produz efeito semelhante e simultâneo em todas as partes distantes do aparelho; assim, qualquer que seja o efeito que a corrente elétrica produza na parte mais remota do aparelho, espera-se um efeito semelhante e simultâneo sobre todas as outras partes¹⁰¹. A transmissão da corrente elétrica é ativada assim que o botão é pressionado, fechando o circuito, e termina quando o botão é solto, quebrando o circuito¹⁰².

Apesar da qualidade do sistema de Cooke e Wheatstone, não havia uma forma de transmitir mensagens em forma de texto; o sistema seria muito útil para sinalização, mas não para transmissão de mensagens. A solução para esse problema viria em 1840, quando Samuel Finley Breese Morse (1791-1872) apresentou uma forma de codificação capaz de transmitir inteligência entre dois pontos distantes. Sua patente US1647A ficou conhecida como código

¹⁰⁰ Ibid., 3.

¹⁰¹ Ibid., 3.

¹⁰² Ibid., 4.

Morse. O código Morse poderia contemplar palavras e números representativos, sentenças de palavras, numerais e letras de qualquer extensão e combinação, podendo ser transmitido para qualquer estação que tivesse um terminal¹⁰³.

Os signos dos numerais são formados de dez pontos ou perfurações sobre papel, e em número correspondente ao numeral desejado para ser representado. Assim, um ponto para o numeral 1, dois pontos para o numeral 2, e assim sucessivamente até o numeral 9, e dez para 0. Os signos das letras consistem em variações dos pontos, marcas e linhas que podem ser variados e combinados para representar as letras do alfabeto¹⁰⁴.

O dicionário ou vocabulário consistia em palavras ordenadas alfabeticamente e numeradas regularmente, começando com as letras do alfabeto, de modo que cada palavra na língua tenha o seu número telegráfico¹⁰⁵.

A praticidade do telégrafo, unida à flexibilidade do código Morse, logo abriria a possibilidade de conectar o continente americano com o europeu. A junção dos sistemas de telegrafia dos dois continentes por um cabo submarino começou a ser pensada. Seria um cabo tão longo que poderia unir dois continentes, usando a velocidade da transmissão elétrica para encurtar distâncias que antes levariam meses para serem percorridas.

Após algumas tentativas frustradas de passar um cabo submarino de grandes proporções, um cabo ligando a costa da Irlanda, na ilha de Valentia, até Terra Nova, no

¹⁰³ Morse. *Telegraph Signs*, 1840, 3.

¹⁰⁴ *Ibid.*, 4.

¹⁰⁵ *Ibid.*, 5.

Canadá, transmitiu, em 1858, a primeira mensagem entre continentes usando a transmissão telegráfica elétrica e o código desenvolvido por Morse¹⁰⁶.

Somente em 1866, porém, um cabo suficientemente confiável foi construído para tal ligação. Aprendendo com os erros e com as dificuldades, os profissionais envolvidos puderam colocar o novo cabo no fundo do oceano com maior precisão¹⁰⁷.

O cabo transatlântico mudou de vez a comunicação global. Seu impacto na vida cotidiana foi imenso; mesmo sendo uma forma de comunicação usada principalmente por oficiais do governo, trouxe a possibilidade de uma vida mais ágil e conectada, realizando o que parecia ser uma utopia modernista.

3.2 Telégrafo eletro-harmônico

Logo após o telégrafo tornar-se uma ferramenta de comunicação de uso diário, alguns problemas começaram a aparecer. O sistema telegráfico não suportou o grande número de usuários e a demanda crescente. Então, alguns cientistas propuseram melhorias e começaram a trabalhar em uma ideia que girava em torno da possibilidade de transmitir voz pelo cabo telegráfico.

Elisha Gray foi um proeminente cientista e inventor que, além de se dedicar às suas patentes, também contribuiu para a divulgação científica, como vimos anteriormente. Em uma de suas patentes, Gray apresentou uma forma de transmitir impressões ou sons musicais

¹⁰⁶ Bright, *Story of The Atlantic Cable.*, 135.

¹⁰⁷ *Ibid.*, 212.

através de vibrações que seriam produzidas por uma palheta afinada, colocada em ação por meio de uma série de chaves que abririam ou fechariam os circuitos elétricos¹⁰⁸.

Um teclado musical, como o de um piano, foi construído para acionar as palhetas que estavam afinadas em uma vibração com rapidez suficiente para produzir um tom musical¹⁰⁹. O instrumento foi desenvolvido para ter eletroímãs de força igual nos dois lados do transmissor e do receptor, que transmitem impulsos de igual força em cada lado da palheta alternadamente em intervalos iguais, criando uma transmissão elétrica de uma vibração isócrona¹¹⁰. A patente também continha a proposta de poder transmitir melodias produzidas através do circuito elétrico e reproduzi-las na extremidade receptora da linha¹¹¹.

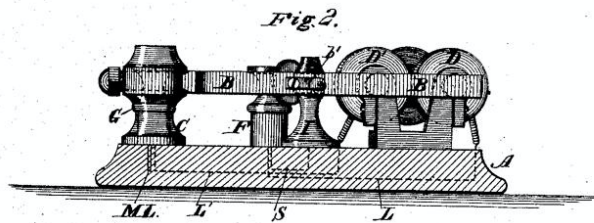
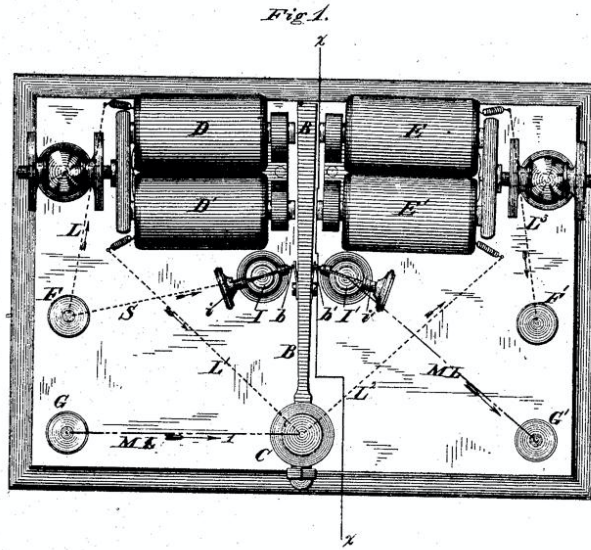
¹⁰⁸ Gray. Improvement in Electro-Harmonic Telegraphs, 1876, 1.

¹⁰⁹ Ibid.

¹¹⁰ Ibid.

¹¹¹ Ibid., 2.

E. GRAY.
Transmitter for Electro-Harmonic Telegraph.
 No. 165,728. Patented July 20, 1875.



WITNESSES

Harry King
E. Davidson

Elisha Gray. INVENTOR

By *his* Attorney

W. W. Baldwin

Figura 17: Telégrafo eletro-harmônico.

A patente de Gray, intitulada *Transmitter for Electro-Harmonic Telegraph*, mostrou uma forma real de transmitir sons e sinais via cabo. Entretanto, a criação de um instrumento musical que produzia sons por meio de geradores eletromagnéticos e que transmitia música por cabos só foi completada posteriormente, com o trabalho do inventor Thaddeus Cahill e a construção do *Telharmonium*¹¹².

A concepção de que o som é uma vibração que se propaga no ar foi primeiramente proposta por Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz em seu tratado sobre acústica, afinação e teoria musical publicado em 1863. O texto foi traduzido para o inglês e comentado por Alexander J. Ellis, sendo publicado em 1885 sob o título *On the Sensations of Tone*¹¹³.

Helmholtz afirma, em seu livro, que o som é composto por uma somatória de ondas senoidais, simples como o movimento de um pêndulo, geradas a partir de alguma fonte sonora, seja a voz humana ou uma corda de um piano. As vibrações geradas então se propagam pelo ar após serem amplificadas por algum corpo sonoro, seja o corpo humano ou o corpo de um instrumento, e chegam aos ouvidos humanos. Uma vez no ouvido, induz uma vibração no tímpano, que comunica aos ossos do sistema auditivo a exata vibração recebida¹¹⁴.

Gray e Cahill desenvolveram aparatos capazes de gerar ondas sonoras por meio da corrente elétrica, provando que era possível transmitir sons via cabos e não só o pulso elétrico do telégrafo. Essa proposta seria o equivalente da unificação dos trabalhos de Helmholtz e

¹¹² Para mais informações sobre a invenção de Thaddeus Cahill e o Telharmonium, veja: Braga, “O Telharmonium”, 33.

¹¹³ Helmholtz, 7.

¹¹⁴ Ibid., 9.

Maxwell, entendendo que o eletromagnetismo se propaga em ondas equivalentes às ondas sonoras. Mas para transmitir o som da voz, por exemplo, seria necessário criar um aparato para converter as ondas acústicas em ondas eletromagnéticas. Esse aparato viria a ser o telefone.

3.3 Aparato para converter as ondas acústicas em ondas eletromagnéticas

Um nome importante ligado à criação do telefone foi Alexander Graham Bell (1847-1922), nascido na Inglaterra, em uma família de professores dedicados à eloquência. Seu avô, seu pai e seus tios foram professores das leis do discurso em universidades europeias antes de imigrarem para os Estados Unidos. Bell manteve a tradição e tornou-se professor de eloquência, ocupando uma cadeira na universidade de Boston¹¹⁵.

Além da tradição familiar em eloquência, Alexander Graham Bell também tinha grandes interesses em acústica e eletricidade, áreas em pleno desenvolvimento na época. Além disso, demonstrava grande curiosidade sobre música, anatomia e a grande novidade de seu tempo, o telégrafo¹¹⁶.

Antes de chegar aos Estados Unidos, Bell manteve contato com o físico Charles Wheatstone, o grande entusiasta do telégrafo, e Alexander J. Ellis, responsável pela tradução do livro de Hermann Helmholtz para o inglês¹¹⁷.

¹¹⁵ Casson, *The History of the Telephone*, 12.

¹¹⁶ *Ibid.*, 15.

¹¹⁷ *Ibid.*, 16.

O livro de Helmholtz certamente teve grande impacto nas pesquisas de Bell; praticamente todos os assuntos de seu interesse foram trabalhados no texto, tais como acústica, física do som e o funcionamento do aparelho auditivo, assim como a formação do timbre da voz humana. Helmholtz apresentou o resultado de uma série de experiências em eletroacústica, método que usava em seu laboratório para sintetizar ondas sonoras e, com isso, ter maior precisão para estudá-las¹¹⁸.

Bell passou a fazer experiências com o *Phonautograph* – aparato discutido no capítulo 1 da presente tese – e com uma cápsula manométrica, ambos criados por Rudolph Koenig. Este último usava a luz de uma chama para converter ondas sonoras em imagens¹¹⁹.

