

História da Engenharia das Comunicações: Personagens e Fatos

Denise Consonni

Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas
Universidade Federal do ABC – UFABC

2019

1. Introdução
2. Henry e Faraday
3. Maxwell
4. Os maxwellianos: Heaviside
5. Wheatstone e Morse
6. Meucci e Graham Bell
7. Hertz e Lodge
8. Marconi, Tesla, Landell de Moura e Popov
9. Fessenden, De Forest e Armstrong
10. Baird
11. Arthur Clarke
12. Fourier e Shannon
13. Conclusões
14. Os sinais das comunicações
15. Frases Fantásticas
16. Bibliografia
17. Agradecimentos

1- Introdução

Quando pensamos na invenção do telefone, o nome do escocês Graham Bell, rapidamente nos vem à mente. Ao pensar nas primeiras transmissões de sinais via rádio, é do italiano Marconi que nos lembramos. No entanto, em 2002, a Câmara dos Deputados dos EUA reconheceu Antonio Meucci, italiano, como o verdadeiro inventor do telefone. Em 1871 (cinco anos antes de Bell), por não conseguir os US\$ 250 necessários para patentear sua invenção, Meucci havia entrado com o pedido provisório de patente No. 3335 que foi misteriosamente perdido no escritório de patentes dos EUA. Quanto a Marconi, embora ele tenha ganhado o prêmio Nobel (juntamente com Karl Ferdinand Braun) em 1909 pela invenção do rádio, perdeu o direito a suas patentes em 1943, quando a Suprema Corte dos EUA, após um longo processo afetado por interesses políticos e comerciais, deu a prioridade aos inventos de Nikola Tesla, engenheiro sérvio-croata, dos transceptores de sinais de rádio. Nessa data, ambos já haviam morrido!

Assim como avança de forma incrível a tecnologia das comunicações, a história da Engenharia das Comunicações é rica em personagens e fatos, e cada marco nessa história é o resultado da curiosidade, da criatividade, do conhecimento e trabalho acumulados, do empreendedorismo de muitas pessoas e dos interesses sociais e políticos de cada época, sendo difícil estabelecer ainda hoje quem foi o verdadeiro e único inventor do que. É claro que a história não existe sem seus personagens. Mas será que a ciência não tem um destino próprio, sendo os homens meros instrumentos que proporcionam a ocorrência de descobertas e invenções que se dariam de qualquer forma, mais cedo ou mais tarde, seguindo uma evolução pré-programada, e cujo ritmo é ditado pela genialidade de alguns personagens especiais?

Para este relato, foram escolhidos dentro dessa história fantástica, alguns personagens que se tornaram agentes de marcos importantes na evolução da Engenharia das Comunicações. De suas biografias, tentamos extrair, deduzir ou imaginar os fatos e contextos que os tornaram heróis de nossa história: Henry, Faraday, Maxwell, Heaviside, Wheatstone, Morse, Meucci, Graham Bell, Hertz, Lodge, Marconi, Tesla, Landell de Moura, Popov, Fessenden, De Forest, Armstrong, Baird, Arthur Clarke, Fourier e Shannon.

Nesta jornada, vamos identificar quais descobertas resultaram nas principais invenções; quais as motivações e mecanismos que levaram esses personagens a estudar assuntos, realizar seus trabalhos e alcançar seus marcos; o que foi contribuição de um esforço individual, a partir da herança humana científica e tecnológica que cada um recebeu em seu tempo; quais os feitos e achados serendípicos e aqueles que foram fruto de muita transpiração;

quais eram os mitos de cada época, os mistérios da natureza ainda não desvendados, e os fatos reais já ocorridos; quem chegou primeiro na corrida do conhecimento, do invento e das patentes; como era a vida cotidiana desses seres humanos que, como todos nós, tinham dificuldades, limitações, dores e paixões, mas que por causa de suas realizações, tornaram-se revestidos da aura de heróis?

Associados aos personagens escolhidos, temos como fatos e marcos desta história: o telégrafo; o telefone; a comunicação por fios e cabos; a comunicação sem fio; o rádio; a televisão; os satélites; a engenharia da informação.

Nas linhas do tempo desses personagens (Figura 1) e fatos (Figura 2), observamos que cobrimos um período restrito, mas extremamente significativo da história das comunicações: de aproximadamente 1820 a 1963; e podemos nos impressionar ao imaginar uma época com tantos heróis contemporâneos, compartilhando o mesmo mundo, em partes diferentes de sua superfície, e contribuindo para a evolução das comunicações.

A história atual das comunicações certamente envolveria outros tantos fatos incríveis: internet, telefonia celular, comunicações ópticas, somente para citar alguns. Os heróis de hoje, no entanto, costumam estar aglutinados e quase anônimos em grupos de pesquisa e laboratórios, que trabalham em redes de cooperação global e multidisciplinar, pois o grau de complexidade da tecnologia moderna possibilita cada vez menos que um ser humano seja o agente único ou mesmo predominante de um marco histórico.

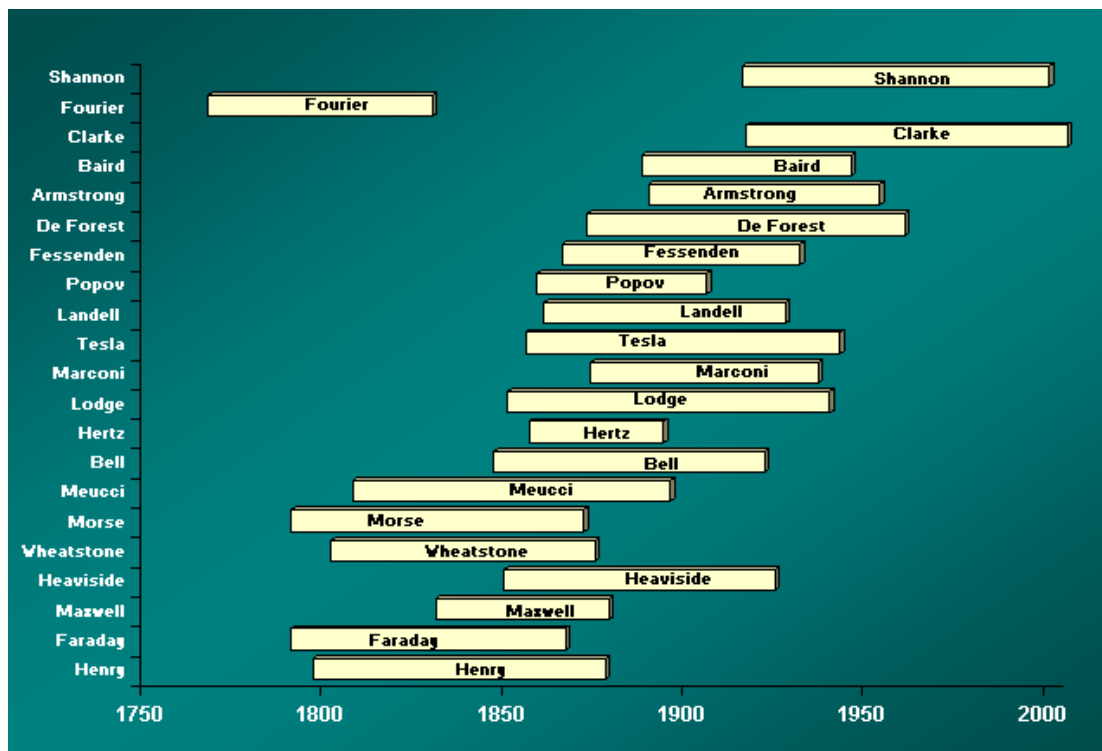


Figura 1 – Linha do Tempo – Personagens

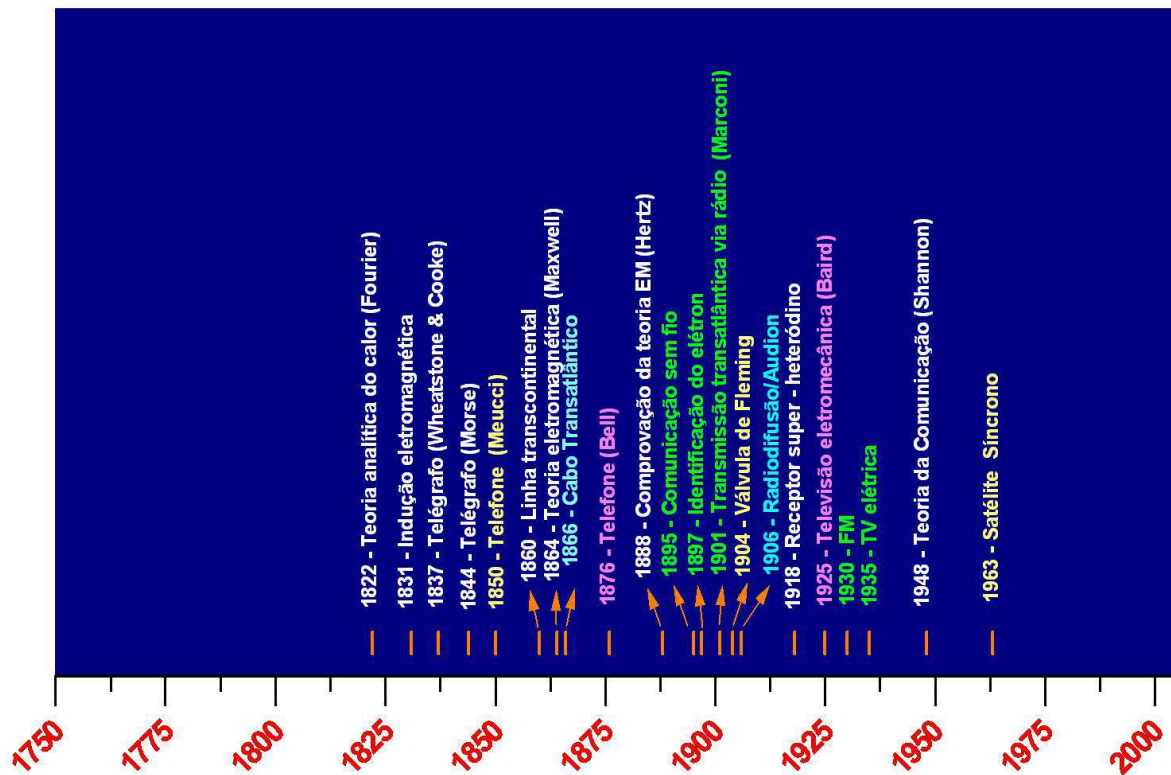


Figura 2 – Linha do Tempo – Fatos

2- Henry e Faraday

Joseph Henry (EUA, 1797–1878) (Figura 3) e Michael Faraday (Inglaterra, 1791-1867) (Figura 4) trabalharam de forma independente em países diferentes e chegaram quase simultaneamente aos resultados que comprovam a lei da indução eletromagnética, que pode ser considerada a origem do Eletromagnetismo e das Comunicações.

Receberam como herança, um mundo onde a teoria do inglês Isaac Newton (1643-1727) da *ação a distância* era considerada verdade absoluta. Esta teoria havia substituído a teoria cartesiana (do francês René Descartes (1596-1650), início do século XVII) do *éter*, que ditava que corpos só poderiam agir sobre outros corpos por pressão direta ou impacto. O espaço estaria preenchido por um meio denominado *éter*, imperceptível aos sentidos humanos, mas capaz de transmitir forças, como calor, luz e gravidade, e exercer efeitos sobre os corpos nele imersos. Acreditava-se então que o *éter* era composto de partículas em movimento contínuo, responsáveis pela transferência misteriosa dessas forças. Com a teoria da gravitação universal de Newton (1687), que dita que os corpos se atraem com uma força proporcional ao produto de suas massas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles, o conceito da existência do *éter* foi aos poucos abandonado e substituído pela ideia de que

forças gravitacionais, elétricas e magnéticas poderiam agir a distância e em linha reta entre dois pontos, sem a necessidade de nenhum meio material. Em 1785, é proposta a Lei de Coulomb (devida ao francês Charles Augustin de Coulomb, 1736-1806), que apresenta grande semelhança com a lei gravitacional de Newton e estava de acordo com o efeito da ação a distância.



Figura 3 – Henry
(EUA, 1797–1878)



Figura 4 - Faraday
(Inglaterra, 1791-1867)

Outra herança importante que motivou os trabalhos de Henry e Faraday foi a descoberta acidental, em 1820, do cientista dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), de que a passagem de corrente elétrica num fio defletia a agulha magnética de uma bússola colocada nas proximidades. O efeito magnético causado por uma corrente elétrica era mais ou menos esperado naquela época, mas o mais surpreendente nesta descoberta foi a natureza da força magnética produzida, que não estava de acordo com a teoria de Newton sobre a ação em linha reta entre dois pontos, mas sugeria que a tal força magnética operava em círculos. Foi o próprio Oersted quem propôs a conhecida “regra da mão direita”. Seguindo esta importante constatação de que eletricidade poderia gerar magnetismo, o cientista francês André Marie Ampère (1775-1836) repetiu o experimento de Oersted, e fez vários estudos mostrando a similaridade entre o comportamento de um solenóide (ele foi o primeiro a enrolar um fio na forma de hélice ou bobina, de forma a intensificar o campo magnético criado no interior deste elemento) percorrido por corrente elétrica e uma barra de imã. Com isso, estabeleceu a base teórica matemática da *eletrodinâmica*, palavra que ele mesmo propôs à teoria que estava emergindo. Vale observar que Ampère pertencia a um grupo que acreditava firmemente

que não era possível haver qualquer interação entre forças elétricas e magnéticas, sendo elas de natureza totalmente distintas.

Nos dez anos seguintes, vários outros experimentos foram feitos relacionando eletricidade e magnetismo e apesar da desconfiança de que o efeito contrário seria verdadeiro (magnetismo poderia gerar eletricidade), ninguém conseguia demonstrar tal fato.

O início da história do Eletromagnetismo estava povoado por mitos e mistérios que deveriam ser desvendados antes que pudessem aparecer as inúmeras aplicações tecnológicas que decorreram do entendimento e da formulação das teorias e modelos matemáticos que explicam esses dois fenômenos e a interação entre eles. Um desses mistérios era a própria natureza da eletricidade. Se lembrarmos que apenas em 1897 foi descoberto o elétron pelo britânico J.J. Thomson (1856-1940), podemos entender a existência das bizarras teorias que tentavam explicar a eletricidade. Uma delas consistia no conceito dos dois fluidos (eletricidade vítrea e eletricidade resinosa) que foi proposto pelo francês Charles Du Fay (1698-1739) em 1733, tentando explicar as forças de repulsão entre dois corpos de mesmo “tipo” de eletricidade e de atração entre corpos de diferentes “tipos”. Em contrapartida, o escritor, político e cientista americano Benjamin Franklin (1706-1790) introduziu, em 1747, a teoria de um único fluido e dois tipos de eletricidade: positiva e negativa, que se anulavam. A eletricidade positiva representaria o fluxo deste fluido e a eletricidade negativa seria a ausência do fluido. Até hoje, consideramos a corrente elétrica como sendo o movimento de cargas positivas, devido a esta antiga teoria de Franklin. Para explicar a força elétrica, ele imaginou o conceito de atmosfera elétrica, como um tipo de campo que cercava os corpos eletrizados. A demonstração de suas teorias foi feita através do famoso experimento do papagaio empinado em um dia de tempestade, em que demonstrou perigosamente que o relâmpago era uma descarga elétrica (outra consequência deste experimento foi a invenção do pára-raios, em 1753, pelo próprio Franklin). Devido a essas duas teorias, a corrente elétrica era considerada ora como o movimento em uma direção de um único fluido, ou como o movimento simétrico de dois fluidos em direções opostas. Essa segunda explicação era muitas vezes adotada, pois explicava o comportamento da solução eletrolítica entre os eletrodos da pilha proposta por Alessandro Volta (1745-1827), em 1799, dispositivo que possibilitou os experimentos dos cientistas nesta fase da história da eletricidade.

Outro mistério relacionava-se com a definição do que era e como era o magnetismo criado por uma corrente elétrica. O próprio Ampère, apesar de confirmar o experimento de Oersted e deduzir a lei da força entre dois condutores elétricos, relutou em considerar que esse magnetismo teria a mesma natureza que o criado por um ímã. Desenvolveu então uma teoria, atribuindo as propriedades dos ímãs à contínua circulação de correntes

intermoleculares dentro dos mesmos, de tal forma que uma corrente elétrica própria iria interagir com essas correntes que causavam o magnetismo e não com o ímã propriamente dito. É claro que a presença de tais correntes intermoleculares causaria um aquecimento nos ímãs com relação ao ambiente onde estariam imersos, e tal teoria não vingou.

O meio em que a ação dessas forças entre correntes elétricas e ímãs ocorria também era um mistério. Valeria a teoria newtoniana para essas interações, e as forças agiriam a distância e em linha reta como a gravidade? Agiriam também no vácuo?

Faraday era filho de um ferreiro, autodidata, e sem quase nenhuma educação formal. Havia lido muitos livros de ciências durante os sete anos em que trabalhou como aprendiz de um encadernador, e graças à sua curiosidade e interesse pelo assunto, havia se tornado nessa época, assistente do então famoso químico britânico Sir Humphry Davy (1778-1829) na *Royal Institution*. Tal instituição foi fundada em 1799, com o objetivo de difundir e aplicar a ciência para os aspectos comuns da vida. Quando soube dos experimentos de Oersted, interessou-se prontamente e os repetiu em 1821, descobrindo o efeito da rotação eletromagnética, que nada mais era que a conversão da eletricidade em trabalho mecânico, o que poderia ser considerado como o primeiro motor elétrico (Figura 5). Infelizmente, durante os próximos dez anos, Faraday estaria muito ocupado em suas pesquisas na *Royal Society* (academia científica britânica, fundada em 1660, dedicada a promover a excelência da ciência) que eram relacionadas com metalurgia, química e óptica. Somente em 1831, ele volta aos experimentos com eletricidade e magnetismo, chegando à Lei de Indução Eletromagnética. Foi uma longa série de experimentos que o levou a finalmente descobrir que eletricidade poderia ser gerada quando havia uma variação no estado magnético e não em regime estacionário. Utilizando dois condutores, um deles conectado a uma bateria e outro a um galvanômetro, percebeu que quando um condutor era aproximado do outro, a agulha do galvanômetro era defletida em uma direção e na direção oposta no momento em que os condutores eram afastados. A Figura 6 é uma fotografia de duas bobinas enroladas em um núcleo de ferro, utilizadas por Faraday em seus experimentos. Na Figura 7, tem-se a representação do fenômeno da indução eletromagnética: a agulha da bússola é defletida para um lado no momento em que a chave é fechada e para o outro, quando a mesma é aberta. Se a chave permanecer fechada ou aberta, de forma estacionária, a agulha permanece imóvel. Na Figura 8, encontra-se o esquema do circuito equivalente do experimento de Faraday: um simples circuito com indutância mútua, energizado por uma excitação em degrau (representado pelo fechamento da chave). A tensão e corrente são induzidas no secundário devido à variação do fluxo magnético criado pela corrente em degrau no primário. Nesse mesmo ano, Faraday construiu o primeiro dínamo: demonstrou que num disco metálico

girando imerso em um campo magnético (podia ser até o campo magnético terrestre!) era produzida eletricidade (Figura 9). As lanternas que hoje fazem tanto sucesso por não necessitarem de pilhas, funcionam com base exatamente no dínamo (ou disco) de Faraday (Figura 10). Neste caso, ao se apertar a manivela, faz-se o disco magnético girar entre duas bobinas, causando uma variação do fluxo que as atravessa, e induzindo em seus terminais a corrente elétrica que acende a lâmpada.

Os estudos realizados por Faraday durante 30 anos estabeleceram as bases do Eletromagnetismo e dos conceitos de linhas de força e propagação dos campos eletromagnéticos. Suas descobertas foram resultados de inúmeros experimentos e de sua incrível intuição. A pouca habilidade em matemática e o seu não-comprometimento com as teorias estabelecidas na época, como a própria teoria da ação a distância de Newton, permitiram que suas conclusões fossem tiradas estritamente a partir dos fenômenos e efeitos que observava. Para se convencer de que a eletricidade gerada por indução eletromagnética era a mesma eletricidade de outros fenômenos já conhecidos, fez um estudo completo sobre eletricidade voltaica, estática, termoeletricidade e eletricidade animal e seus efeitos: atração e repulsão de cargas, calor, magnetismo decomposição química, efeito fisiológico e faíscas. O conceito de linhas de força, que hoje nos parece tão trivial, podendo ser comprovado corriqueiramente com um ímã e limalha de ferro (Figura 11) foi cuidadosamente documentado por Faraday em suas anotações (Figura 12). Diferentemente das linhas de força eletrostáticas, que terminam em corpos diferentes, suas experiências demonstravam que as linhas de força magnéticas eram circulares. Ele também intuiu através de seus experimentos, que tanto as forças elétricas quanto as magnéticas não agiam instantaneamente, mas demoravam um tempo para serem transmitidas, prevendo o fenômeno da propagação. Além disso, parecia difícil a Faraday aceitar que tais forças pudessem ser transmitidas a distância. Apesar de rejeitar a ideia cartesiana da existência do éter, ele sentia que estas linhas curvas deveriam necessitar de algum tipo de meio, no qual provocassem pressões e alterações. Apesar de buscar insistentemente a relação entre as forças da gravidade, da eletricidade e do magnetismo, todas suas conclusões sobre o eletromagnetismo iam contra a crença geral da ação a distância e em linha reta que governam a lei da gravidade. Suas teorias somente foram comprovadas com o trabalho matemático posterior de James Clerk Maxwell, com o qual foi finalmente rejeitada a teoria da ação a distância para esse tipo de força da natureza. Em resumo, as ondas eletromagnéticas propagavam-se nos meios, incluindo o vácuo, através de linhas de forças que podiam ser curvas! Maxwell também comprovou que a luz é uma radiação eletromagnética, fato que já era especulado por Faraday desde 1845, a partir de experimentos através dos quais observou que a polarização de um feixe de luz poderia ser desviado por um campo magnético (o denominado “efeito Faraday”).

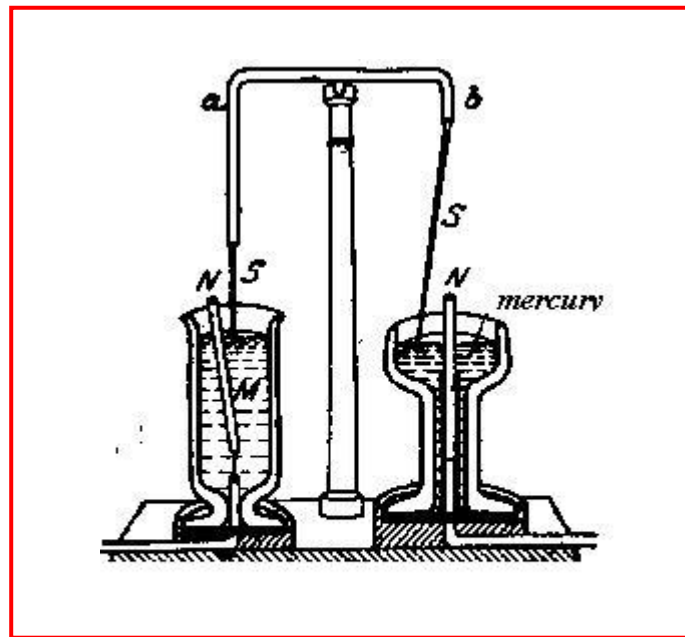


Figura 5 – O “motor” de Faraday: rotação de um ímã ao redor de um fio atravessado por corrente e rotação de um fio percorrido por corrente ao redor de um ímã.



Figura 6 – Anel de Faraday (1831)

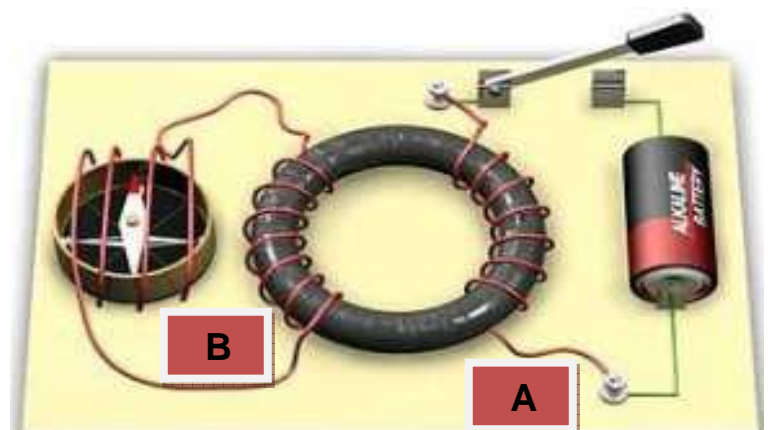


Figura 7- Representação de experimento que comprova a lei da indução

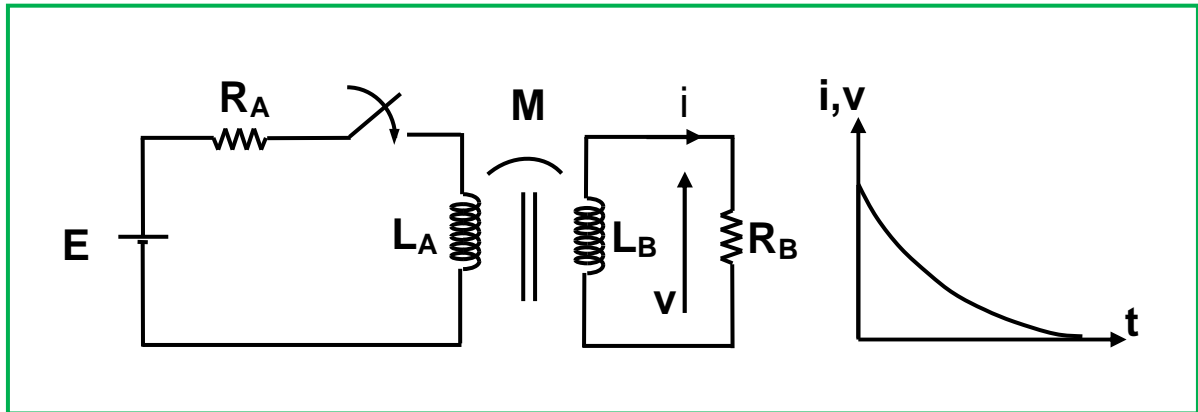


Figura 8 – Circuito equivalente da Lei da Indução de Faraday

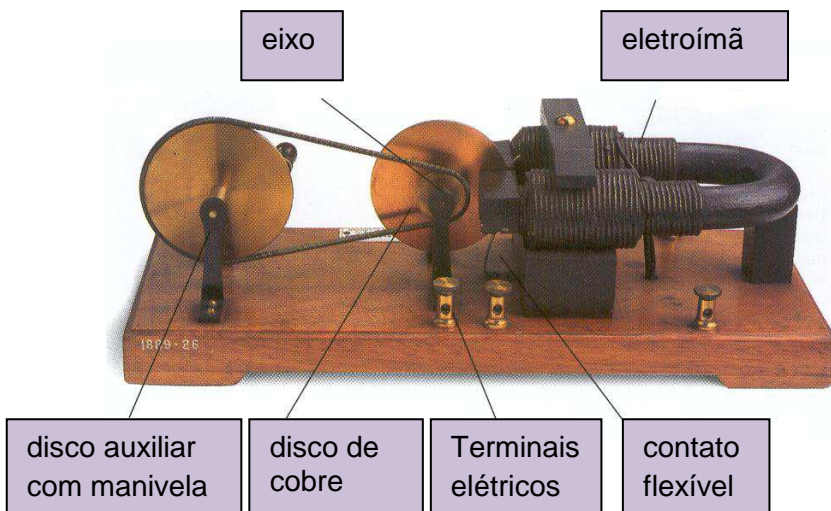


Figura 9 – Dínamo (Disco) de Faraday

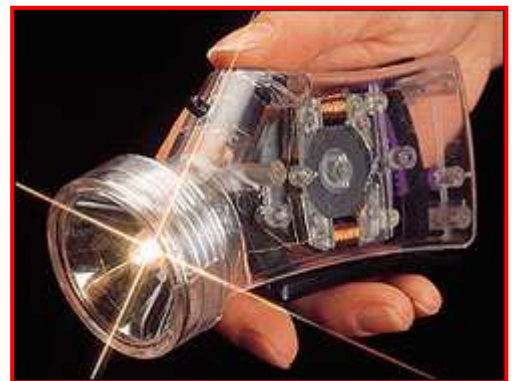


Figura 10– Lanterna a dínamo (disco magnético)