Depois, por sugestão do Dr. Clarence J. Blake de recriar o ouvido médio humano, Bell desenvolveu um aparato para estudar a forma de recepção das ondas sonoras a partir do aparelho auditivo retirado de um cadáver. O resultado do experimento mostrou que o tímpano poderia transmitir vibrações sonoras para os ossículos do ouvido médio – o martelo, a bigorna e o estribo. Sabendo que a massa destes pequenos ossos era maior que a do tímpano, Bell percebeu que a transmissão de vibração sonora que ocorria no ouvido médio poderia também ocorrer de um disco de metal para um fio¹²⁰.

“Ele viu em imaginação dois discos de ferro, ou tímpanos de ouvido, distantes um do outro e conectados por um fio eletrificado, captando as vibrações do som em uma extremidade e as reproduzindo na outra¹²¹.”

¹¹⁸ Helmholtz, 5.

¹¹⁹ Ibid., 20.

¹²⁰ Casson, 26.

¹²¹ Ibid., 27.

Para desenvolver seus trabalhos, Bell passou a buscar um conhecimento mais aprofundado sobre eletricidade. Seguindo o conselho do professor Joseph Henry, Bell dedicou-se a aprender tudo o que era possível sobre eletricidade de sua época. Neste período, contratou um assistente para auxiliar em seus experimentos, Thomas A. Watson.

Em 1876, Bell apresentou sua patente, US174465, que ficou conhecida como a mais lucrativa da História. No documento, o autor descreveu o funcionamento do telefone e teceu observações importantes que distinguiam seu aparato das demais formas de telégrafo:

“Minha presente invenção consiste no emprego de uma corrente vibratória ou ondulatória de eletricidade, em contraste com uma corrente meramente intermitente ou pulsatória, e em um método e aparelho para produzir ondulações elétricas no fio de linha¹²²”.

Logo no início da explicação de sua invenção, Bell enfatizou:

“A distinção entre corrente ondulatória e corrente pulsatória será entendida considerando que as pulsações elétricas são causadas por mudanças repentinas ou instantâneas de intensidade, e que as ondulações elétricas resultam de mudanças graduais de intensidade exatamente análogas às mudanças na densidade do ar ocasionada pelas simples vibrações pendulares¹²³”.

¹²² Bell. *Telegraphy*, 1876, 1.

¹²³ *Ibid.*, 2.

E assim descreveu seu objetivo no texto da patente:

“As vantagens que pretendo derivar do uso de corrente ondulatória no lugar de uma corrente meramente intermitente são, primeiro, que um número muito maior de sinais pode ser transmitido simultaneamente no mesmo circuito; segundo, que um circuito fechado e uma única bateria principal podem ser usados; terceiro, essa comunicação em ambos os sentidos é estabelecida sem a necessidade de bobinas de indução especiais; quarto, que os despachos de cabos podem ser transmitidos mais rapidamente do que por meio de uma corrente intermitente ou pelos métodos atualmente utilizados, pois, como não é necessário descarregar o cabo antes que um novo sinal possa ser emitido, o atraso dos sinais do cabo é impedido; e quinto, que, como o circuito nunca é interrompido, um para-faíscas se torna desnecessário¹²⁴”.

¹²⁴ Ibid.

A. G. BELL.
TELEGRAPHY.

No. 174,465.

Patented March 7, 1876.

Fig 6.

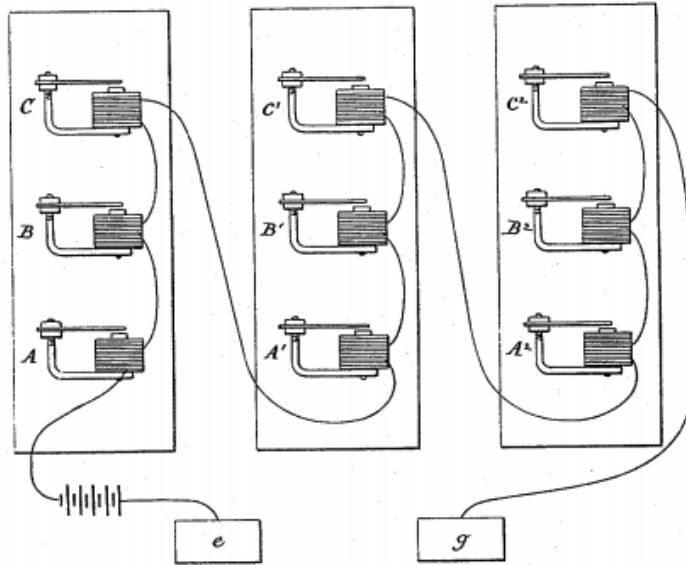
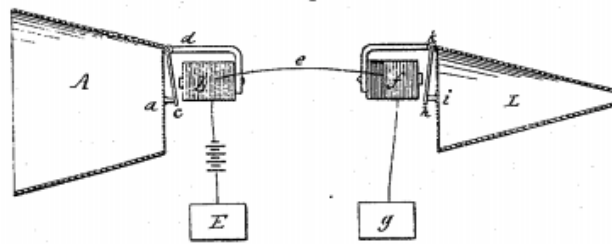


Fig. 7



Witnesses

Wells
N. J. Hutchinson

Inventor:

A. Graham Bell
by *Atty. Potter Bailey*

Figura 18: O telefone.

Fica evidente que o método de transmissão proposto na patente de Bell seria diferente da metodologia utilizada nos telégrafos (pois esse utilizava sinais intermitentes para transmitir mensagens), sendo possível a transmissão de uma forma de onda análoga à da voz humana, e que ainda seria possível a transmissão simultânea, sem esperar o recebimento do sinal de um dos lados para se poder transmitir uma resposta.

Esta forma de transmissão de sons era até então apenas uma teoria. Bell comentou:

“Sabe-se há muito tempo que, quando um ímã permanente se aproxima do polo de um eletroímã, uma corrente de eletricidade é induzida nas bobinas deste último e que, quando é feita ao contrário, uma corrente de polaridade oposta à primeira aparece no fio. Quando, portanto, um ímã permanente é vibrado em frente ao polo de um eletroímã, uma corrente ondulatória de eletricidade é induzida nas bobinas do eletroímã, cujas ondulações correspondem, em rapidez de sucessão, às vibrações do ímã, polaridade na direção de seu movimento e intensidade na amplitude de sua vibração¹²⁵”.

Obviamente uma invenção do porte do telefone não passaria sem controvérsias. Outros inventores também estavam projetando uma solução semelhante; caso de Antonio Santi Giuseppe Meucci (1808-1889), com seu aparato *Telettrofono*, e Johann Philipp Reis (1834-1874), com o *Reis Telephone*. O caso de Meucci passou 125 anos sendo analisado e, em 2001, o Congresso dos Estados Unidos, a partir da resolução nº269, reconheceu oficialmente Meucci como o inventor do telefone.

¹²⁵ Ibid., 2.

3.4 Microfone de Berliner

Considerando retrospectivamente, o microfone seria um aparato fundamental para a transmissão e gravação de sons e sinais. Daí a importância da patente US225790, apresentada em 1880 por Emile Berliner, referente a um transmissor, essencialmente um microfone. Ciente da relevância que esse transmissor poderia ter, a patente logo foi adquirida por Bell e passou a fazer parte do esquema final do telefone¹²⁶.

Como descrito no livro de Helmholtz, as ondas sonoras seriam formadas por uma somatória de ondas senoidais (ou ondas pendulares); assim, um tom composto, como a voz humana, por exemplo, seria formado de uma onda fundamental mais a somatória de seus harmônicos parciais superiores¹²⁷. O microfone alteraria a resistência elétrica a medida em que receberia essas vibrações sonoras. Desta forma, o sinal poderia ser transmitido para a outra ponta do telefone, completando o circuito.

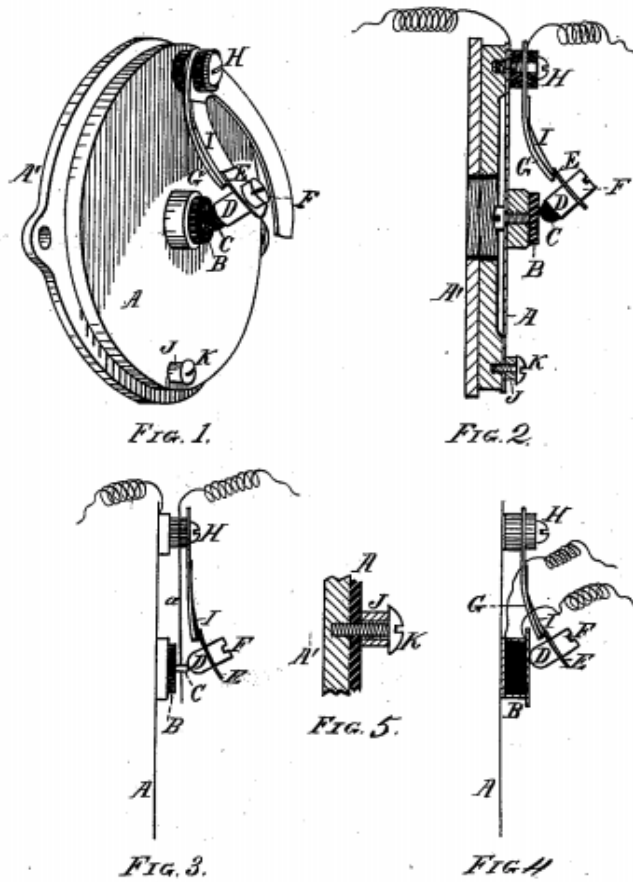
¹²⁶ Berliner. Microphone, 1880.

¹²⁷ Helmholtz, 7.

E. BERLINER.
Microphone.

No. 225,790.

Patented Mar. 23, 1880.



Witnesses:
Chas. E. Burlingame
Arthur H. Vinal

Inventor:
Emile Berliner
By his Atty.
Alex. S. Hayes

Figura 19. Microfone de Berliner.

3.5 Telegraphone

Com os trabalhos do inventor dinamarquês Valdemar Poulsen (1869-1942), entramos em aperfeiçoamentos que levariam, finalmente, a um gravador magnético, conforme o protótipo descrito em 1900 na patente US661619¹²⁸, nos Estados Unidos. Antes, porém, Poulsen já havia entrado com pedido de patente na Europa desde 1898. Sua invenção, batizada de *Apparatus for Effecting the Storing of Speech or Signals*, posteriormente, ficaria conhecida como *Telegraphone*.

Na patente, o inventor descreveu um método de gravação de sons e sinais que integraria o circuito de telefonia, podendo ser usado tanto para gravar recados como para reproduzir mensagens previamente gravadas. Essa patente serviu de base para o desenvolvimento da gravação eletromagnética de sons e de sua reprodução com o mínimo de perda de qualidade para os padrões da época e, portanto, merece nosso olhar atento.