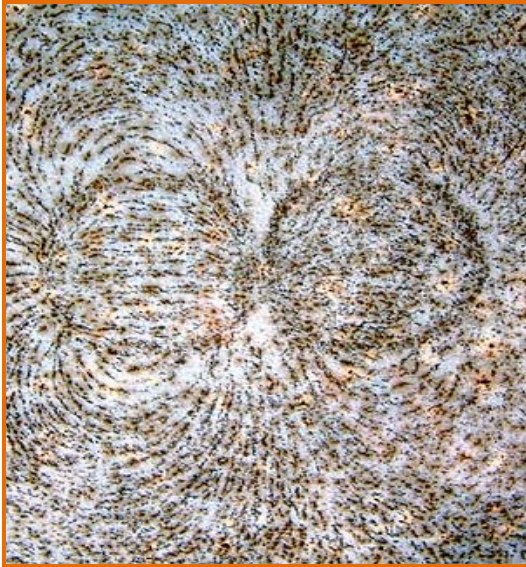
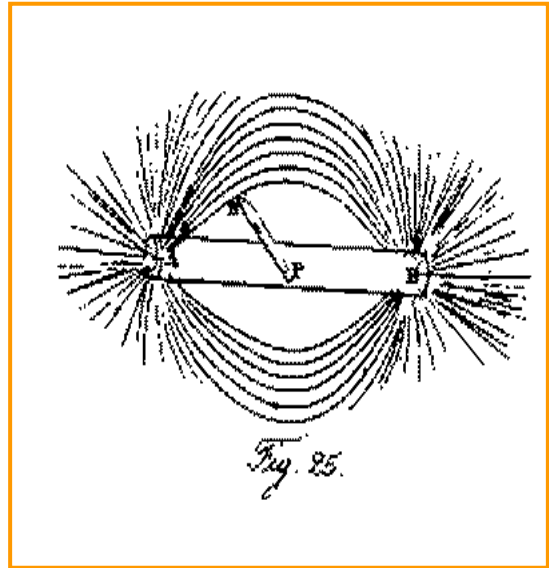


Figura 11 - Primeiros diagramas com limalha de ferro



**Figura 12 - Anotações de Faraday
Conceito de linhas de força**

Considerado como um dos maiores cientistas experimentais da humanidade, a vida de Faraday foi cheia de dificuldades devido à sua origem humilde e à sua falta de educação científica formal. Foi um grande autodidata, mas suas descobertas sempre foram recebidas com desconfiança pelos cientistas de seu tempo. Fazia registros cuidadosos de suas ideias e observações, e não se deixava dominar pelas teorias e crenças vigentes na época. Pressentiu a ideia de que os efeitos elétricos e magnéticos se propagavam através dos meios em um tempo finito (“como vibrações na superfície da água”). No entanto, como não tinha ainda provas experimentais para comprovar tais efeitos, e temeroso de ser desacreditado e ao mesmo tempo de perder os créditos pela prioridade de sua teoria, escreveu um documento sobre este assunto e entregou-o selado à *Royal Society* em 1832. Este documento foi aberto mais de cem anos depois, somente em 1937! Outra demonstração de seu comportamento humilde perante a sociedade foi não ter aceito, por duas vezes, o cargo de Presidente da *Royal Society*, nem tampouco o cobiçado título de cavaleiro (*Sir*). Faraday foi um excelente professor, e possuía grande habilidade em apresentar ideias de forma clara, sabendo a importância das ilustrações para prender a atenção do público. Em 1825, instituiu as *Faraday Lectures*, na *Royal Institution*, cujo objetivo era divulgar a ciência às pessoas comuns, principalmente aos jovens. Essas palestras são ministradas até hoje, tendo parado apenas durante a 2ª Grande Guerra. O próprio Faraday apresentou 19 séries dessas palestras. Apesar de seu interesse tão intenso pela ciência, Faraday teve sérios problemas de saúde que o impediram de trabalhar normalmente de 1839 a 1844. Seus dois últimos anos também foram marcados pela senilidade e falta de memória, causados possivelmente devido a envenenamento por mercúrio.

Joseph Henry é reconhecido como um dos cientistas americanos, além de Benjamin Franklin, a realizar um vasto número de experimentos em eletricidade e magnetismo. Descobriu, quase que simultaneamente a Faraday, o fenômeno da indução eletromagnética. A prioridade no entanto foi conferida a Faraday, que publicou antes seus resultados. Foi o primeiro a reconhecer e descrever a auto-indutância de uma bobina: uma faísca ocorre devido à alta tensão que se provoca nos terminais de um indutor, ao se interromper a corrente, ou seja, o campo magnético, através do mesmo (Figura 13). Dentre suas várias contribuições, destacam-se seus poderosos eletroímãs (Figura 14), melhorados devido à isolação dos fios, ao invés da isolação do núcleo de ferro como eram feitos antes. Com esta configuração, ele conseguia enrolar muito mais voltas de fio em torno do material ferromagnético, e os eletroímãs eram capazes de levantar centenas de quilos de metal.

Uma de suas contribuições importantes para a futura evolução das comunicações foram as observações sobre o caráter oscilatório da descarga de garrafas de Leyden, que ele costumava usar como fonte de tensão (diferentemente de Faraday, que usava baterias galvânicas). Observou também que os efeitos do acoplamento indutivo de tal descarga poderiam ser percebidos a longa distância. Em 1842, realizou um experimento em que fez defletir uma agulha magnética a vários metros de onde havia provocado uma descarga de uma garrafa de Leyden através de um fio terra. O circuito equivalente a seus experimentos, mostrado na Figura 15, explica claramente o porquê de tais oscilações, já que a capacitância da garrafa de Leyden, juntamente com a indutância de sua bobina primária, causava uma resposta de 2ª ordem oscilatória, induzida no secundário do transformador.

Henry também contribuiu bastante com o desenvolvimento do telégrafo, aconselhando Wheatstone e Cooke, e depois Morse (que não reconheceu suas contribuições ao sucesso de seu telégrafo) a utilizar tensões de excitação mais altas e relés para obter sinais mais intensos, que pudessem alcançar maiores distâncias. Henry havia construído o primeiro relé em 1835. Na Figura 16 encontra-se um esquema do telégrafo primitivo proposto por Henry, com seus elementos básicos: um eletroímã, alimentado por uma bateria distante, uma barra de ferro que se move com a ação do campo magnético e bate em uma campainha. Mais tarde, foi também com base em seus palpites que Graham Bell e seu assistente Watson construíram os primeiros protótipos do telefone.

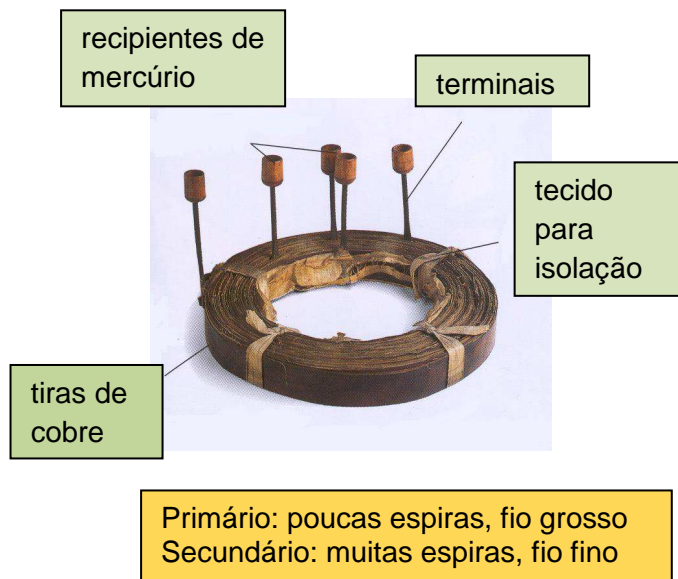


Figura 13 – Bobina de indução de Henry Figura 14 – Eletroímã de Henry

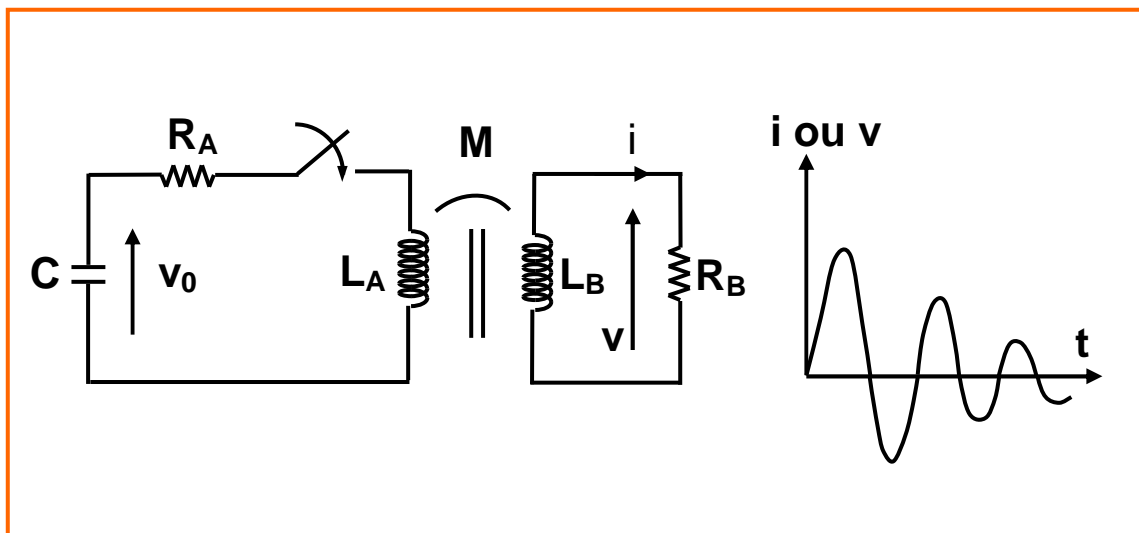


Figura 15 – Circuito equivalente – Henry

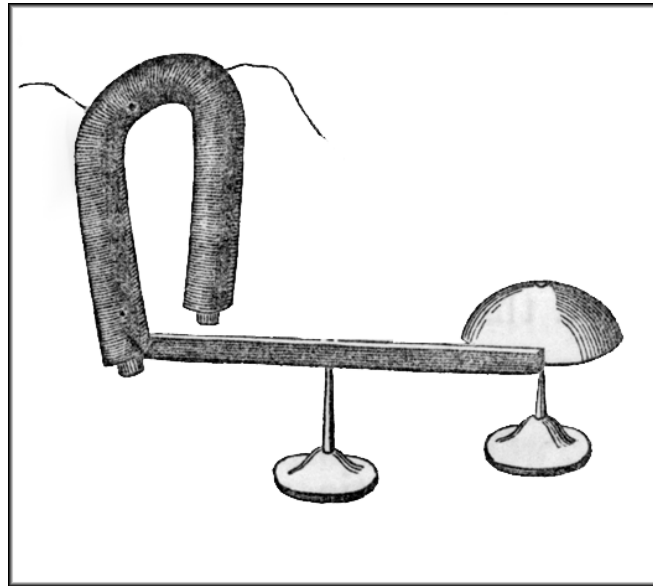


Figura 16 – Telégrafo proposto por Henry

Neste ponto, torna-se interessante destacar alguns fatos básicos da *Lei da Indução Eletromagnética* descobertas por Faraday e Henry e que foram base para inúmeras descobertas e invenções posteriores:

- Como consequência da descoberta de Oersted de que corrente elétrica gera campo magnético, há a criação de polos magnéticos norte e sul nos circuitos elétricos atravessados por corrente. Deve-se lembrar que as linhas de campo magnético saem do polo norte e entram no polo sul, e também que polos magnéticos iguais se repelem e polos opostos se atraem. As linhas de campo magnético criadas por corrente elétrica seguem a orientação da “regra da mão direita” (Figura 17).
- Materiais ferro ou ferrimagnéticos não devem ser confundidos com ímãs permanentes. Ímãs possuem polos norte e sul bem definidos. Nos materiais magnéticos, os domínios magnéticos se orientam de acordo com a atuação de um campo magnético externo, de forma a reforçar o efeito deste campo. Os polos magnéticos induzidos nesses materiais têm polaridade de acordo com o campo magnético onde estão inseridos, e portanto não são fixos.
- As linhas de campo elétrico originam-se na carga elétrica positiva e terminam na carga elétrica negativa, em um dipolo elétrico, diferentemente das linhas de campo magnético, que sempre formam laços fechados contínuos (Figura 19).

- A variação de fluxo magnético pode ser obtida através de movimento mecânico (de um ímã ou um circuito elétrico) ou de variação da corrente elétrica que cria o campo magnético.
- A indução eletromagnética é um efeito de reação: o campo elétrico, as tensões e correntes elétricas induzidos devido à variação de campo magnético têm orientação sempre no sentido de criar um campo magnético que se opõe ao efeito da variação original. Vale, portanto a Lei formulada em 1834 pelo alemão Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865): a direção da força eletromotriz é tal que, a corrente criada por essa força opõe-se à variação do campo magnético. Se a variação é causada por movimento mecânico, aparecerá uma força contrária a este movimento (seja de aceleração ou retardamento).
- O movimento de carga elétrica (ou corrente) em uma região onde existe campo elétrico e/ou campo magnético está sujeito à ação da Força de Lorentz (deduzida pelo holandês Hendrik Antoon Lorentz, 1853-1928). Com relação ao campo magnético, a direção da força segue a “regra da mão esquerda”, (também denominada “FBI”) proposta por John Ambrose Fleming (1849-1945) (Figura 18).

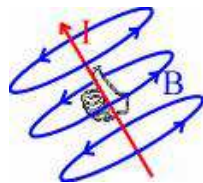


Figura 17- Regra da mão direita

Figura 18- Regra da mão esquerda

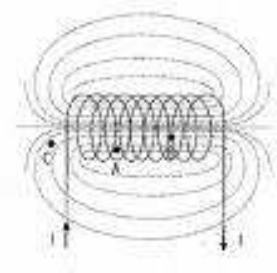
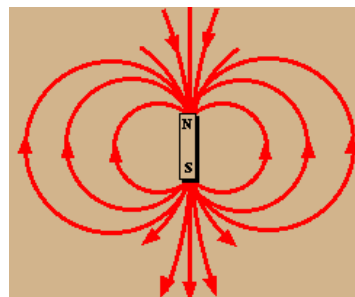
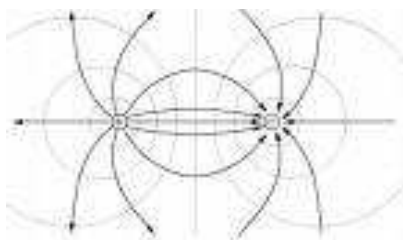


Figura 19- Linhas de campo elétrico e Linhas de campo magnético

3- Maxwell

O trabalho de James Clerk Maxwell (Escócia, 1831-Inglaterra, 1879) (Figura 20) é considerado como a fundação da Teoria Eletromagnética. Ele conseguiu traduzir as ideias de Faraday sobre os fenômenos da eletricidade e do magnetismo em uma notação matemática, além de conectar o fenômeno da luz com as ondas eletromagnéticas. Esta conexão é considerada a segunda unificação da Física. A primeira havia sido promovida por Newton ao relacionar as mecânicas celeste e terrestre.

Os experimentos e ideias de Faraday foram os alicerces do trabalho de Maxwell. No entanto, sua herança inclui também as investigações de outro brilhante estudante de Cambridge, seu veterano, o irlandês William Thomson (1824-1907) (que mais tarde recebeu o título de Lord Kelvin, pelo qual é mais conhecido) sobre as similaridades entre os fenômenos eletromagnéticos e a elasticidade. O primeiro grande trabalho de Maxwell, apresentado em 1855, quando ele tinha apenas 24 anos, traduziu matematicamente as ideias de Faraday, dando-lhes maior credibilidade da comunidade acadêmica da época. Nos primeiros artigos, Maxwell estabeleceu uma analogia entre as forças entre cargas elétricas ou polos magnéticos e as forças elásticas estudadas por Thomson. Neste trabalho, ele demonstrou que o cálculo dessas forças eletromagnéticas, ora utilizando a teoria newtoniana da ação a distância (na qual o meio não importava, e o único fator relevante era a distância) ou usando a proposta de Faraday sobre as linhas de força distribuídas no meio de propagação, levavam em alguns casos exatamente aos mesmos resultados! Isto explica a validade da Lei de Coulomb, que possui uma analogia perfeita com a Lei gravitacional de Newton, embora se saiba hoje que os fenômenos da força da gravidade e das forças eletromagnéticas são diferentes.

Em 1859, Maxwell interrompeu seus estudos em eletricidade e publicou um artigo brilhante sobre o movimento dos anéis de Saturno. Esse trabalho rendeu-lhe um prêmio da Universidade de Cambridge, e o estabeleceu como líder entre os físicos matemáticos.

Em 1864, Maxwell publicou sua maior contribuição: *Uma Teoria Dinâmica do Campo Eletromagnético*, em que propôs a teoria completa sobre os campos que cercavam corpos elétricos e magnéticos, e também sobre as características do meio no qual se propagavam estes campos e também a luz. Nesse trabalho, Maxwell abandonou os modelos mecânicos e propôs suas equações com base em cálculos das forças e energia, usando o conceito de campos. No entanto, ainda considerou o éter como o meio no espaço onde ocorriam os fenômenos eletromagnéticos. Hoje, sabe-se que a energia é trocada entre os campos, sem a necessidade da hipótese do éter. Foram vinte equações, com vinte variáveis (Figura 21), que posteriormente deram origem às quatro Leis de Maxwell, como as conhecemos hoje (Figura 23). Em 1870, na

ocasião em que deveria apresentar sua teoria à Associação Britânica para o Progresso da Ciência, Maxwell em sua excessiva modéstia, passou quase todo o tempo explicando uma teoria proposta por seu amigo Lord Kelvin e apenas ao final, referiu-se ao seu trabalho como sendo “uma outra teoria sobre eletricidade, que eu prefiro”, sem sequer mencionar que a teoria era dele próprio.

Em 1865, Maxwell voltou para a Escócia, com a ideia de viver uma vida mais reclusa. No entanto, devido à sua reputação, ele foi convidado a assumir a nova cátedra em Física Experimental, em Cambridge, em 1871. Lá, ele fundou o Laboratório Cavendish, até hoje um dos laboratórios científicos mais importantes do mundo.

A teoria de Maxwell pode ser resumida de forma bem simplificada na seguinte constatação: correntes elétricas variáveis no tempo produzem campos eletromagnéticos que se propagam no espaço com a velocidade da luz. Os pontos principais estabelecidos por essa teoria foram:

- A confirmação da existência das linhas de força e a rejeição definitiva da ação a distância e da teoria de Newton para o eletromagnetismo.
- A energia é armazenada não sob forma potencial, como se acreditava, dentro dos corpos eletrizados, condutores ou magnéticos, mas sim ao redor dos mesmos, nos campos eletromagnéticos, que se propagam mesmo no vácuo. Havendo matéria, as características desta propagação são alteradas pelo meio.
- A determinação do valor da velocidade de propagação de ondas EM, praticamente coincidindo com a velocidade de propagação da luz, fato que fez Maxwell deduzir que a luz também era uma perturbação eletromagnética que se propagava transversalmente, de acordo com suas equações.
- A proposta da corrente de deslocamento em dielétricos, conceito difícil de ser compreendido, face à conhecida corrente de carga que fluía somente em circuitos fechados.
- A conclusão de que: a eletricidade poderia ser criada por cargas elétricas ou por campos magnéticos variáveis; o magnetismo poderia ser criado por correntes elétricas ou por campos elétricos variáveis.

A teoria de Maxwell era capaz de explicar todos os fenômenos já conhecidos na época. E podia também prever um novo mundo de fenômenos desconhecidos, dando um grande ímpeto à pesquisa em eletromagnetismo. A importância da Teoria dos Campos Dinâmicos de Maxwell está além de seus resultados imediatos em explicar e unificar os fenômenos da eletricidade e magnetismo, tendo se tornado a base da Teoria da Relatividade de Einstein, da

Mecânica Quântica, da Teoria unificada dos campos e partículas, e do que é conhecido atualmente como Modelo Padrão da Física de Partículas.

O menino Maxwell tinha na escola o apelido de “*dafty*” (idiota), por ser considerado excêntrico para os padrões da época. Já quando estudante universitário em Cambridge, fazia parte do seletivo grupo denominado “os doze apóstolos”, que juntava os doze alunos mais brilhantes de todos os cursos daquela Universidade. Maxwell morreu de câncer abdominal, com apenas 48 anos, dez anos antes que Hertz confirmasse experimentalmente sua brilhante teoria.

4- Os maxwellianos: Heaviside

Foram necessários 20 anos para que a teoria de Maxwell fosse aceita como verdadeira. Era uma teoria que retrata o mundo em duas camadas. Na primeira camada estão, como constituintes fundamentais do universo, os campos elétrico e magnético, que obedecem equações lineares, mas representam grandezas abstratas, incompreensíveis e incomensuráveis (basta notar que a unidade de densidade volumétrica de campo elétrico é $(\text{J}/\text{m}^3)^{1/2}$). Na segunda camada encontram-se grandezas mensuráveis e de fácil entendimento físico: as forças, densidades de energia (em J/m^3) e pressões mecânicas. No entanto, estas variáveis físicas simples estão relacionadas com as grandezas da primeira camada através de equações quadráticas ou bilineares de alta complexidade matemática, dificultando a compreensão de tal modelo.

Outros motivos que colaboravam para a descrença na validade da teoria de Maxwell eram:

- a relutância em abandonar a ideia de que a teoria da ação a distância de Newton pudesse explicar totalmente os fenômenos eletromagnéticos e a volta da ideia considerada ultrapassada do éter (Maxwell havia concluído que as forças eletromagnéticas não são transmitidas pela matéria, mas por uma forma de éter que existe mesmo no vácuo!). Na verdade, sabe-se agora que a energia é transmitida entre os campos EM, não havendo necessidade da existência de qualquer meio;
- embora a ideia de ondas eletromagnéticas estivesse presente em seu conjunto de equações, ele não havia mencionado nada sobre tais ondas ou como produzi-las, exceto pela luz, que ele considerou como sendo de mesma natureza que as ondas EM, inclusive demonstrando que a velocidade de propagação dessas ondas era a própria velocidade da luz. Apesar desta constatação, Maxwell não forneceu nenhuma explicação sobre os fenômenos de reflexão e refração das ondas EM;
- o polêmico conceito da corrente de deslocamento. Em dielétricos (como em um capacitor, por exemplo), Maxwell propôs que a corrente de condução provocava um efeito de “deslocamento” no isolante, de forma

a fechar o circuito, que na época era considerado um circuito aberto. A corrente de deslocamento não foi agregada às equações por questões de simetria matemática, como se acreditou por muito tempo. Para explicar a existência desta corrente no espaço livre, Maxwell havia assumido um meio mecânico hipotético. Esta interpretação não é mais usada, já que se sabe que nenhum meio artificial é necessário para sustentar a corrente de deslocamento. No entanto, este termo ainda é usado em homenagem a Maxwell.

Assim, em 1879, quando Maxwell morreu, eram poucos os cientistas que compreendiam ou aceitavam sua teoria. Até 1888, quando Hertz conseguiu validar experimentalmente a Teoria Eletromagnética de Maxwell, ao produzir e detectar em laboratório as tais ondas eletromagnéticas, esta tentativa foi arduamente perseguida pelos cientistas denominados maxwellianos: os britânicos George F. Fitzgerald (1851-1901) (que foi o primeiro a propor que um circuito RLC poderia ser um gerador das ondas EM), Oliver Lodge (1851-1940) e Oliver Heaviside (Inglaterra, 1850-1925). Ao longo de sua busca em demonstrar ou que a luz pudesse ser gerada através de um processo eletromagnético, ou que as ondas geradas eletromagneticamente apresentassem as características da luz visível, estes três cientistas expandiram, modificaram e tornaram compreensíveis as ideias e equações de Maxwell. Eles representam também o início da “classificação” dos engenheiros entre teóricos e práticos: enquanto os maxwellianos tentavam demonstrar a teoria de Maxwell, outros engenheiros lucravam com as várias aplicações práticas do eletromagnetismo que apareciam a cada dia, como por exemplo, o telégrafo e o telefone.

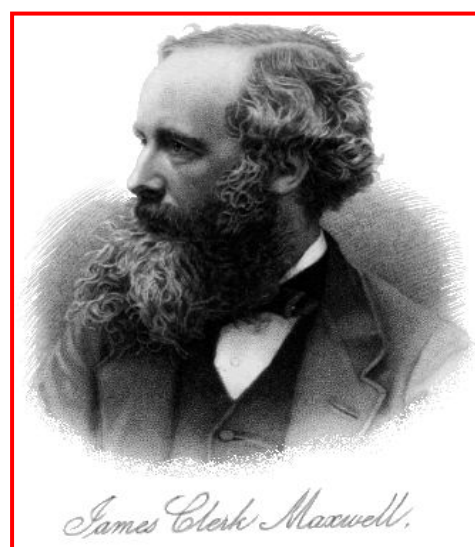


Figura 20 – Maxwell (Escócia, 1831-Inglaterra, 1879)

O nome de Heaviside (Figura 22) tornou-se popular na ciência basicamente por designar a função degrau e a camada da ionosfera. No entanto, foram inúmeras suas contribuições, dentre as quais se destacam:

- a simplificação das Leis de Maxwell (1884). Heaviside diria que as quatro equações resultantes após sua simplificação estavam “latentes”, mas não “patentes” no trabalho de Maxwell. As equações originais foram escritas na forma cartesiana, e utilizavam como variáveis: campos, potenciais e densidades de corrente. É graças a Heaviside (com contribuição de Hertz) que conhecemos as quatro equações de Maxwell como são agora (Figura 23). Esta simplificação foi feita, utilizando o conceito de vetores, introduzido pelo matemático americano Josiah Willard Gibbs (1839-1903) (conhecido pelo fenômeno de Gibbs na síntese de sinais por série de Fourier) e assumindo como variáveis, apenas os campos elétrico e magnético;
- as equações para propagação de ondas EM em cabos. Em torno de 1880, as comunicações por telegrafia já se espalhavam de cidade a cidade e continente a continente, através de cabos massivos e complicados mecanismos, sem que houvesse avanço teórico sobre este *hardware*. Praticamente o único modelo matemático que existia era uma análise de fluxo para baixas frequências e longos cabos, feita por Lord Kelvin, 30 anos antes. Essa teoria funcionava para a transmissão de poucas palavras por minuto, mas falhava totalmente para transmissão de voz por telefone. De fato, esse modelo fazia o cálculo da tensão num cabo de transmissão, considerando apenas a resistência e capacitância do cabo. Heaviside introduziu a indutância da linha, e propôs a equação diferencial conhecida como “Equação dos Telegrafistas” (Figura 24) (1876), até hoje utilizada nos cálculos de linhas de transmissão. Ele foi mais além em seus estudos, propondo que a distorção de sinais em cabos poderia ser diminuída, aumentando-se a indutância dos mesmos. Em 1880, generalizou o conceito do efeito pelicular para cabos condutores de qualquer formato e patenteou o cabo coaxial, embora o mesmo já estivesse sendo utilizado anteriormente em sistemas telegráficos submarinos;
- a reflexão das ondas EM na ionosfera. Os experimentos de Marconi levaram à primeira comunicação transatlântica via rádio. No entanto, ninguém explicava qual teria sido o mecanismo de propagação. Heaviside intuiu então, em 1902, a existência de uma camada condutora (ionizada) acima da atmosfera, que guiaria as ondas eletromagnéticas, ao longo da curvatura terrestre. Desta forma, previu a existência da ionosfera, também proposta de forma independente na América, por

Arthur E. Kennelly (1861-1939) e conhecida como camada de Kennelly-Heaviside. A existência da ionosfera foi comprovada experimentalmente somente em 1924 pelo inglês Edward Appleton (1892-1965);

- introduziu termos como condutância, impedância, admitância, relutância, etc... , e vários de seus métodos de cálculo encontram-se nos livros-texto das disciplinas em eletricidade e magnetismo.