A forma eletromagnética de gravação de sons e sinais apresentada por Poulsen, nesta patente, trazia grandes diferenças em relação ao formato de gravação mecânica proposta por Thomas Edison anos antes. O som gravado magneticamente era mais claro, mais articulado e seu suporte poderia ser desmagnetizado, ou seja, apagado, e depois, poderia ser reutilizado no mesmo aparelho sem a necessidade de trocar bobinas ou cilindros¹²⁹.

¹²⁸ Poulsen. *Apparatus for Effecting the Storing up of Speech or Signals*, 1900.

¹²⁹ *Ibid.*

No. 661,619.

Patented Nov. 13, 1900.

V. POULSEN.

METHOD OF RECORDING AND REPRODUCING SOUNDS OR SIGNALS.

(Application filed July 8, 1899.)

(No Model.)

3 Sheets—Sheet 1.

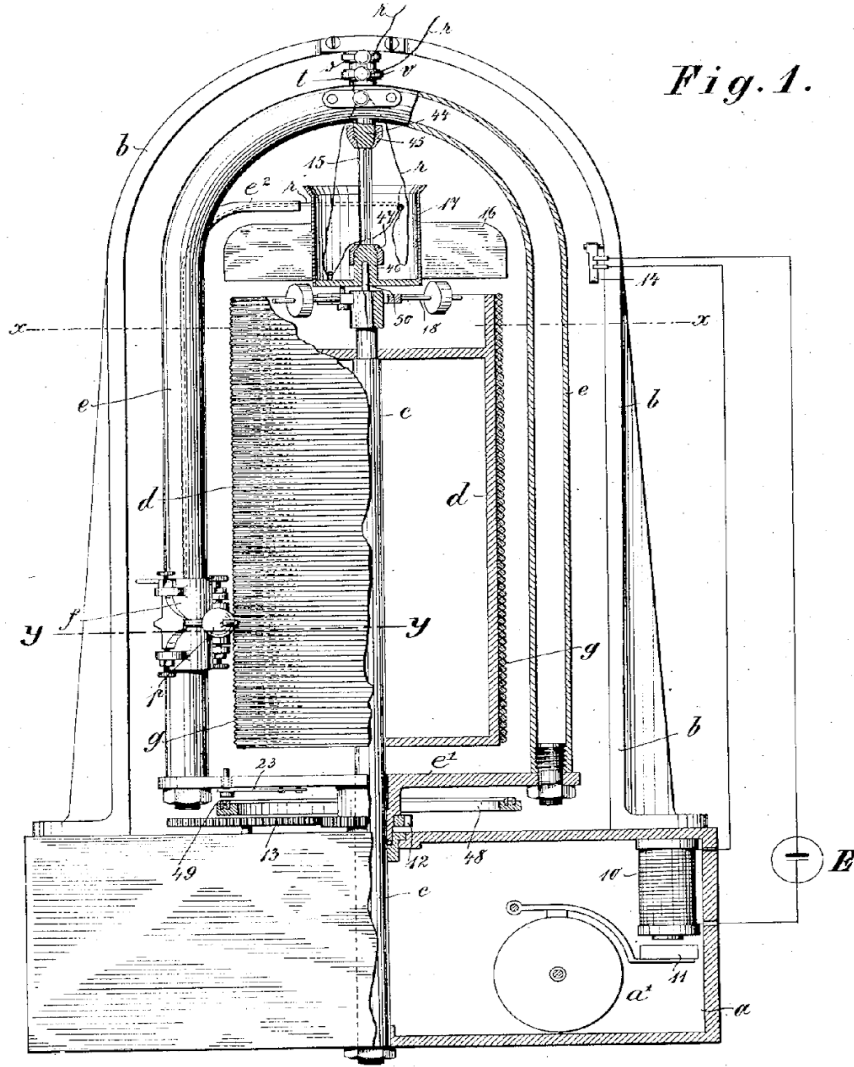


Fig. 1.

Witnesses:
Frank J. Ober
Waldo M. Chapin

Inventor:
 Valdemar Poulsen,
 by *Wm. A. Rosubann*
 Att'y.

Figura 20: Patente inicial do Telegraphone.

Poulsen nasceu na cidade de Copenhagen, onde trabalhou como engenheiro na companhia telefônica local, a *Copenhagen Telephone Company*. Pode-se supor que, durante o tempo em que trabalhou no departamento técnico dessa companhia, Poulsen teve contato com as pesquisas em tecnologia de telegrafia e telefonia, pois atuava na intersecção entre as áreas científicas, tecnológicas e econômicas da empresa¹³⁰.

A companhia de telefone de Copenhagen era uma potência tecnológica e científica durante a última década do século XIX e tinha grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento de produtos¹³¹. A leitura da patente de Poulsen nos mostra seu entusiasmo com o trabalho:

“A presente invenção representa um avanço essencial nesse ramo da ciência (gravação de sons e sinais), pois fornece meios para receber e armazenar temporariamente mensagens e afins por corpos paramagnéticos magneticamente excitados¹³²”

Os corpos paramagnéticos magneticamente excitados aos quais o autor se refere são o suporte de difusão da informação, que se constitui em um meio intermediário de expressão capaz de transmitir mensagens. Atualmente, conhecido como Mídia.

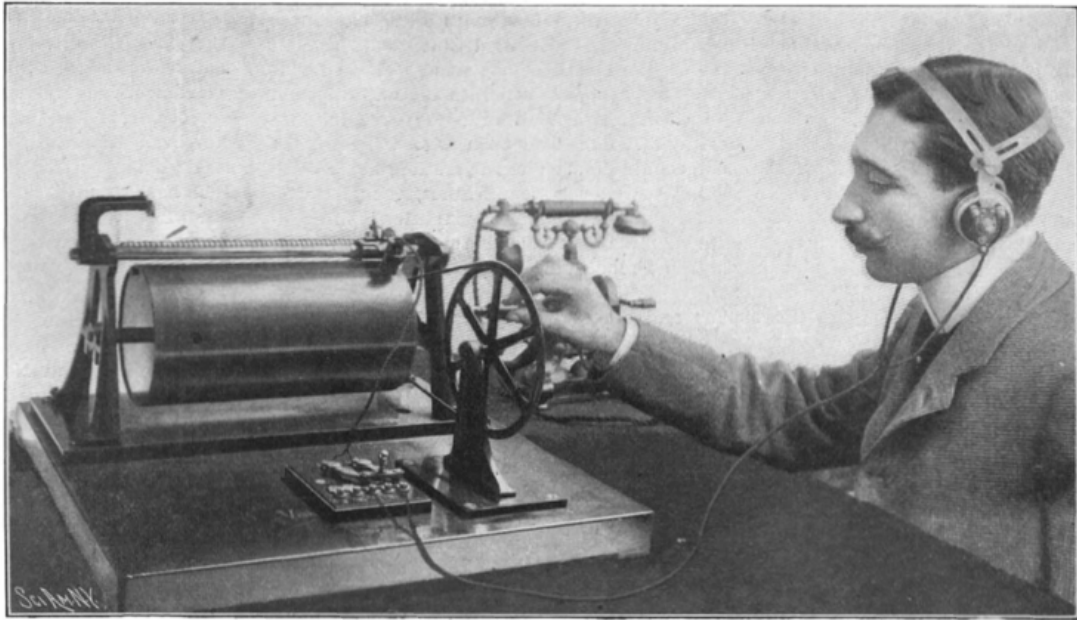
Na descrição da patente, Poulsen propõe que a solução para a gravação de áudio está na utilização de um corpo paramagnético, neste caso, um fio de aço ou metal que passa por um eletroímã conectado com o transmissor eletromagnético de um telefone¹³³.

¹³⁰ Clark & Nielsen, “Crossed Wires and Missing Connections”, 4.

¹³¹ Ibid., 11.

¹³² Poulsen. Apparatus for Effecting the Storing up of Speech or Signals, 1900.

¹³³ Ibid.



USING THE TELEGRAPHONE AS A PHONOGRAPH.

Figura 21: Exemplo de uso do *Telegraphone*. *Scientific American*, New York, April 25. 1903

Era necessário o circuito de telefonia funcional para poder agregar o aparato de gravação de Poulsen pois, antes de ser gravada, a energia acústica tinha de ser convertida em energia elétrica – método descrito anteriormente –, que é essencialmente o papel que o microfone desempenha no telefone. Em seguida, o sinal convertido em eletricidade era direcionado para o eletroímã, levando à magnetização do fio de metal da mesma forma que ocorre no microfone, criando assim uma cópia do que foi capturado.

Depois de gravado, o fio poderia ser rebobinado e, ao passar novamente pelo eletroímã, reproduzir a onda elétrica que estava gravada em sua extensão, sensibilizando o

autofalante do telefone (atuando como um microfone reverso) e interpretando a onda elétrica em ondas sonoras, sendo assim possível ouvir a mensagem gravada¹³⁴.

O intuito do aparato era receber e gravar as mensagens ou recados quando a pessoa não estivesse em casa ou não pudesse atender ao telefone; a gravação possibilitaria ouvir o recado posteriormente.

Diferentemente do funcionamento do fonógrafo, o *Telegraphone* de Poulsen não usava o método de gravação mecânico descrito no capítulo um, com suas inúmeras desvantagens. Este novo formato de gravação (magnética) apresentava uma qualidade de gravação superior e encaixava-se perfeitamente à linha de telefone, segundo Poulsen¹³⁵. O inventor sabia do valor de sua ideia, e conhecendo o mercado criado em torno do fonógrafo, escreveu: “além disso, a presente invenção substituirá o fonógrafo usado até agora e fornecerá um aparelho de ação simples e melhor¹³⁶”.

Quando o usuário do telefone girava a manivela do seu aparelho de indução, uma corrente passava através da bobina externa, marcado como R na figura 22, gerando uma corrente induzida na bobina interna que, por sua vez, magnetiza o fio de metal de acordo com o que expusemos ao tratar, anteriormente, do microfone¹³⁷.

¹³⁴ Ibid., 2.

¹³⁵ Ibid.

¹³⁶ Ibid.

¹³⁷ Ibid., 3.