Heaviside foi um homem solitário, de comportamento excêntrico, e teve poucos amigos. A causa deste comportamento pode ter sido sua surdez, causada por uma febre escarlatina que o acometeu quando ainda jovem. Não teve educação universitária e somente por seu talento e força de vontade tornou-se um grande físico da era vitoriana. Seu único emprego pago foi numa companhia de telégrafos na Dinamarca, conseguido através da influência de seu tio Charles Wheatstone, que nessa época já era um empresário bem sucedido, e amigo de Faraday e de Lord Kelvin. Em 1874, ele se aposentou prematuramente (com 24 anos) e passou a se dedicar somente aos estudos de ciência, especialmente do eletromagnetismo. Apesar de escrever trabalhos nem sempre fáceis de serem entendidos e de travar duras discussões públicas com figuras da época que tinham opiniões diferentes das suas, acabou reconhecido pela sociedade científica, tendo sido até eleito como *Fellow* da *Royal Society* em 1891, e recebido a Medalha de Faraday do IEE (Institute of Electrical Engineers, RU) em 1921.

$a = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$		
$b = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$	(A)	$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$
$c = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$		
$P = c \frac{dy}{dt} - b \frac{dz}{dt} - \frac{dF}{dt} - \frac{d\psi}{dx}$		
$Q = a \frac{dz}{dt} - c \frac{dx}{dt} - \frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}$	(B)	$\mathbf{E} = \mathbf{v} \times \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \nabla \phi$
$R = b \frac{dx}{dt} - a \frac{dy}{dt} - \frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz}$		
$X = vc - wb$		
$Y = wa - uc$	(C)	$\mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B}$
$Z = ub - va$		
$a = \alpha + 4\pi A$		
$b = \beta + 4\pi B$	(D)	$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} + \mathbf{M}$
$c = \gamma + 4\pi C$		
$4\pi u = \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz}$		
$4\pi v = \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx}$	(E)	$\mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{H}$
$4\pi w = \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy}$		
$\mathcal{D} = \frac{1}{4\pi} K \mathcal{E}$	(F)	$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$
$\mathcal{K} = C \mathcal{E}$	(G)	$\mathbf{J}_c = \sigma \mathbf{E}$
$\mathcal{E} = \mathcal{K} + \dot{\mathcal{D}}$	(H)	$\mathbf{J} = \mathbf{J}_c + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
$u = p + \frac{df}{dt}$		
$v = q + \frac{dq}{dt}$	(H*)	$\mathbf{J} = \mathbf{J}_c + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
$w = r + \frac{dh}{dt}$		
$\mathcal{E} = (C + \frac{1}{4\pi} K \frac{d}{dt}) \mathcal{E}$	(I)	$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$
$u = CP + \frac{1}{4\pi} K \frac{dP}{dt}$		
$v = CQ + \frac{1}{4\pi} K \frac{dQ}{dt}$	(I*)	$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$
$w = CR + \frac{1}{4\pi} K \frac{dR}{dt}$		
$\rho = \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz}$	(J)	$\varrho = \nabla \cdot \mathbf{D}$
$\sigma = lf + mg + nh + l'f' + m'g' + n'h'$	(K)	$\varrho_s = \mathbf{n} \cdot (\mathbf{D}_1 - \mathbf{D}_2)$
$\mathcal{B} = \mu \mathcal{H}$	(L)	$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$

Figura 21 – As equações originais de Maxwell, comparadas com as equações simplificadas posteriormente



Figura 22- Heaviside (Inglaterra, 1850-1925)

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}\end{aligned}$$

Figura 23 – As quatro equações de Maxwell

$$\frac{1}{LC} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{RG}{LC} v + \left(\frac{R}{L} + \frac{G}{C} \right) \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

Figura 24- Equação dos Telegrafistas para tensão elétrica em uma linha de transmissão

5- Wheatstone e Morse

O telégrafo a fio foi a primeira aplicação prática da eletricidade para comunicação a longa distância, e seu elemento básico foi o eletroímã. Em 1833, o cientista alemão Karl Friedrich Gauss (1777-1855) e seu colega Wilhelm Eduard Weber (1804-1891) construíram um relé eletromagnético para enviar sinais entre o laboratório de Gauss e seus dois observatórios, a uma distância de 1500 metros. Este já seria um telégrafo, mas eles não consideraram uma invenção tão importante a ponto de ser publicada!

O físico e inventor inglês Charles Wheatstone (Inglaterra, 1802- França, 1875) (Figura 25) é mais conhecido pelos alunos de Engenharia devido a um circuito que ele não inventou: a ponte de Wheatstone, proposta na verdade pelo inglês Samuel Hunter Christie (1784-1865). Wheatstone, no entanto, encontrou a descrição deste circuito em 1843, e propôs várias aplicações para o mesmo.

Em 1837, Wheatstone e outro inventor inglês, William Fothergill Cooke (1806-1879) aplicaram para a primeira patente de um sistema de telégrafo comercial: possuía 5 agulhas que podiam ser defletidas com a passagem de uma corrente elétrica, conforme o experimento de Oersted (Figura 26). Defletindo estas agulhas aos pares, elas indicariam qualquer uma de 20 letras do alfabeto (faltariam seis letras). A deflexão de uma agulha indicaria um numeral. Seis fios conectavam o transmissor ao receptor (um para cada agulha, mais um fio comum). Em 1838, este sistema foi instalado ao longo da linha de trem que ligava as estações de Londres (*Paddington*) a *West Drayton* (a 20km), tendo sido substituído em 1840 por um sistema de dois fios (Figura 27), mais econômico, porém de codificação mais complexa.

Wheatstone e Cooke acabaram se desentendendo quanto à participação de cada um na invenção do telégrafo. Foi uma briga pública que durou quase 15

anos e pode ter prejudicado o desenvolvimento do sistema telegráfico na Inglaterra.

Wheatstone ainda contribuiu com várias melhorias para o sistema telegráfico:

- em 1840 patenteou o telégrafo ABC, conhecido como o “Comunicador”, com agulhas indicadoras para entrada e saída (Figura 28). Este aparelho funcionava com o mesmo princípio dos discos de telefone, enviando pulsos de corrente ao receptor;
- em 1841, introduziu a fita impressa com a mensagem recebida pelo telégrafo, e, utilizando este aparato, construiu o transmissor automático, aumentando significativamente a velocidade de transmissão das mensagens, originalmente tecladas a mão em tempo real, e agora enviadas através da fita, onde eram previamente perfuradas;
- incorporou ao aparelho, uma campainha para chamar a atenção do operador.

Após a instalação de um cabo telegráfico entre Dover e Calais, através do *English Channel*, em 1850, ideias sobre a instalação de um cabo atravessando o Atlântico passaram a habitar as mentes de empreendedores. Wheatstone atuou por muitos anos como ativo consultor e conselheiro neste projeto, pelo qual ficaram famosos o empresário americano Cyrus Field (1819-1892) e Lord Kelvin. Este último desenvolveu a teoria sobre transmissão de sinais em cabos, incluindo as questões de atenuação e atraso. Wheatstone estava preocupado com a condutividade do condutor central do cabo (se deveria ser de cobre ou ferro), com o isolamento do mesmo e com a velocidade do sinal, tendo participado de várias medidas de amostras de cabos para esta grande aventura (Figura 37). Vale notar que para isolamento e proteção do condutor, a borracha foi substituída pela *gutta-percha*, material obtido com o látex proveniente da Malásia, e que apresentava várias características interessantes: tinha alta resistividade elétrica, era sólido e flexível à temperatura ambiente e era resistente à água salgada.

Wheatstone pertencia a uma família de músicos, e foi aprendiz de um tio que fazia e vendia instrumentos musicais. Como gostava de física e matemática, Wheatstone estudava os princípios físicos relacionados aos instrumentos e suas vibrações. Inventou instrumentos musicais diversos, como a concertina (Figura 29) e publicou trabalhos sobre os mesmos, adquirindo reputação internacional. Em 1834, foi convidado a tornar-se professor de Física experimental no *King's College*, em Londres. Como era muito tímido, e se sentia desconfortável dando aulas teóricas, passou a dar aulas apenas de laboratório, sobre óptica e eletricidade.



Figura 25 – Wheatstone (Inglaterra,1802- França,1875)

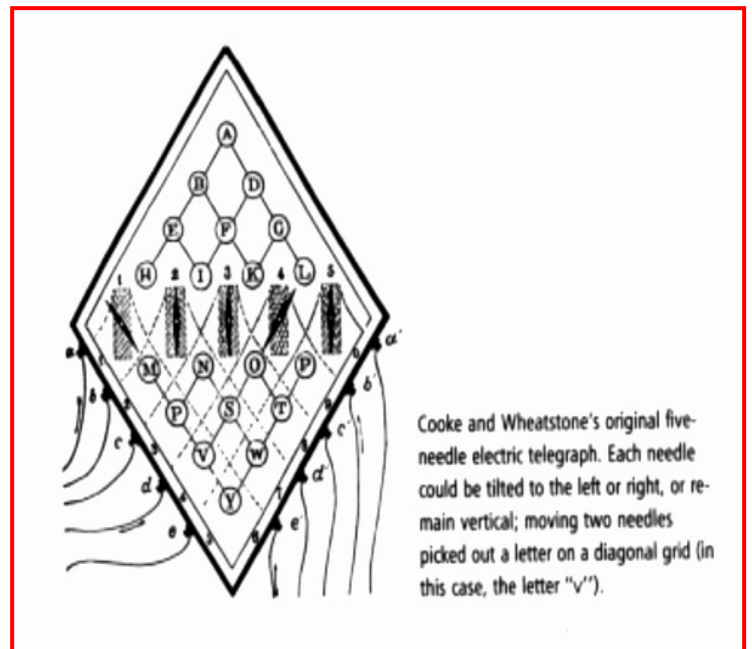


Figura 26- O telégrafo a fio de cinco agulhas (Cooke e Wheatstone, 1837)

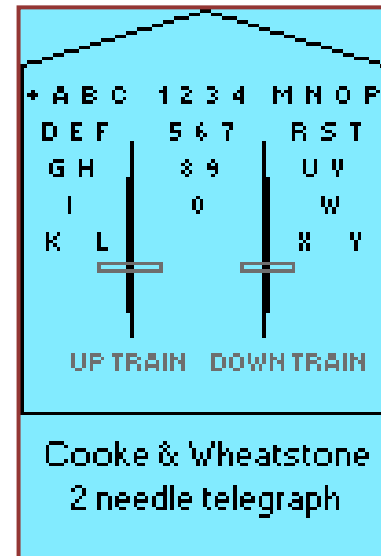


Figura 27- O telégrafo de duas agulhas (Cooke e Wheatstone, 1840)

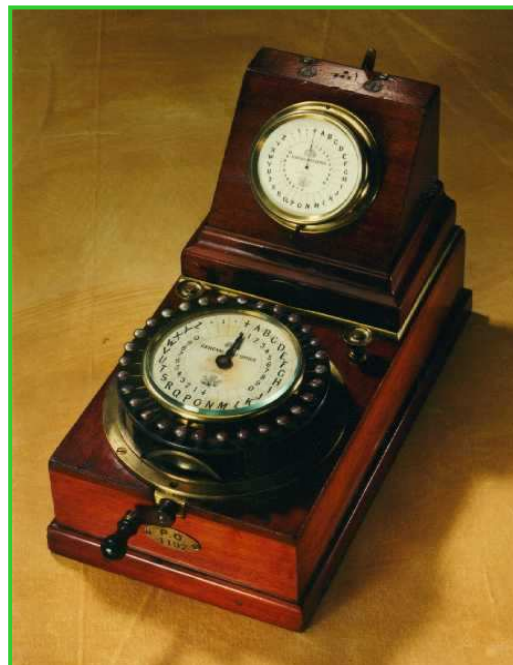


Figura 28- O telégrafo ABC – O Comunicador (Wheatstone, 1840)



Figura 29 – Concertina inglesa (Wheatstone, 1829)

Samuel Morse (EUA, 1791-1872) (Figura 30) era americano, pintor e professor de artes plásticas em Nova York. Em 1832, quando retornava da Inglaterra, para onde havia ido estudar artes, escutou conversas no navio sobre o trabalho de Faraday e a lei da indução eletromagnética. Tornou-se então obcecado com a ideia de aplicar o eletromagnetismo na implementação de um telégrafo. Em 1838 conseguiu demonstrar seu sistema, tendo recebido auxílio técnico substancial de Henry, já que ele próprio não tinha conhecimento na área. Em 1844, Morse enviou, através de um fio, de Washington a Baltimore a famosa mensagem *“What hath God wrought !”* (“Eis o que Deus realizou !”), retirada do livro dos Números da Bíblia. Ao se associar com Alfred Vail (1807-1859), entusiasta inventor americano da época, Morse conseguiu deslanchar seu sistema rapidamente. Além dos aparelhos do sistema de telégrafo (Figura 31), uma importante contribuição de Morse e Vail foi a invenção do código Morse (Figura 32) que garantiu a predominância de seu sistema telegráfico sobre o sistema de Cooke e Wheatstone. O código Morse é composto por pontos, traços e intervalos, que formam seis elementos através dos quais podem ser representadas as 26 letras do alfabeto e os algarismos de 1 a 10. Códigos mais simples foram escolhidos para as letras mais utilizadas. Originalmente, o código Morse foi utilizado com pulsos elétricos curtos ou longos transmitidos através do fio do telégrafo (Figura 112). No entanto, este código pode ser transmitido por sinais de áudio, vídeo ou sinais de rádio, como aconteceu a partir de 1890, com a invenção do telégrafo sem fio. Por ser baseado em dois estados (*on/off*), o código Morse é considerado precursor do código binário, embora para traduzi-lo seja necessário também interpretar a duração das pausas. O código Morse deixou de ser usado em sistemas eletrônicos

automáticos modernos, tendo sido substituído, por exemplo, pelo formato ASCII, devido à diferença de comprimento entre os caracteres.

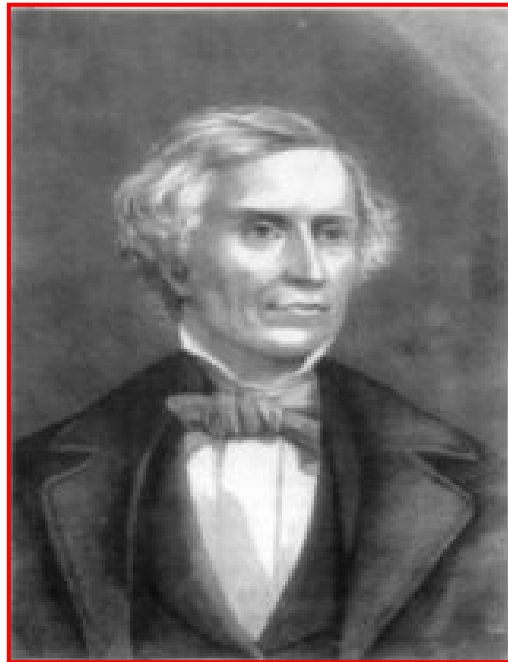


Figura 30 – Morse (EUA, 1791-1872)



Figura 31 – Chave transmissora e aparelho receptor do telégrafo de Morse

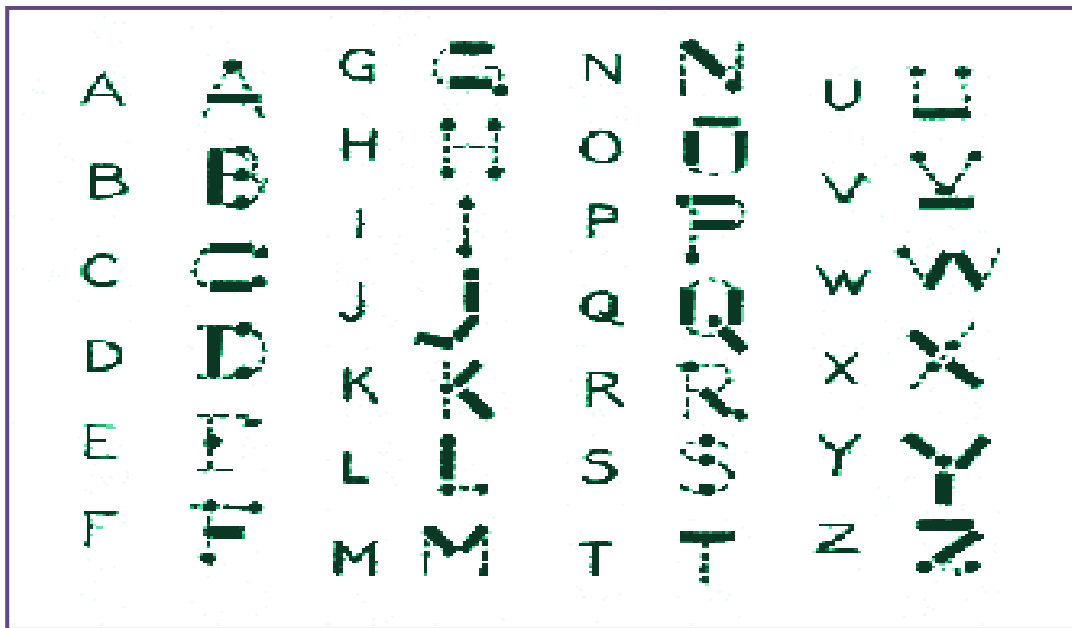


Figura 32- O Código Morse (Morse e Vail, 1840)

Mas, como funciona um telégrafo a fio? Um desses sistemas está apresentado na Figura 33, e seu esquema está representado na Figura 34. A transmissão de uma mensagem é feita através da chave que interrompe ou deixa circular a corrente no circuito, com intervalos e pausas de acordo com os elementos do código Morse. No receptor, os pontos e traços do código Morse resultam impressos em uma fita de papel que passa por um rolamento, ativado por um motor de relógio e move-se com velocidade constante. Quando a corrente elétrica é transmitida pelo fio, ela energiza o eletroímã de bobinas gêmeas, que atrai a barra de ferro, operando o sistema de pivô rotativo, que pressiona a fita contra a roda de tinta. Quando cessa a corrente, a mola puxa a fita de volta, afastando-a da tinta.

A instalação da Primeira Linha Telegráfica Transcontinental, ligando as costas leste e oeste dos EUA com comunicação instantânea em 1860/1861, tornou obsoleto o romântico sistema de correio, denominado “*Pony Express*”, em que a entrega de mensagens de um extremo a outro do país era feita por cavaleiros percorrendo rapidamente rotas que ligavam o Pacífico ao Atlântico (Figura 35). Em 1870, 150.000 km de cabos já interligavam os continentes através do telégrafo a fio, e como cada mensagem requeria uma linha individual, as cidades passaram a ficar poluídas com a fiação. Em 1872, a patente do sistema duplex, dobrando a capacidade do sistema, foi vendida por um bom preço.

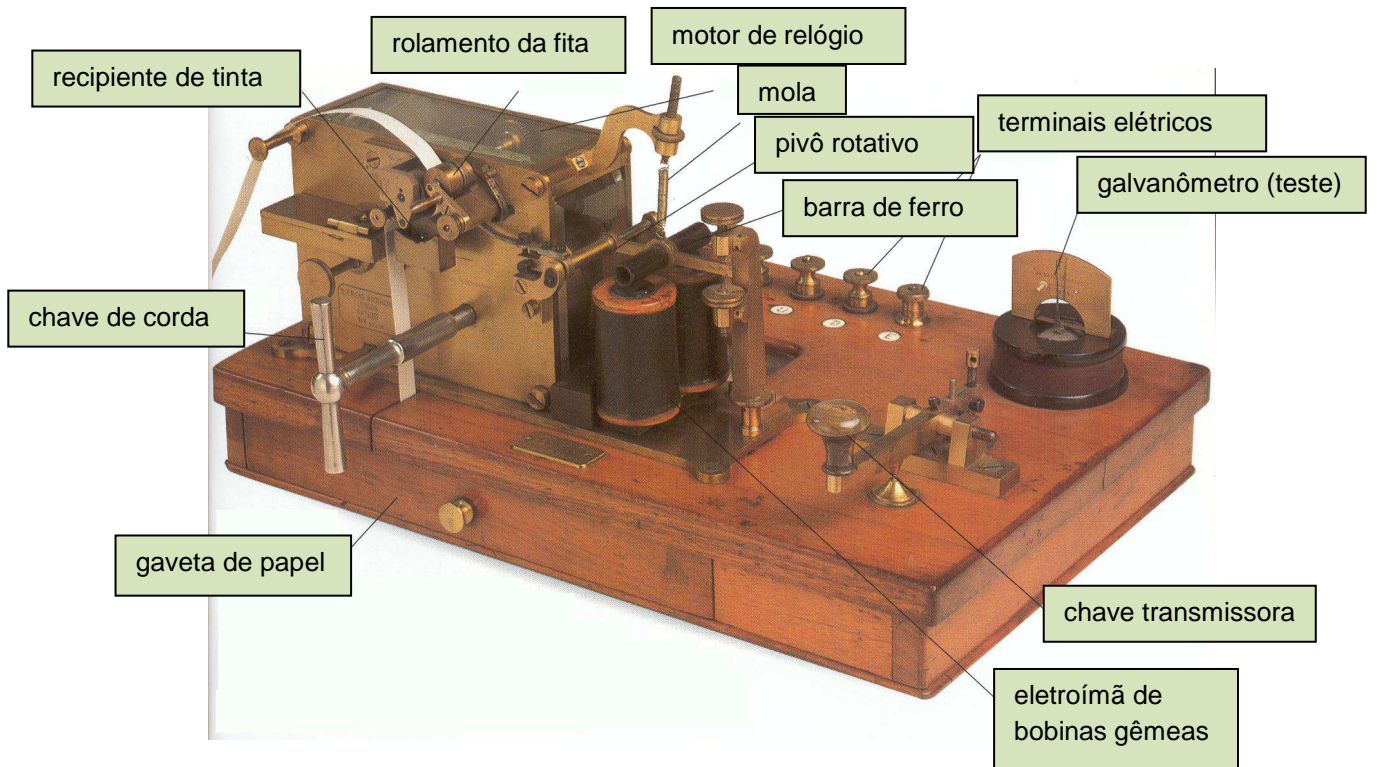


Figura 33 – Telégrafo a fio

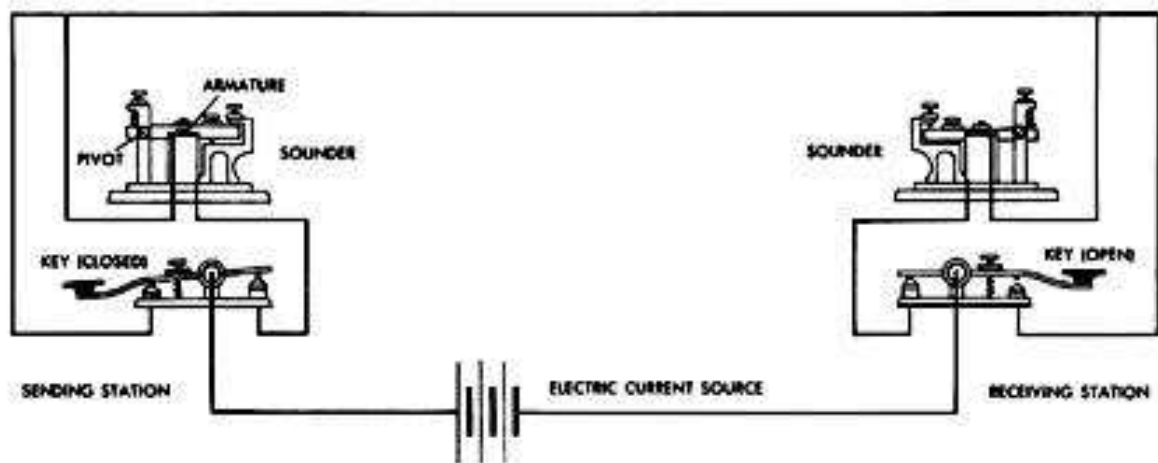


Figura 34- Esquema do Telégrafo a Fio



Figura 35 – Instalação da Primeira Linha Telegráfica Transcontinental, EUA (1860)

Em 1854 iniciou-se a aventura em colocar um cabo submarino atravessando o oceano Atlântico. Em 1858, após várias tentativas, foi possível transmitir uma mensagem da Rainha Vitória ao então Presidente Buchanan, dos EUA. No entanto, o cabo rompeu-se logo após, e somente em 1866 foi finalmente realizada tal façanha. Para a instalação deste outro cabo, foi utilizado o navio *Great Eastern* (Figura 36), o maior navio construído até a época (projetado pelo britânico Brunel, 1806-1859), com capacidade para carregar 22.000 toneladas, suficiente para cumprir a tarefa de levar o cabo de um continente a outro, sem a necessidade de dois navios, como havia sido feito anteriormente.

A última comunicação marítima em código Morse foi registrada na Austrália, em 1999.



Figura 36 – O *Great Eastern*



Figura 37 – Cabo do telégrafo transatlântico

6- Meucci e Graham Bell

A história do telefone é povoada por vários inventores e cerca de 600 processos de disputas de patentes. Em 1861, o professor alemão Johann Phillip Reis (1834-1874) construiu um aparato simples, que transformava som em eletricidade, e re-convertia novamente em som (Figura 38). Reis conseguiu transmitir notas musicais, mas o aparelho era muito ruim para transmitir fala.

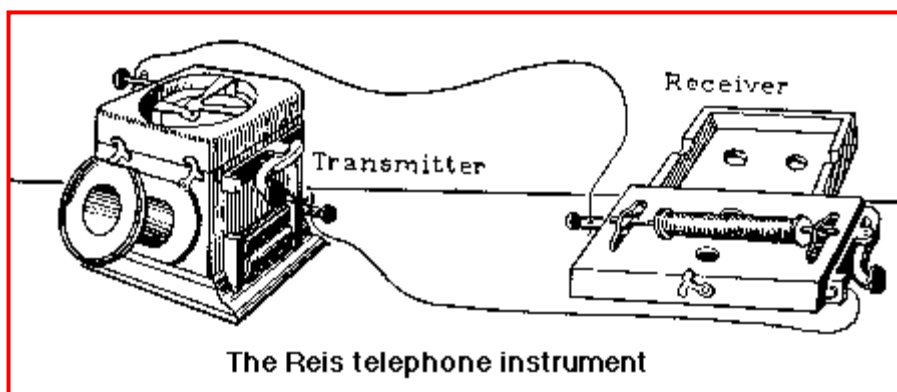


Figura 38- O telefone de Reis (1861)

Em 1865, o italiano Innocenzo Manzetti (1826-1877), que já perseguia a ideia de um telégrafo “falante”, conseguiu transmitir música e voz através de uma linha telegráfica, usando um aparelho simples que ele não patenteou, embora a imprensa tenha noticiado amplamente o feito.

Em 1874, o físico americano Elisha Gray (1835-1901) tinha como principal motivação (assim como Graham Bell) o desenvolvimento de um sistema de telégrafo multiplex, através do qual, várias mensagens pudessem ser transmitidas simultaneamente. Na verdade, ainda não se sentia a necessidade de um sistema de comunicação pessoa-a-pessoa, já que o recipiente deveria estar presente para receber a mensagem, enquanto que no telégrafo, a mensagem ficava impressa ao ser recebida. Neste mesmo ano, o inventor americano Thomas Alva Edison (1847-1931) havia proposto o telégrafo quadriplex, capaz de enviar duas mensagens simultâneas, uma em cada direção do fio: um sinal era modulado pela variação de amplitude, e o outro pela variação de polaridade.