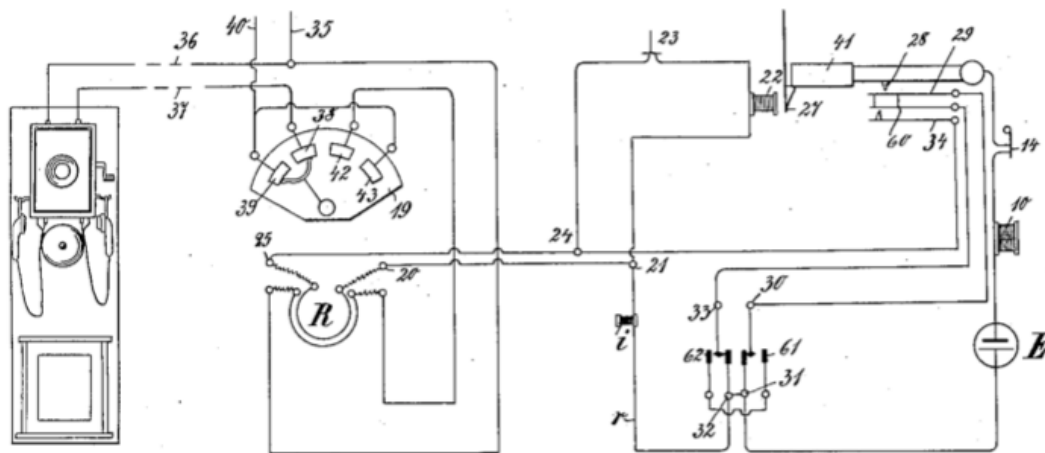


Figura 22. Detalhe do circuito de gravação eletromagnético

Seria possível também gravar uma mensagem fixa a ser reproduzida quando o aparato atendesse ao telefonema. Poulsen descreveu um exemplo: “O assinante não está em casa no momento, mas retornará às quatro horas. Nesse momento, por favor, toque novamente”.¹³⁸

Depois de ouvir a mensagem fixa, o aparato entraria em modo de gravação pronto para receber a mensagem de voz de quem estivesse ligando. Desta forma, quem possuísse um *Telegraphone* poderia chegar em casa e verificar se havia recados gravados. Uma vez ouvidos os recados gravados, era possível apagar a gravação por meio de uma bateria que desmagnetizava o fio de metal; com isso, o fio poderia ser rebobinado e reutilizado para uma outra gravação.¹³⁹

O inventor explicou que seu método de gravação e reprodução de fala ou sinais consistia em induzir, em um circuito elétrico, as ondulações de corrente correspondentes às

¹³⁸ Ibid., 4.

¹³⁹ Ibid., 4.

ondas sonoras da fala ou aos sinais que foram primeiramente capturados pelo microfone. Isso ocorria porque o microfone cria uma corrente elétrica correspondente às ondas sonoras que estiveram em sua frente; o *Telegraphone*, por sua vez, foi concebido para criar meios de estocar essas vibrações elétricas em um meio magnetizável, que nesta patente é um fio de metal.¹⁴⁰

O gravador operava em uma velocidade média de 0,5 metros por segundo; assim, uma gravação de aproximadamente um minuto usaria o equivalente a 30 metros de fio¹⁴¹. O autor também apresentou uma solução para gravações mais longas, propondo modificações do protótipo inicial, o que resultou em um aparato com um design elegante para acomodar o rolo de fio com maior extensão, expandindo o tempo de gravação¹⁴².

Na busca de inovações em seu aparato, Poulsen, após a apresentação da patente de 1900, associou-se ao engenheiro Peder O. Pedersen, em uma parceria que trouxe melhorias para o *Telegraphone*, apresentadas na patente US789336 de 1905, cujo esquema aparece na figura 23:

¹⁴⁰ Ibid., 5.

¹⁴¹ *Scientific American*, 181.

¹⁴² Ibid.

No. 789,336.

PATENTED MAY 9, 1905.

V. POULSEN, P. O. PEDERSEN & C. SCHOU.
TELEPHONE.

APPLICATION FILED SEPT. 2, 1902.

6 SHEETS—SHEET 1.

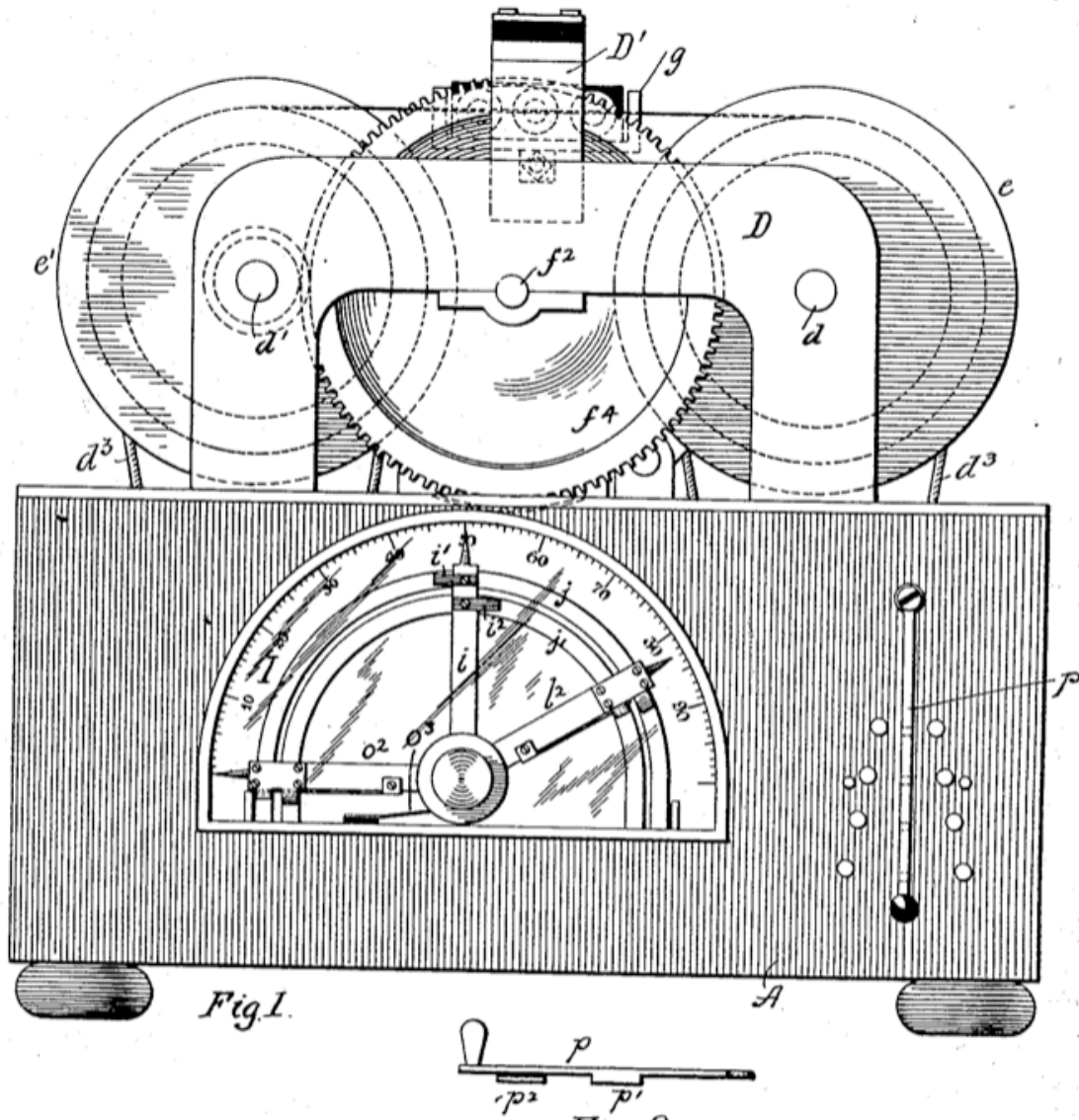


Figura 23: Patente de Poulsen e Pedersen, *Telegraphone*, 1905.

As melhorias nas propostas focavam na forma de gravação e no desenvolvimento de um sistema de distribuição do som gravado para muitos aparelhos receptores, o que seria útil para a criação de um sistema de assinatura que poderia transmitir informações e notícias¹⁴³. Vale lembrar que sistemas de assinatura estavam em voga nesta época, como o caso do *Telharmonium*, de Thaddeus Cahill¹⁴⁴.

Em 1906, Poulsen protocolou mais uma importante patente, sob o número US822222 no escritório de patentes dos Estados Unidos, agora com atribuições de intermediário da *American Telegraphone Company*, empresa que representaria seus interesses nos Estados Unidos. O documento apresentado defendia a propriedade intelectual de Poulsen, mostrando todas as patentes sobre o *Telegraphone* apresentadas até aquele momento em praticamente toda a Europa, assim como na América¹⁴⁵.

Além de avanços no design geral do aparato, o autor referiu-se ao *Telegraphone* como um tipo de fonógrafo, ampliando as suas funções de gravação que até então estavam limitadas à linha telefônica. A evidência de que Poulsen conhecia as teorias e patentes mencionadas até então pode ser encontrada no seguinte excerto:

“Como é bem sabido, no fonógrafo usual as vibrações do ar transmitidas a uma membrana são induzidas, por meio de peças mecânicas adequadas, a fazer entalhes em um corpo receptivo, estes entalhes podem fazer com que uma membrana repita as ditas vibrações por meio de um mecanismo mecânico.”¹⁴⁶

¹⁴³ Poulsen. Apparatus for Electromagnetically, 1905.

¹⁴⁴ Weidenaar, *Magic Music from the Telharmonium*, 10.

¹⁴⁵ Poulsen. Apparatus for Effecting the Storing up of Speech or Signals, 1906.

¹⁴⁶ *Ibid.*, 1.

Ao reposicionar o *Telegraphone* como um possível substituto do fonógrafo, o inventor destacou os pontos fracos do sistema mecânico, como a pouca fidelidade de gravação, ruídos e o custo elevado.

Mais uma associação, que resultou em nova patente, a de número US873078, desta vez entre Poulsen, Pedersen e Carl Schou em 1907, apresentou melhorias no design do *Telegraphone*, buscando uma forma de manter o aparato relativamente pequeno e, ao mesmo tempo, aumentar a capacidade de tempo de gravação. Também foi apresentada uma forma de gravar sem a necessidade de apagar a gravação anterior, somada a melhorias na manipulação mecânica, como início e fim de gravação automatizados e uma forma de rebobinar manualmente a gravação para achar rapidamente o ponto da mensagem que o usuário precisaria ouvir¹⁴⁷.

¹⁴⁷ Poulsen, Pederson & Schou. *Telegraphone*, 1905.

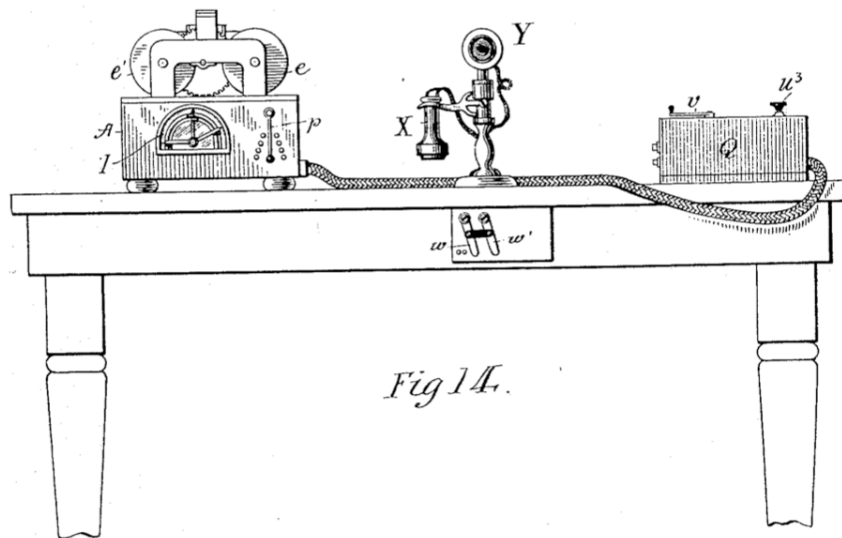


Figura 24: Proposta de uso do *Telegraphone*. Poulsen, Pedersen and Schou. *Telegraphone*. 1907.