Assim como Bell, Gray trabalhou no desenvolvimento do telégrafo harmônico ou telégrafo musical (Figura 39), em que várias mensagens poderiam ser transmitidas (multiplexadas) em um mesmo fio, cada uma utilizando uma frequência diferente (Figura 113). Para gerar os sinais de frequências diferentes, ele usou lâminas metálicas vibratórias que funcionavam como osciladores de tom. Mais tarde, ele usou ímãs associados a diafragmas e localizados perto de indutores, como receptores e transmissores, chegando ao aparelho que poderia transmitir sinais de voz.

O escocês Alexander Graham Bell (Escócia,1847- Canadá,1922) (Figura 42) havia se mudado para Boston com a família em 1871, para ser professor na Escola de surdos-mudos, e era muito interessado na fala como ciência. Toda sua família trabalhava com música e com a fala. Sua mãe era surda e seu pai havia criado um sistema denominado “discurso visível” para auxiliar a comunicação com surdos. O próprio Bell casou-se em 1877 com Mabel, uma aluna surda, filha do advogado que financiou seus desenvolvimentos do telégrafo harmônico e do telefone.

Em paralelo ao desenvolvimento do telégrafo harmônico, Bell também trabalhava num aparelho através do qual ele poderia transmitir não os sinais pulsados do telégrafo, mas sim um sinal de voz (Figura 114). Este aparelho era baseado no funcionamento de um tímpano humano, que vibrava e movia uma alavanca que reproduzia as variações do sinal de voz. Bell percebeu então que o telefone poderia funcionar baseado no princípio da resistência elétrica variável: bastaria produzir uma corrente elétrica cuja intensidade variasse de acordo com o sinal de fala. Assim funcionou seu primeiro protótipo (Figura 40): o movimento de um fio mergulhado numa solução ácida fazia variar a resistência elétrica da solução e a intensidade da corrente no circuito. Na

época em que trabalhava em suas invenções, Bell fez uma demonstração a Henry, e queixou-se de que não tinha conhecimento suficiente em engenharia elétrica. O professor, percebendo a potencialidade de seus aparelhos, respondeu simplesmente: *“Get it”*.

Em 1876, Gray entrou com um formulário preliminar para pedido de patente, apenas algumas horas após Bell ter pedido a patente pela invenção do telefone, sendo então concedida a prioridade a Bell. Neste mesmo ano, Bell transmitiu a voz humana em seu laboratório em Boston, utilizando a famosa frase a seu assistente Thomas A. Watson: *“Mr. Watson, come here. I want you”*.

E como funciona o telefone? Na Figura 41 temos o esquema simplificado deste aparelho tão útil. A voz humana faz vibrar uma membrana (diafragma) que comprime ou expande os grãos de carbono de um microfone, variando sua resistência elétrica. Assim, a corrente no circuito, produzida pelas baterias, varia conforme as variações do sinal de voz. No receptor, a corrente variável produz um campo magnético também variável na bobina, superposto ao campo do núcleo de ímã permanente, de forma que o diafragma de ferro é atraído ou repellido, gerando um sinal acústico que reproduz o sinal transmitido.



Figura 39- Telégrafo Musical de Elisha Gray

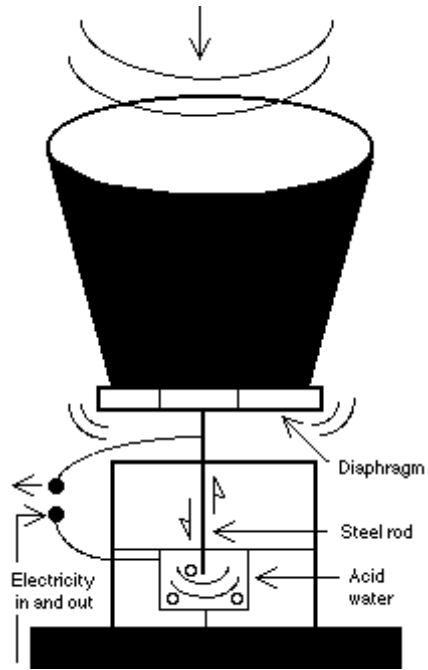


Figura 40- O primeiro telefone de Bell

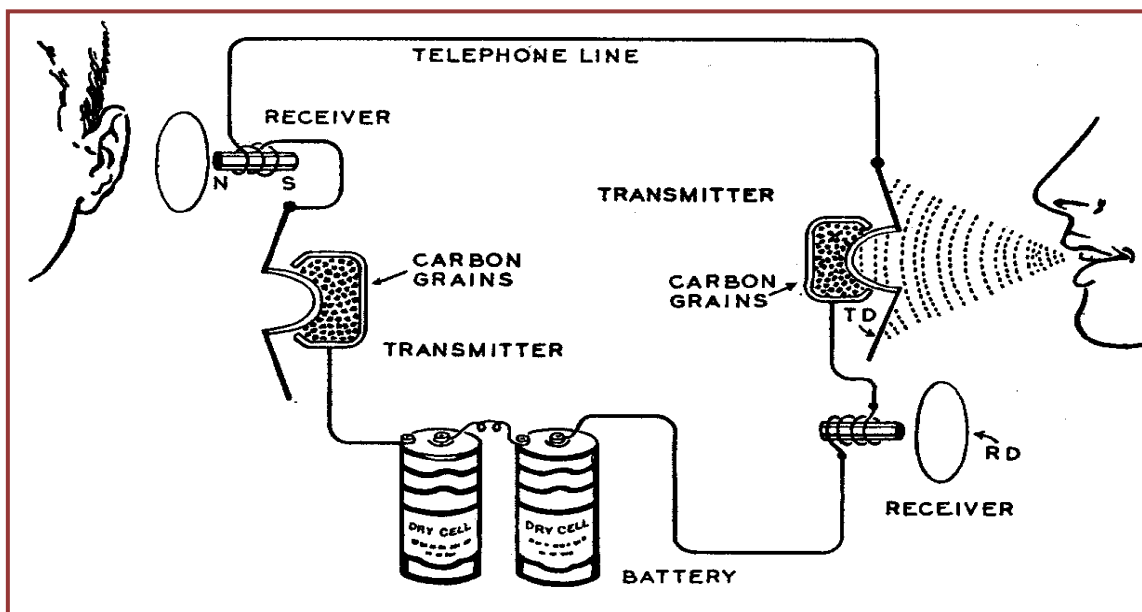


Figura 41- O funcionamento do telefone

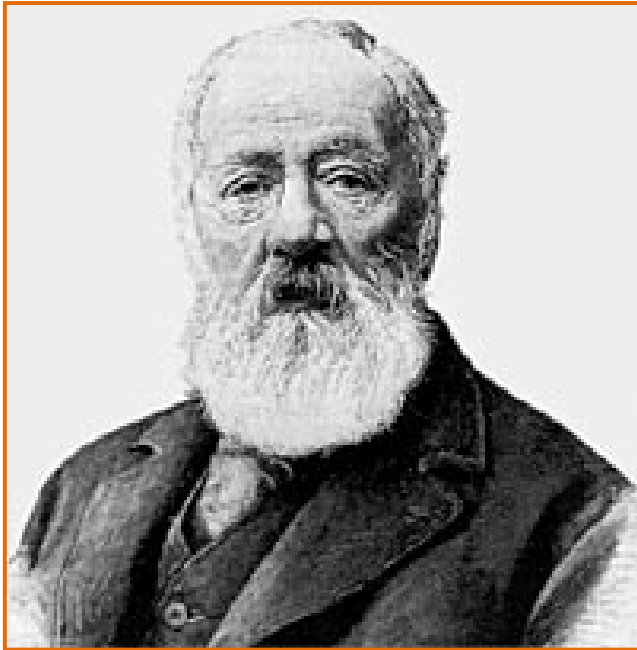


Figura 42 – Meucci
(Itália,1808- EUA,1896)

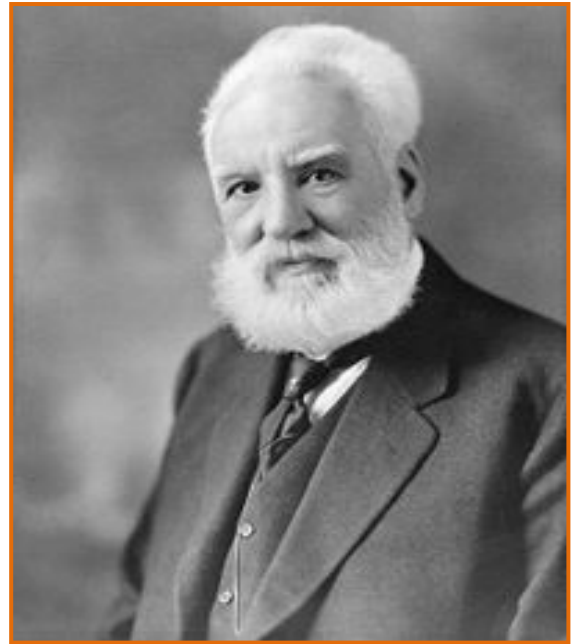


Figura 43 - Graham Bell
(Escócia,1847- Canadá,1922)

O italiano Antonio Santi Giuseppe Meucci (Itália,1808- EUA,1896) (Figura 42) tinha motivação bem diferente de Bell e Gray ao desenvolver seu aparelho telefônico. Meucci era engenheiro mecânico e trabalhou em teatros como projetista cênico. Nessa atividade, já havia desenvolvido um aparelho para comunicação entre o palco e a sala de controle do teatro. Foi então acusado de participar do movimento revolucionário de unificação da Itália e por isso teve que emigrar para a América, tendo passado algum tempo em Cuba. Em 1849, desenvolveu um método utilizando choque elétrico para o tratamento de doenças como o reumatismo. Enquanto preparava os aparelhos para este tratamento, ficou surpreso ao ouvir a exclamação do paciente, que estava na outra sala, vinda através do fio de cobre. Em 1850, Meucci emigrou para os EUA, onde montou uma fábrica de velas e continuou seus experimentos. Em sua casa nos EUA, atualmente o Museu Garibaldi-Meucci, abrigou o herói Giuseppe Garibaldi, de quem era amigo. Em 1854, a esposa de Meucci ficou inválida, devido a uma severa artrite reumatóide. Em 1856, Meucci construiu o primeiro telefone eletromagnético (Figura 44), a fim de conectar o quarto de sua esposa no primeiro andar da casa com seu escritório no térreo. De 1856 a 1870, Meucci desenvolveu vários outros protótipos de telefone. A situação financeira de Meucci tornou-se precária, e em 1871, ele conseguiu apenas entrar com o pedido preliminar de patente de seu aparelho. Tal pedido acabou desaparecendo. Somente em 2002, a Câmara dos Deputados dos EUA reconheceu Antonio Meucci, como o verdadeiro inventor do telefone.

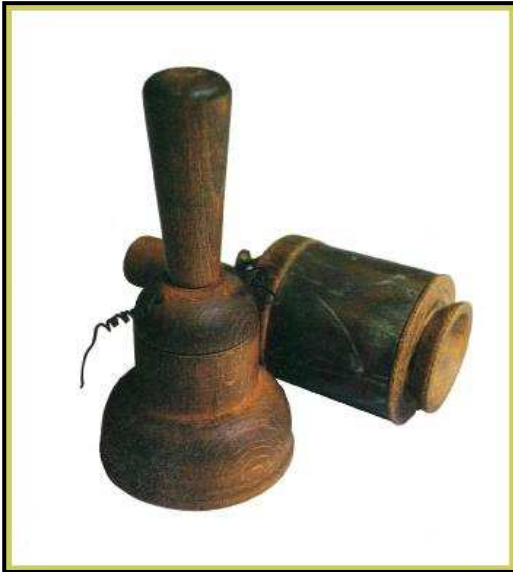


Figura 44 - Telefone de Meucci, 1850 **Figura 45- Telefone de Bell, 1876**

Quanto a Bell, este realizou uma série de demonstrações públicas de sua invenção (Figura 45). Uma dessas demonstrações foi feita pessoalmente ao imperador Pedro II, do Brasil, um entusiasta de novas tecnologias, durante a Exposição Centenária em 1876 (100 anos da Independência dos EUA). Neste mesmo evento, mostrou seu invento também a Lorde Kelvin, que fez grande divulgação do mesmo ao voltar à Europa. A *Bell Telephone Company* (atual *Lucent Technologies*) foi fundada em 1877 para produção e comercialização do aparelho, no qual ele introduziu várias melhorias, incluindo o microfone a carvão, cuja patente foi adquirida de Thomas Alva Edison (1847-1931). Em 1880, Bell ainda demonstrou a invenção do fotofone, aparelho precursor das comunicações ópticas, que empregava no receptor, células de selênio cristalino, cuja resistência elétrica variava de acordo com a iluminação. O sinal acústico transmitido era modulado pela luz, através de um espelho vibratório (Figura 46). Em 1915, em Nova York, Bell repetiu sua famosa frase na primeira chamada telefônica transcontinental, ao amigo Watson, que estava em São Francisco. Quando Bell morreu, em 1922, todos os serviços telefônicos dos EUA foram interrompidos por um minuto em sua homenagem.