Outras melhorias apresentadas diziam respeito ao design dos polos magnéticos, acrescentando força e precisão para o funcionamento em altas velocidades, fundamental para gravações mais longas¹⁴⁸.

¹⁴⁸ Pedersen & Poulsen. *Electromagnetic for Telegraphone Purposes*, 1907.

Continuando com as melhorias propostas por Poulsen, destacam-se as constantes da patente US873083, de 1907: uma proposta de utilização de uma bateria polarizada que anulava a uniformidade magnética existente no corpo magnético, facilitando o reuso do meio, isto é, uma forma mais eficiente de apagar a gravação e assim poder reutilizar o corpo magnético – o fio de metal ou fita metálica – mais vezes¹⁴⁹.

Segundo o inventor, isso seria possível porque a bateria polarizada aumentaria a sensibilidade do corpo metálico, agitando as moléculas, premissa que estava contemplada nas teorias de Maxwell, evidenciando o contato entre a patente do *Telegraphone* com as teorias do eletromagnetismo.

¹⁴⁹ Poulsen & Pedersen. *Telegraphone*, 1907, 1.

A bateria polarizada é representada pela letra P no diagrama abaixo.

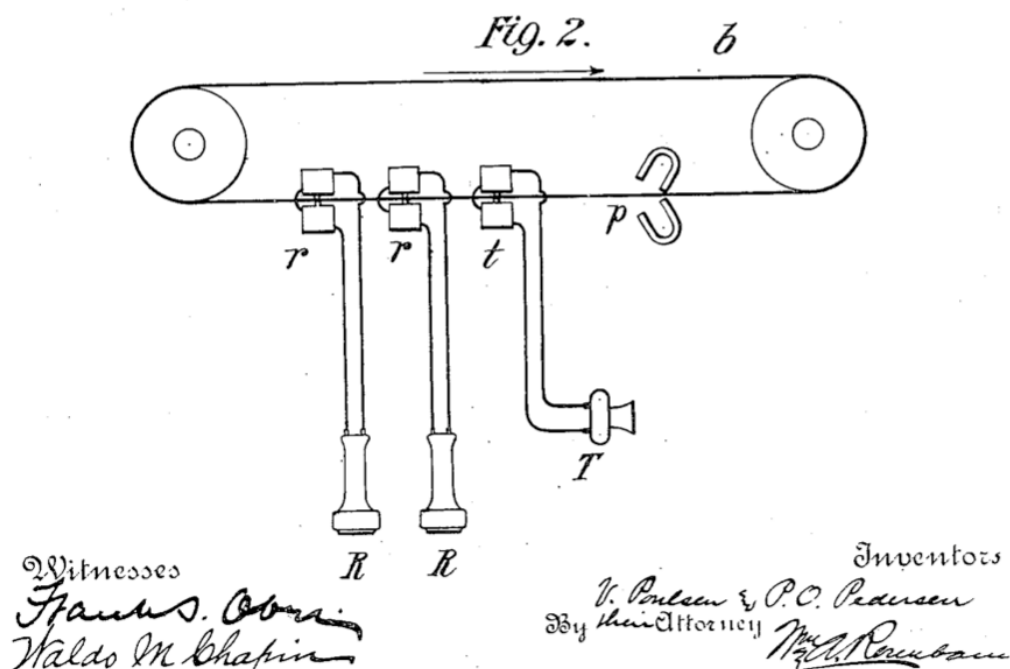


Figura 26: Bateria polarizada. Poulsen & Pedersen. Telegraphone. 1907.

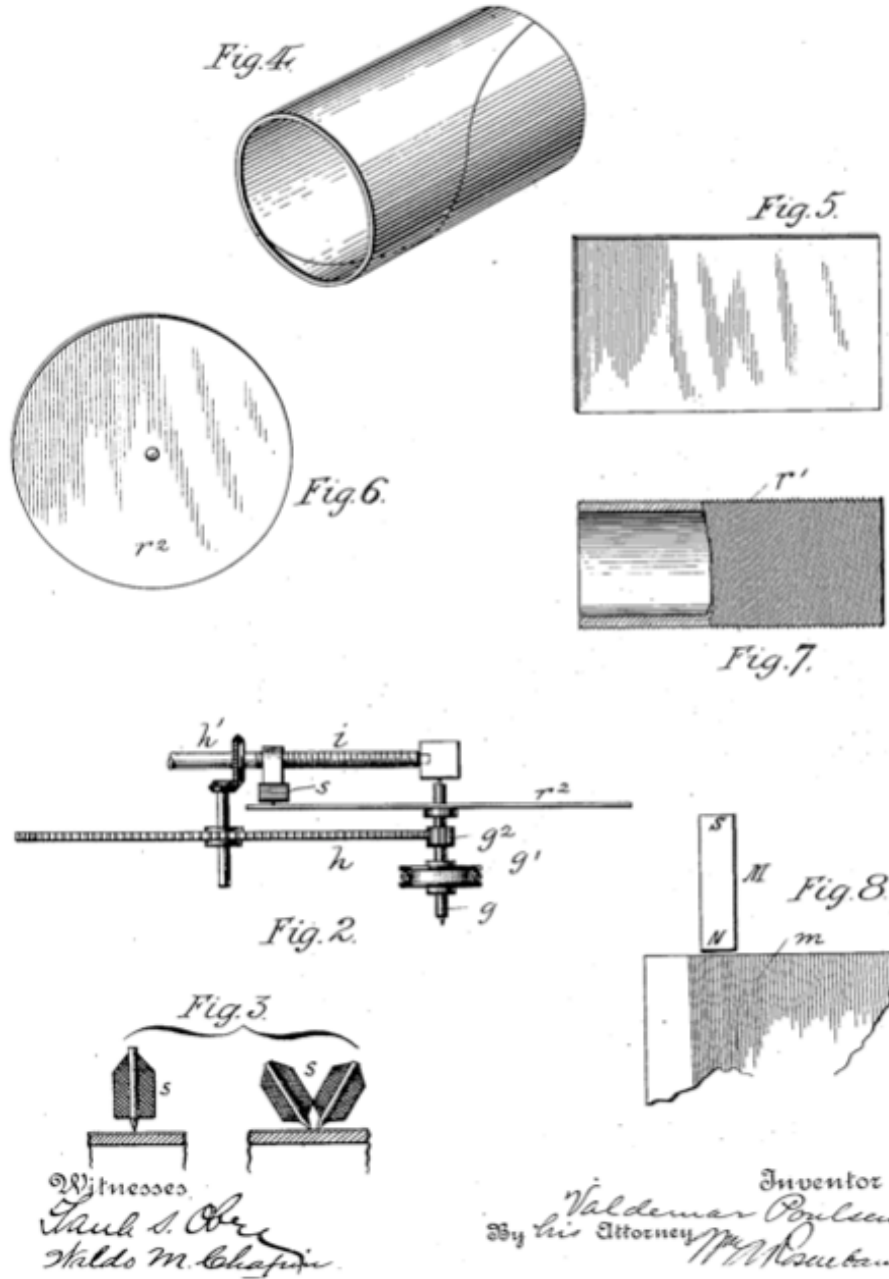
No mesmo ano de 1907, em nova patente número US873084, intitulada *Telegraphone*, foi apresentada uma proposta de melhoria de design da patente original e modificações do meio de gravação. O fio de metal seria substituído por um corpo paramagnético em forma de faixa ou fita metálica. Este novo formato possibilitaria o transporte das gravações de maneira mais prática, inclusive por correio¹⁵⁰.

¹⁵⁰ Poulsen. *Telegraphone*, 1907, 1.

V. POULSEN.
TELEGRAPHONE.

APPLICATION FILED SEPT. 29, 1902. RENEWED MAY 2, 1907.

2 SHEETS—SHEET 2.



Witnesses
Paul S. Ober
Waldo M. Chapin

Inventor
Valdemar Poulsen
 By his Attorney *W. M. ...*

Figura 27: Novas formas de mídia.

Incansável, Poulsen continuaria aperfeiçoando o aparato original. Assim, na patente de 1908, número US900304, intitulada *Electromagnets for Telegraphones*, o autor referiu-se à implementação de um solenoide no circuito do *Telegraphone*, uma espécie de eletroímã que, quando ativado pela passagem de uma corrente elétrica, geraria um campo magnético através de uma bobina enrolada em uma hélice helicoidal¹⁵¹.

Cabe lembrar que o esquema do solenoide havia sido apresentado em uma proposta de André-Marie Ampère, anos antes¹⁵². Poulsen descreveu, no texto da patente, a importância do solenoide: “Até onde sabemos, um eletroímã com núcleo de ferro sempre foi considerado necessário nesta classe de aparelhos¹⁵³”.

A proposta de melhoria, neste caso, estaria no aumento da força e precisão da gravação, pois, ao converter o circuito passivo em um circuito ativo pelo uso da bateria, a gravação se daria de uma forma mais limpa e controlada, capturando mais nuances de som, sendo uma gravação com mais fidelidade sonora¹⁵⁴.

Interessante perceber que, em 1908, Poulsen já se manifestava sobre alta fidelidade das gravações, algo que só se concretizaria em escala industrial em 1990. O inventor também comentou que haveria evidências de que seria possível gravar as ondas elétricas criadas pelo microfone – que converte a onda acústica em onda eletromagnética – em outros meios paramagnéticos¹⁵⁵. Todavia, não foi Poulsen que realizou este feito, mas outro inventor

¹⁵¹ Pedersen & Poulsen. *Electromagnet for Telegraphones*, 1908.

¹⁵² Nye, *Electrical Theory and Practice in the Nineteenth Century*, 210.

¹⁵³ Pedersen & Poulsen, 1908.

¹⁵⁴ *Ibid.*, 2.

¹⁵⁵ *Ibid.*, 3.

importante para entendermos a evolução da forma de gravação eletromagnética, o austríaco Fritz Pflüger, do qual trataremos mais à frente. Antes, veremos como a empresa de Poulsen acabou por sair do mercado, abandonando o *Telegraphone*.

3.6 Impacto da invenção

Poulsen e Pederson uniram-se a um grupo de investidores e criaram a *Aktieselskabet-Telegrafonen*, na Dinamarca. Posteriormente, este grupo associou-se à *Mix & Genest*, empresa alemã que ajudou na manufatura dos aparelhos apresentados na feira de Paris de 1900¹⁵⁶.

O *Telegraphone* foi o vencedor da feira, o que chamou a atenção da imprensa que passou a acompanhar o *Telegraphone* com um certo senso de maravilha da modernidade, sempre destacando que a ciência na qual se baseava a construção do aparato era demasiadamente complicada e que só seria possível uma compreensão do princípio do funcionamento geral do gravador.

Assim, a revista *Nature* publicou o artigo “The Telegraphone”, em 20 de junho de 1901, destacando o surpreendente avanço tecnológico dos últimos anos. A simples hipótese de poder gravar a voz de alguém e transmiti-la a uma grande distância era inimaginável no início do século XIX.

¹⁵⁶ Camras, *Magnetic Recording Handbook*, 15.

Contudo, foi a inerente complexidade do aparato que gradativamente decretou seu próprio fim. Uma evidência importante desse fato está na mesma matéria da revista *Nature*, na qual o repórter salienta que, apesar das melhorias apresentadas por Poulsen, algumas eram apenas teóricas e não haviam se materializado.

Outra matéria, publicada em 1904 no jornal *Wyoming Democrat*, trata da exposição do *Telegraphone* para o *Franklin Institute* da Filadélfia, organizada pelo Dr. Z. B. Babbitt, então secretário e diretor geral da companhia *American Telegraphone*¹⁵⁷.

O posicionamento de mercado do *Telegraphone* foi sendo gradativamente alterado; de um gravador de recados do telefone passou para cinco funções apontadas pelo Dr. Babbitt: gravação e reprodução de ditados, reproduzidor a distância, gravador de conversas entre duas pessoas dentro da linha de telefone comercial sem interferências externas e, por último, o gravador era capaz de operar automaticamente se o usuário do telefone não estivesse disponível para atender uma ligação. Essas funções do *Telegraphone* dispensariam a necessidade de se ter um estenógrafo¹⁵⁸.

Em janeiro de 1905 foi então publicada a íntegra dessa exposição de Babbitt¹⁵⁹, destacando a medalha recebida por Poulsen na exposição de Paris, em 1900, pela pesquisa elétrica original, mas que, mesmo assim, o inventor continuava em sua jornada de aperfeiçoamento da invenção.

¹⁵⁷ *Wyoming Democrat*. Tunkhannock, Pennsylvania, 23 Dec 1904.

¹⁵⁸ Talvez uma das primeiras substituições profissionais que a tecnologia impactou.

¹⁵⁹ “The Telegraphone”, 17.

Assim, ao explicar tais avanços na matéria completa para o *Franklin Institute*, fica evidente que a estratégia comercial do aparato era de se descolar do telefone e ganhar autonomia como uma máquina que poderia funcionar sozinha, inclusive para a reprodução de notícias, cotações de mercado, música e demais demandas auditivas:

“As reproduções são fiéis à voz humana, seja em conversação ou em música, e chegará o dia em que toda família terá gravações feitas em intervalos frequentes - desde os primeiros esforços da criança para falar ao longo de uma vida inteira; e as famílias valorizarão esses registros ao tirar fotos; escritórios nacionais serão estabelecidos para a preservação dos registros de discursos de nossos homens e mulheres públicos.”¹⁶⁰

Ainda que muitas dessas previsões tivessem sido concretizadas, nem todo o projeto de Poulsen saiu do papel. O *Telegraphone* deparou-se com dificuldades limitantes, por exemplo, os autofalantes então existentes não apresentavam boa qualidade para se ouvir as gravações. A complexidade da tecnologia e habilidade científica para produzir e reparar o *Telegraphone* limitava a fatia de mercado da companhia, o que acabou por levar a empresa à falência.

Devido a diferenças sobre a forma de comercialização do *Telegraphone*, Poulsen e Pedersen saíram da companhia para desenvolver outras invenções. Naquele momento, a pressão exercida pela companhia telefônica de Bell acabou por sufocar o mercado do *Telegraphone*, mesmo com os esforços de Poulsen e Babbitt para reposicionar o gravador como algo fora da esfera de influência de Bell ¹⁶¹. O *Telegraphone* não era um aparelho de

¹⁶⁰ Ibid., 21.

¹⁶¹ Camras, 15.

propriedade da indústria telefônica e, obrigatoriamente, tinha de ser usado dentro do circuito telefônico, fato que não agradava à gigante das telecomunicações.

Após a saída de Poulsen, a companhia passou para o alemão Herr Stille, que continuou a desenvolver a ideia do gravador eletromagnético e rebatizou a invenção de *Blattnerphone* para poder explorar o mercado alemão. Já na Inglaterra, foi comercializado com o nome de gravador *Marconi-Stille*.

Na figura a seguir, podemos ver um desses gravadores sendo utilizado na BBC, em Londres:

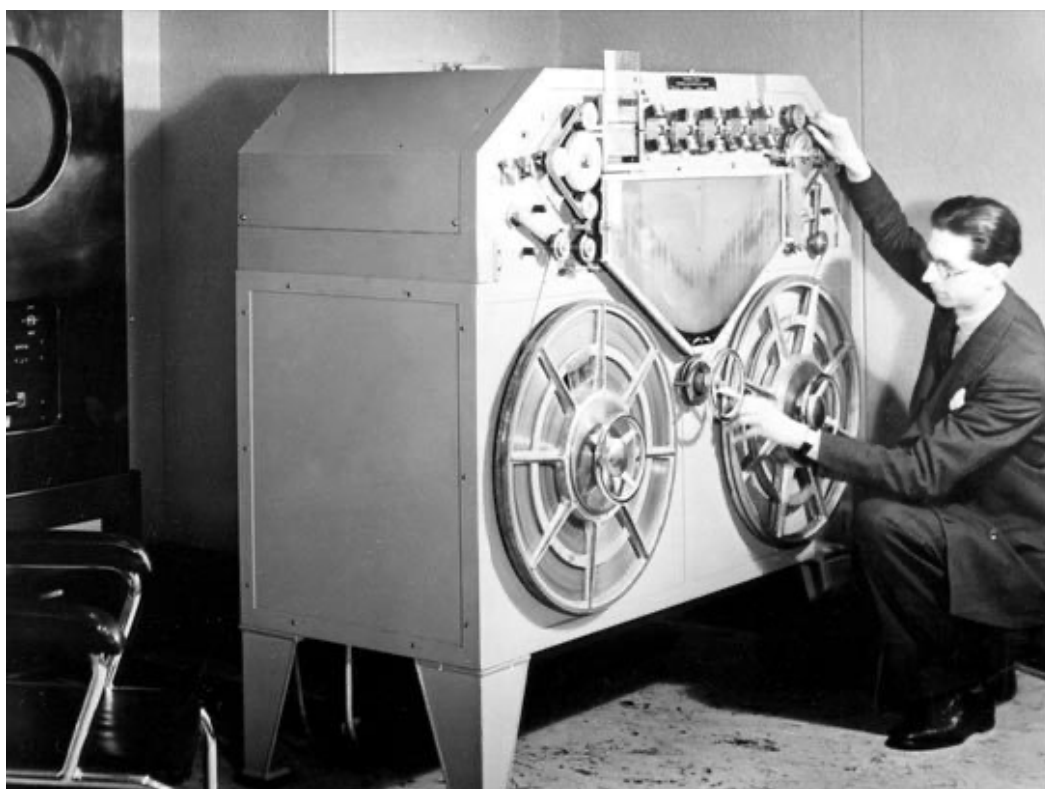


Figura 28. O gravador *Marconi-Stille*. Imagem do arquivo da BBC, Londres. 1933.

3.7 Fita Magnética

Após os trabalhos realizados por Poulsen, ficou claro o caminho para a manufatura de um tipo de mídia que conseguisse realizar e preservar a gravação com qualidade. Sabemos que o inventor dinamarquês não deu continuidade às pesquisas e acabou por se concentrar em outras empreitadas.

O escopo desta tese, porém, tem como objetivo entender como se deu o processo para chegar à gravação eletromagnética que se tornou o padrão de mercado. Para tanto, é preciso averiguar as melhorias e inovações tecnológicas que propiciaram a invenção da fita magnética.

Feito alcançado pelo austríaco Fritz Pfleumer (1881-1945), que apresentou a patente número US2247847A, em 1941, na qual propôs a substituição do fio magnético da patente, obtida por Poulsen anos antes, pela ideia de utilizar tiras de papel ou filme providas de uma camada magnetizável. Surgia assim a fita magnética¹⁶².

Pfleumer descreveu ainda um método de eliminar ruídos para conseguir uma gravação e reprodução do som livre de interferências, mantendo a gravação por tempo indeterminado e podendo ser reproduzida inúmeras vezes¹⁶³.

¹⁶² Daniel, Mee & Clark, *Magnetic Recording*, 48.

¹⁶³ Pfleumer. Recording and reproducing device for magnetic sound writing, 1941.

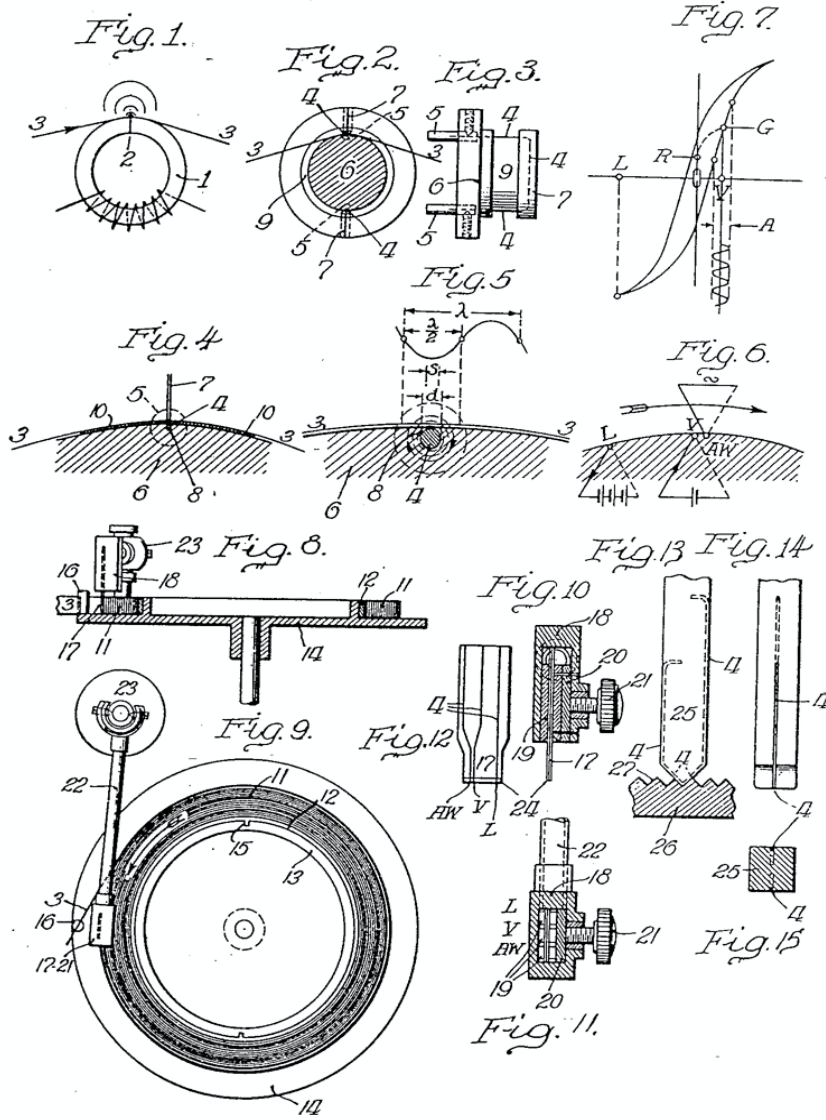
July 1, 1941.

F. PFLEUMER

2,247,847

RECORDING AND REPRODUCING DEVICE FOR MAGNETIC SOUND WRITING

Filed July 23, 1938



INVENTOR:
Fritz Pfleumer
BY *Richardson & Quin*
ATTORNEYS.

Figura 29: Fita magnética.

Ao referir-se às tiras de papel ou filme recobertas com uma camada magnetizável, Pfleumer apresentou detalhes de seu uso no aparato:

“A gravação de som, nestes casos, ocorre passando a fita pelo espaço de ar de um eletroímã de formato especial, sendo a energização do eletroímã efetuada em correlação com as correntes de um microfone. A reprodução e remoção da gravação magnética é efetuada de maneira semelhante”¹⁶⁴.

O inventor discorre sobre alguns dos problemas da gravação eletromagnética em fio de metal, lembrando que, uma vez efetuada a gravação, a dispersão magnética não poderia ser totalmente suprimida, implicando na magnetização de uma região além da desejada, o que acabaria por criar ruídos e distorções harmônicas. Nas palavras de Pfleumer, “Uma reprodução verdadeiramente natural é, portanto, impossível.”¹⁶⁵

A patente passaria a tratar das diferentes frequências dos harmônicos parciais, presentes em qualquer fonte sonora, indicando que, para cada frequência sonora, seria necessária uma resistência magnética variável e, mesmo com a implementação deste método, uma gravação sem interferência da dispersão magnética seria impraticável¹⁶⁶.

O autor então apresentou uma proposta de melhoria da mídia magnética com a concepção da fita eletromagnética; assim, para se ter uma boa gravação, era necessário observar a quantidade de ferro presente em um lugar específico da fita. A fita eletromagnética

¹⁶⁴ Ibid., 2.

¹⁶⁵ Ibid., 2.

¹⁶⁶ Ibid., 3.

de Pfleumer era feita com uma camada de pó de ferro sobre uma base que poderia ser de ósmio, irídio, tungstênio, ou outros materiais, e com um diâmetro de 0,02 milímetros¹⁶⁷.

A fita com uma camada de ferro em pó era essencialmente uma superfície onde as linhas de força magnética poderiam ser magnetizadas com diferentes vibrações elétricas, análogas às vibrações acústicas capturadas pelo microfone. Essa nova mídia poderia ser editada, cortada e colada com facilidade, método parecido com a manipulação de filme para cinema, com a vantagem de poder ser apagada e reutilizada, o que barateava o processo de gravação sonora¹⁶⁸.

Também foi acrescentado um transformador para manter a corrente elétrica constante na ponta do gravador, precisamente onde a fita sofreria a magnetização; com isso, a gravação seria mais precisa e segura. Esta técnica evitaria o magnetismo residual no reproduutor, o que causa ruídos de interferência durante a reprodução¹⁶⁹.

Em 1932, Pfleumer conseguiu uma parceria com a AEG (*Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AG*), empresa alemã especializada em equipamentos elétricos. Durante a criação dos primeiros protótipos, ficou clara a necessidade da fita ser fabricada com uma base de acetato de celulose, o que daria mais flexibilidade e resistência à fita magnética¹⁷⁰.

A AEG, por sua vez, fechou uma parceria com a empresa BASF e, a partir das pesquisas feitas pelas equipes responsáveis pela criação do gravador eletromagnético e da

¹⁶⁷ Ibid., 3.

¹⁶⁸ Daniel, Mee, & Clark, 16.

¹⁶⁹ Pfleumer, 3.

¹⁷⁰ Begun, *Magnetic Recording*, 47.

fita, apresentaram, em 1935, o *Magnetophon K1* e uma nova fita magnética, batizada de *Magnetophonband*.¹⁷¹

As figuras a seguir ilustram o design do gravador eletromagnético desenvolvido por Pflüger, já mais parecido com os gravadores utilizados na indústria musical:



Figura 30: Protótipo do gravador eletromagnético.

¹⁷¹ Ibid., 49.



Figura 31: *Magnetophon K1*.

É interessante verificar que os desenvolvimentos tecnológicos na produção do gravador de fita de rolo, que passou a fazer parte do arsenal dos estúdios, levou a experimentos também na área da música. Assim, em 1948, dois compositores franceses, Pierre Schaeffer e Pierre Henry, começaram a produzir obras musicais usando colagens de fita (análogo ao método de colagem nas artes visuais), gerando o que se passou a chamar de música concreta. Uma estratégia usada para a composição era a de gravar em fita vários sons e sinais que depois eram combinados para a criação de um novo som¹⁷².

¹⁷² Holmes, *Electronic and Experimental Music*, 10.

Esta forma de composição com fita magnética acabou por criar um conceito musical, ao mesmo tempo em que tornava possível demonstrar a eficácia de certos tipos de manipulação de fita na transformação de sons. Estas transformações incluíram alteração de velocidade e controle de velocidade variável, tocando fitas de trás para frente, loops e feedback do sinal.

Duas das composições mais bem-sucedidas e mais conhecidas desse período inicial são de Schaeffer: *Symphonie Pour un Homme Seul*, de 1950; e de Henry: *Orphée*, de 1953¹⁷³. Outros exemplos de composição usando a fita como meio e instrumento podem ser ouvidas na obra de Edgar Varèse, que compôs peças para fita e assembleia instrumental, em 1954, e o *Poème Électronique*, de 1958. Compositor também importante foi John Cage, que escreveu *Williams Mix*, em 1952, e *Mix Fontana*, em 1958.

Ou seja, um desenvolvimento técnico de gravação e reprodução de sons, tão desejado e fruto de muito esforço, envolvendo inventores e cientistas, encontrou respaldo na indústria interessada não só na reprodução dos aparatos, mas também na produção, em grande escala, dos materiais necessários, como foi o caso da BASF na produção da base celulósica para as fitas. Tal desenvolvimento impactou também outro ramo de atividade humana, a arte, mais especificamente, a música, com suas novas propostas de estilo em que os exemplos discutidos são bons representantes.

¹⁷³ Ibid.,12.

Considerações finais

A possibilidade de gravar e reproduzir sons e sinais teve um profundo impacto na sociedade, modificando também a forma das pessoas se relacionarem com a música. O sucesso de alguns dos aparatos estudados mostra a importância que o som e a música têm na experiência humana.

Como vimos nesta tese, a criação de aparatos que possibilitaram a gravação de sons foi fruto de muitos anos de trabalho, mostrando intensa relação entre os estudos e pesquisas na área da ciência e as invenções patenteadas. O trabalho mais longo e intenso se deu principalmente na transição do gravador mecânico para o gravador eletromagnético. Ambas as formas de gravação foram de suma importância, apresentando formas de estocar e comercializar o som, seja para o entretenimento ou como uma forma de eternizar manifestações culturais.

Em termos culturais, a criação dos gravadores possibilitou o registro de músicas folclóricas, manifestações de artistas de rua e paisagens sonoras. Foi então possível catalogar cantigas e músicas de cultura popular, como no caso de Alan Lomax nos Estados Unidos - que teve a oportunidade de gravar Lead Belly e Woody Guthrie -, Béla Bartók, que usou gravadores para capturar o folclore na Europa, e Mario de Andrade, que também o fez no Brasil. Possibilitou ainda o registro de toda uma gama de histórias orais que, em outro contexto, legaria ao esquecimento experiências de vida e testemunhos de diferentes situações.

Ao possibilitar a gravação de som, o gravador mecânico acabou por criar um mercado que comercializava histórias narradas, música e até notícias. O *Telegraphone* trouxe a possibilidade de gravação de sons e sinais, e o aperfeiçoamento da técnica de gravação a partir da fita magnética facilitou a criação de novas expressões musicais.

Embora tivessem levantado grande entusiasmo, as gravações dos primeiros tempos não satisfaziam por virem acompanhadas de muitos sons indesejáveis e, novamente, intensos estudos e pesquisas, baseados no aprofundamento do conhecimento sobre eletricidade e magnetismo, foram necessários para aperfeiçoar o processo. A partir dos trabalhos de Poulsen, com o *Telegraphone* e Pflüger, com a fita magnética. Assim, uma nova forma de arte pôde se desenvolver e desabrochar durante o pós-guerra, e a gravação eletromagnética em multicanais desenvolvida por Lester William Polsfuss, conhecido como Les Paul, abriu as portas para a indústria musical. A técnica de gravação em multicanais apresentada por Les Paul consistia essencialmente em utilizar vários aparatos de gravação eletromagnética para cada instrumento, possibilitando a gravação e sincronia de vários instrumentos e microfones. Essa forma de gravação tornou-se o padrão dos estúdios e hoje, com o advento da digitalização, continua a fazer parte da forma de produção musical em computadores.

Atualmente é difícil imaginar uma vida onde microfones, gravadores, telefones e todos os aparatos estudados por esta tese não façam parte do cotidiano; a tecnologia está presente em todos os aspectos da comunicação humana contemporânea.

Bibliografia

Adams, Stephen B., & Orville R. Butler. *Manufacturing the Future: A History of Western Electric*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1999.

Alfonso-Goldfarb, Ana M. *O que é História da Ciência*. São Paulo: Brasiliense, 1994.

_____, & Maria H. R. Beltran, orgs. *Escrevendo a História da Ciência. Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas*. São Paulo: EDUC; Livraria da Física; FAPESP, 2004.

_____, J. L. Goldfarb, M. H. M. Ferraz & S. Waisse, orgs. *Centenário Simão Mathias. Documentos, Métodos e Identidade da História – Seleção de Trabalhos*. São Paulo: PUC-SP; Imprensa Oficial, 2009.

_____, Silvia Waisse & Márcia H.M. Ferraz. “From shelves to Cyberspace: Organization of Knowledge and the Complex Identity of History of Science”. *Isis* 104, nº 3 (2013): 551-560.

Baker, Ray. “New Music for an Old World.” *McClure's Magazine* 27 (1906): 291-301.

Basalla, George. “The Spread of Western Science”, *Science* 156 (1967): 611-22.

Begun, S. J. *Magnetic Recording*. Estados Unidos: Rinehart Books, 1949.

Bell, A. G. 1876. Telegraphy. US Patent 174,465, issue March 7, 1876.

Berliner, E. 1887. Gramophone. US Patent 372,786, issue Nov.8, 1887.

_____. 1880. Microphone. US Patent 234,744, issue Nov.23, 1880.

Braga, R. T. “O *Telharmonium*: Arte e aparato para a geração e distribuição de música eletricamente.” Dissertação de mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2016.

Bright, C. *The Story of The Atlantic Cable*. Nova York: D. Appleton And Company, 1903.

- Bud et al., eds. *Being Modern: The Cultural Impact of Science in the Early Twentieth Century*. London: UCL Press, 2018
- Camras, Marvin. *Magnetic Recording Handbook*. Springer: Dordrecht, 1988.
- Casson, H. N. *The History of the Telephone*. Chicago: A. C. McCLURG & CO, 1922.
- Chessa, Luciano. *Luigi Russolo, Futurist: Noise, Visual Arts and the Occult*. Berkeley: University of California Press, 2012.
- Chisholm, Hugh. *The Encyclopaedia Britannica: a Dictionary of Arts, Sciences, Literature and General Information*, Volume XI Franciscan to Gibson. England: Cambridge, 1911.
- Christensen, T. Ed. *The Cambridge History of Western Music Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- Clark, M. & Henry Nielsen. "Crossed Wires and Missing Connections: Valdemar Poulsen, The American Telegraphone Company, and the Failure to Commercialize Magnetic Recording". *The Business History Review* 69, N° 1 (1995): págs. 3-41.
- Cook, N. & Anthony Pople. Eds. *The Cambridge History of Twentieth-Century Music*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- Cottingham W. N. & Greenwood D. A. *Electricity and Magnetism*. Cambridge : Cambridge University Press, 1991.
- Coulomb, C. A. *Mémoires sur l'Électricité et le Magnétisme*. Académie Royale des Sciences, France : Chez Bachelier libraire, 1789.
- Daniel, Eric D., C. Denis Mee & Mark H. Clark, eds. *Magnetic Recording: The First 100 Years*. Nova York: Wiley-IEEE Press, 1999.
- Edison, T. A. 1880. Phonograph. US Patent 227,679, issued May 18, 1880.

_____. 1872. Improvement In Telegraphic Recording Instrument. US Patent 124,800, issued March 19, 1872.

_____. 1878. Phonograph or Speaking Machine. US Patent 205,521, issued Feb. 19, 1878.

_____. 1888. Phonogram Blank. US Patent 382,462, issued May 8, 1888.

_____. 1891. Phonograph. US Patent 465,972, issued Dec. 29, 1891.

_____. 1879. Carbon Telephone. US Patent 222,390, issued Dec. 9, 1879.

Engel, F. K. "An Inventor is Discovered – A Hundred Years of Magnetic Sound Recording". *Journal of Audio Engineering Society* 36, N° 3 (1989): 170-178.

Feynman, Richard P., Robert B. Leighton & Matthew Sands. *The Feynman Lectures on Physics*. Estados Unidos: Addison-Wesley Publishing Company, 1964.

Field, J. V. A., & Frank A. J. L. James, orgs. *Renaissance & Revolution, Humanism, Scholars, Craftsmen & Natural Philosophers in Early Modern Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

Flood R. & McCartney M., eds. *James Clerk Maxwell: Perspectives on his Life and Work*. Oxford: Oxford University press, 2014.

Gillispie, C. C. *Dictionary of Scientific Biography. / Volume 5 & 6, Emil Fischer-Gottlieb Haberlandt*. Nova York: Charles Scribner's sons, 1981.

Gladstone, J. H. *Michael Faraday*. New York: Harper & Brothers, 1872.

Gray, E. 1876. Improvement In Electro-Harmonic Telegraphs. US Patent 173, 618, filed Feb. 15, 1876, and issued Jan. 27, 1896.

_____. 1875. Transmitter for Electro-Harmonic Telegraph. US Patent 165,728, filed June 28, 1875, and issued July 28, 1895.

_____. 1876. Improvement In Electro-Harmonic Telegraphs. US Patent 173,618, filed Feb. 15, 1876, and issued Jan. 27, 1896.

_____. *Nature's Miracles: Electricity and Magnetism*. Vol. III. Nova York: Howard & Hulbert, 1900.

Griffiths, D. J., *Introduction to Electrodynamics*. New Jersey: Prentice-Hall, 1989.

Grosvenor, Edwin S. & Morgan Wesson. *Alexander Graham Bell: The Life and Times of the Man Who Invented the Telephone*. New York: Harry Abrams, Inc., 1997.

Grove, George. *Grove's Dictionary of Music and Musicians*. Ed. John Alexander Fuller-Maitland. Filadélfia: Theodore Presser Company, 1916.

Helmholtz, Hermann L. F. V. *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*. Trad. Alexander J. Ellis. Nova York: Longmans, Greens, and CO, 1865.

Holmes, T. *Electronic and Experimental Music: Technology, Music, and Culture*. 4^a Ed. Nova York: Routledge, 2012.

James, Frank A. J. L. *Michael Faraday: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2010.

Kaghn, D. & G. Whitehead. Ed. *Wireless Imagination: Sound, Radio and the Avant Garde*. Cambridge: MIT Press, 1992.

Lorrain, P., Corson, D. & Lorrain, F., *Electromagnetic Fields and Waves*. New York: Freeman, 1988.

Matsushita, Teruo. *Electricity and Magnetism*. New York: Springer, 2004.

Maxwell, J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism Vol I*. Oxford: Clarendon Press, 1873.

McClellan J. E. & Dorn Harold. *Science and Technology in World History: An Introduction*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2006.

- Meulders, Michel. *Helmholtz: From Enlightenment to Neuroscience*. Mass.: MIT Press, 2010.
- Morse, S. F. B. 1840. Telegraph Signs. US Patent 1,647, issued Jun 20, 1840.
- Munro, J. *The Story of Electricity*. New York: Kessinger Publishing, 2004.
- Nebeker, Frederik. *Dawn of the Electronic Age, Electrical Technologies in the Shaping of the Modern World – 1914 to 1945*. Nova Jersey: Wiley, 2009.
- Nicholas Cook & Anthony People, eds. *The Cambridge History of Twentieth-Century Music*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- Niven, W. D., M.A. & F.R.S., eds. *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Two Volumes Bound As One*. New York: DOVER publications, INC., 1965.
- Nye M. J., ed. *Electrical Theory and Practice in the Nineteenth Century. Volume V, Modern Physical and Mathematical Sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- _____, ed. *The Cambridge History of Science. Volume 5, The Modern Physical and Mathematical Sciences*. Cambridge: Cambridge University press, 2002.
- Pedersen & Poulsen. 1907. Electromagnetic for Telegraphphone Purposes. US Patent 873,078, filed April 4, 1902, and issued Dec. 10, 1907.
- _____ & _____. 1907. Telegraphphone. US Patent 873,083, filed June. 2, 1902, and issued Dec. 10, 1907.
- Pfleumer. 1941. Recording and Reproducing Device for Magnetic Sound Writing. US Patent 2,247,847, filed July 23, 1930, and issued July 1, 1941.
- Potamian, B. & J. J. Walsh. *Makers of Electricity*. New York: Fall Colors Publishing, 2014.
- Poulsen, Pederson & Schou. 1905. Telegraphphone. US Patent 789,336, filed Sep. 2, 1902, and issued May 9, 1905.

Poulsen, V. 1905. Apparatus for Alternating Currents. US Patent 793,608, filed Sep. 15, 1904, and issued June 27,1905.

_____. 1906. Receiving System for Wireless Transmission of Signals. US Patent 839,029 filed Oct. 02, 1905 and issued Dec. 18,1906.

_____. 1908. Generator of Electric Oscillations. US Patent 890,451, filed Feb. 01, 1905, and issued June. 09,1908.

_____. 1910. Receiver for Wireless Transmission of Signals. US Patent 931,645, filed Oct. 22, 1907, and issued June. 14,1910.

_____. 1916. Apparatus for Utilization of Signal Currents for Telegraphics, Radiotelegraphic or Other Purposes. US Patent 1,198,270, filed Mar. 05, 1915, and issued Sep. 12,1916.

_____. 1905. Method of Producing Alternating Currents With a High Number of Vibrations. US Patent 789,449, filed June 19, 1903, and issued May 9,1905.

_____. 1906. Apparatus for Effecting the Storing up of Speech or Signals. US Patent 822,222, filed Apr. 03, 1900, and issued May 29, 1906.

_____. 1908. Generator of Electric Oscillations. US Patent 890,451, filed Feb. 01, 1905, and issued June. 09,1908.

Purcell, E. M., *Electricity and Magnetism*. Berkeley Physics Course, Vol. 2. New York: McGraw-Hill, 1965.

Redfield, John. *Music: A Science and an Art*, 2nd. Nova York: Tudor, 1935.

Russcol, Herbert. *The Liberation of Sound: An Introduction to Electronic Music*. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1972.

Scientific American, vol LXXXVIII. Nº 17. New York, April 25, 1903.

Smith, Oberlin. "Some Possible Forms of Phonograph". *The Electrical World* (1888): pág.116-117.

Sterne, Jonathan. *The Audible Past, Cultural Origins of Sound Reproduction*. Londres: Duke University Press, 2003.

“The Telegraphone”. *Nature* 64, (1901): 183-185.

“The Telegraphone”. *Journal of the Franklin Institute* 159, Issue 1 (1905): 17.

Thomas Christensen, Ed. *The Cambridge History of Western Music Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

Titchener, E. B. “Laboratory Notes”. *The American Journal of Psychology* 25, n° 2 (1914): 296-300.

Wangness, R. K., *Electromagnetic Fields*. New York: Wiley, 1986.

Weidenaar, Reynold. *Magic Music from the Telharmonium: The Story of the First Music Synthesizer*. Nova Jersey: Scarecrow Press, 1995.

Weisse-Priven, Silvia. *d & D: duplo Dilema: du Bois-Reymond e Driesch, ou a Vitalidade do Vitalismo*. São Paulo: Fapesp, 2009.

Wheatstone, C. & W. F. Cooke. Electromagnetic Telegraph. US Patent 1,622, issued June 10, 1842.

Whittaker, E. T. *A History of the Theories of Ether and Electricity: From the Age of Descartes to the Close of the Nineteenth Century*. London; New York: Longmans, Green, 1910.

Wyoming Democrat. Tunkhannock, Pennsylvania, 23 Dec 1904.