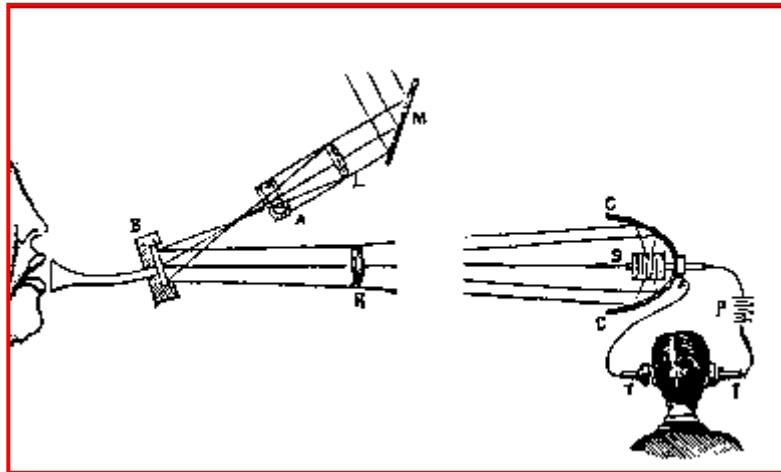


Figura 46 – O Fotofone de Graham Bell (1880)

7- Hertz e Lodge

Os objetivos do professor alemão Heinrich Rudolf Hertz (Alemanha, 1857-1894) (Figura 47) e do físico inglês Oliver Joseph Lodge (Inglaterra, 1851-1940) (Figura 48) eram idênticos: demonstrar a teoria de Maxwell de que os fenômenos elétricos e magnéticos propagavam-se no espaço como ondas transversais com a velocidade e características da luz visível. Este interesse de ambos era puramente acadêmico, já que nenhum dos dois previa qualquer aplicação prática para esse trabalho. Hertz teve a honra de ser o primeiro a demonstrar a realidade das ondas eletromagnéticas no ar. Lodge iniciou o desenvolvimento das comunicações via rádio. Até 1894, a carreira de ambos foi muito similar, e em 1881, Lodge tornou-se amigo de Hertz. Assim, com a morte prematura de Hertz, aos 36 anos, Lodge foi a escolha natural para ser convidado a dar uma palestra sobre o trabalho de Hertz na *Royal Institution* e continuou seu próprio trabalho no sentido de contribuir para a implementação prática das comunicações sem fio.

Hertz teve muitas dúvidas entre escolher a carreira em engenharia ou ciência. Decidiu pela ciência na ânsia de pesquisar e expandir suas fronteiras, embora ele mesmo não estivesse certo de que ainda poderia descobrir algo novo, manifestando seu desejo em ter vivido na época em que o telescópio e o microscópio eram ainda novidade. No começo de sua carreira, trabalhou na Universidade de Berlim, onde o famoso professor Hermann von Helmholtz (1821-1894) chamou sua atenção para a Teoria de Maxwell e o convenceu a tentar prová-la.

Para cumprir este objetivo, Hertz deveria dispor de uma tecnologia que lhe permitisse: 1- gerar ondas eletromagnéticas com potência razoável e comprimento de onda tal que pudessem ser emitidas por uma antena e irradiadas no espaço; 2- ter um meio de detecção com sensibilidade suficiente para recuperar estas ondas.



Figura 47 – Hertz
(Alemanha, 1857-1894)

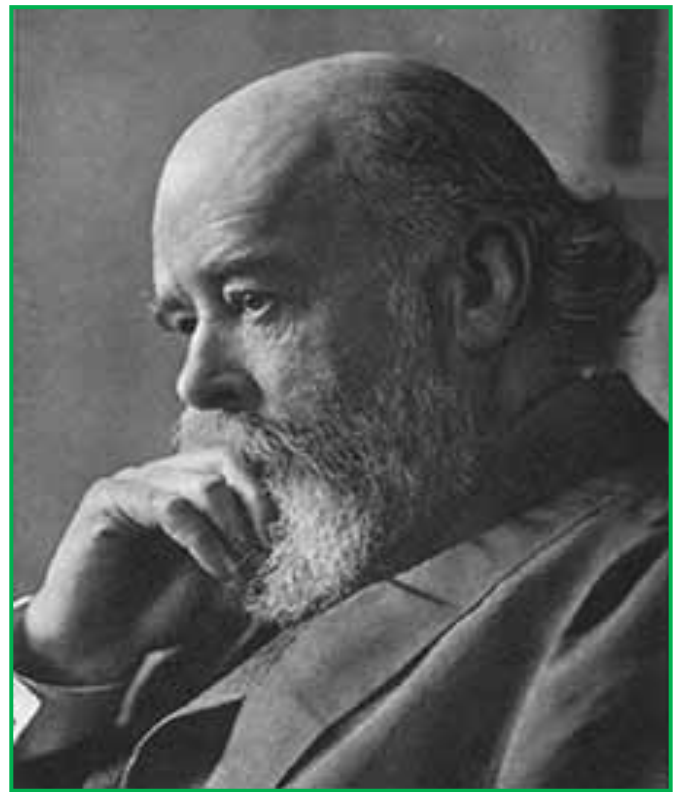


Figura 48 - Lodge
(Inglaterra, 1851-1940)

Mais tarde, como professor no colégio técnico de Karlsruhe, Hertz começou a fazer experimentos com um par de bobinas de Knochenhauer, bobinas curtas e de diâmetro grande, encaixadas em ranhuras de um suporte de madeira. Observou que uma faísca aparecia nos terminais de uma delas, quando uma garrafa de Leyden era descarregada na outra bobina, sem haver qualquer contato físico entre elas. Na próxima etapa de seus experimentos, Hertz passaria da forma enrolada da espira para uma forma esticada, hoje conhecida como o dipolo hertziano. O oscilador de Hertz, que ele denominava de “condutor primário”, era então um fio de cobre, de comprimento de 1 a 3 metros, interrompido no meio para incluir um *gap* de cerca de $\frac{3}{4}$ cm, entre duas pequenas esferas de cobre (3 cm de diâmetro), onde era produzida uma faísca. Hertz “carregou” as extremidades de seu dipolo com duas esferas grandes de

zincos, cuja posição poderia variar sobre o fio de cobre, de forma a se modificar a frequência de oscilação. O dipolo era alimentado através de uma grande bobina de indução Rühmkorff (proposta pelo alemão Heinrich D. Rühmkorff, 1803-1877), por sua vez energizada por seis células de Bunsen (inventadas pelo alemão Robert W.E. Bunsen, 1811-1899, consistiam em baterias de zinco-carbono) (Figura 49). A bobina de indução nada mais era que um transformador com o secundário em aberto: ambos os enrolamentos primário e secundário eram enrolados sobre um núcleo magnético comum; o primário consistia de dezenas ou centenas de espiras de fio grosso isolado (baixa tensão e alta corrente) e o secundário era composto por milhares de espiras de fio fino isolado (baixa corrente e alta tensão). A alta tensão no secundário dessa bobina causava a ruptura do ar e a produção da faísca, que gerava a onda eletromagnética em seu transmissor. Para que várias faíscas fossem produzidas nesse sistema, era necessário que a corrente contínua que alimenta o primário fosse interrompida várias vezes, para que fosse induzida a alta tensão no secundário. Esta interrupção era produzida por uma chave vibratória, mecânica ou magnética. No esquema da Figura 49, quando os contatos de platina estão fechados, a corrente passa pelo primário, de forma que a lâmina de aço é atraída pelo núcleo magnetizado, abrindo-se os contatos e interrompendo-se a corrente. O capacitor absorve a tensão e reduz a faísca que seria provocada nos contatos de platina devido à interrupção da corrente no primário. Assim, a onda EM produzida era modulada pelo sinal de chaveamento do enrolamento primário (Figura 115).

Hertz foi o primeiro homem a utilizar uma antena: seu “condutor primário” equivale a um dipolo de meio comprimento de onda, cujo comprimento físico é reduzido devido ao carregamento capacitivo nas extremidades (representados pelas esferas de metal). Ninguém sabe explicar muito bem como seu raciocínio evoluiu de uma bobina composta por espiras para a forma retilínea de seu dipolo, o qual é um elemento radiante muito mais eficiente.

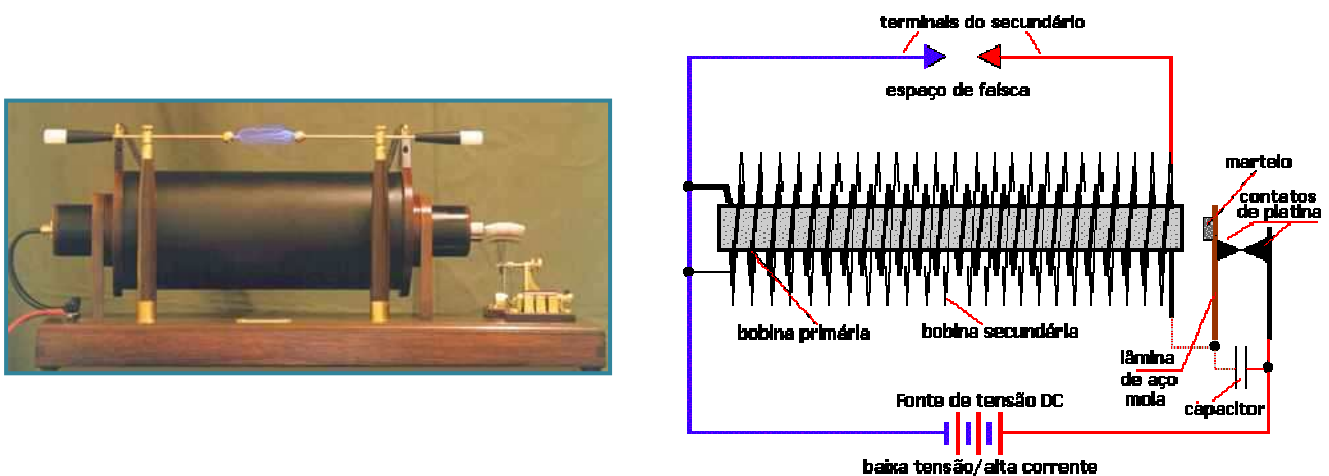


Figura 49 - Bobina de Rühmkorff e seu esquema elétrico equivalente.

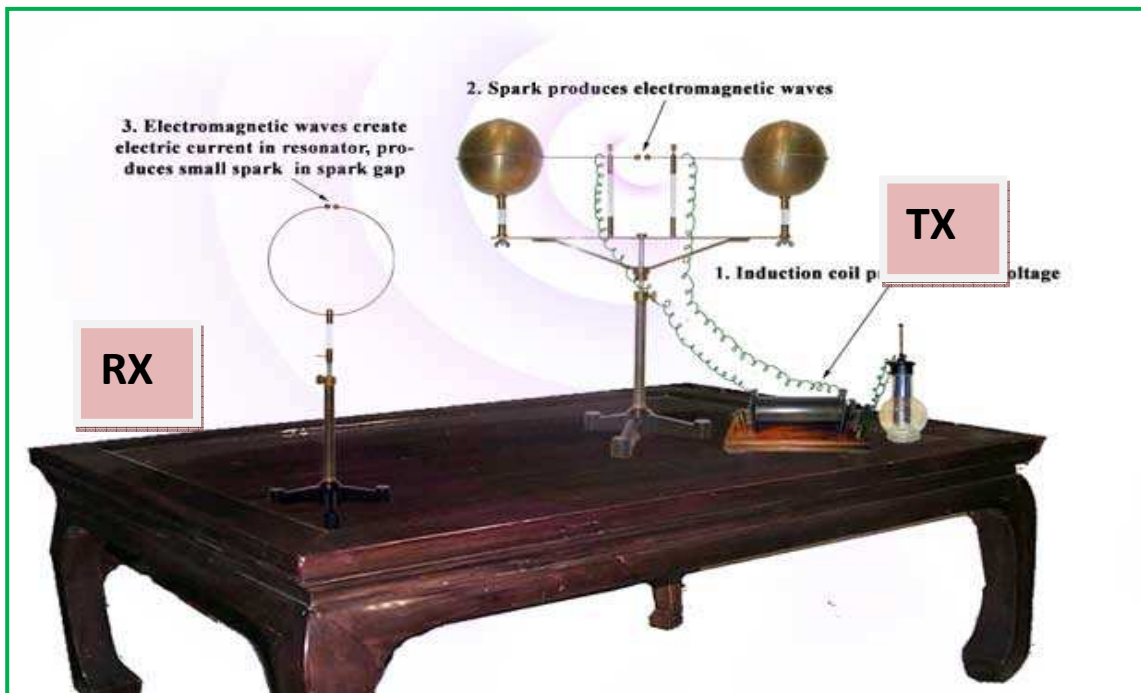


Figura 50 – Aparato experimental de Hertz

Como detectores, Hertz não usou nada mais que espiras quadradas ou circulares de fio de cobre, incorporando um *gap* ajustável onde era produzida uma faísca, na presença das ondas EM. O comprimento dessas espiras era dimensionado empiricamente para ressoar com a frequência do transmissor. Ajustando o comprimento do *gap* e medindo o comprimento físico da faísca induzida, Hertz era capaz de avaliar a intensidade da corrente induzida neste simples receptor (Figura 50). O circuito equivalente desse aparato está representado nas Figuras 51 e 52, onde fica claro como eram gerados os sinais oscilatórios, através do circuito de 2ª ordem, composto pelo secundário da bobina de indução e a capacitância do dipolo. Hertz produziu sinais com frequência variando de 50 a 500 MHz, desenvolvendo seus elementos transmissores e receptores de forma que estivessem sintonizados, isto é, operando em ressonância. Em uma sala grande, cobriu uma das paredes com uma folha de zinco, que atuava como espelho refletor para as ondas EM. Com a sala escurecida, mapeou o resultado da interferência entre as ondas emitida e refletida, movendo o receptor e observando a intensidade das faíscas em seus terminais. Desta forma, detectou os máximos e mínimos da onda estacionária resultante. Hertz despendeu alguns meses também estudando como seria a distribuição dos campos eletromagnéticos ao redor do dipolo. Seus diagramas são incrivelmente similares aos resultados de simulações

obtidas atualmente através de modernas ferramentas (Figura 53). Após a publicação de seus resultados, em 1888, Hertz ainda complementou seu aparato com refletores e polarizadores, (Figura 54) e demonstrou que as ondas geradas em seu laboratório possuíam todas as propriedades da luz visível: radiação, reflexão, refração, difração, polarização e a mesma velocidade de propagação. Além disso, Hertz também demonstrou a existência da corrente de deslocamento: mostrou, em uma de suas montagens experimentais que um bloco de parafina apresentava um efeito de transmissão de corrente para ondas de rádio, similar ao de uma placa de metal. Vale destacar que outros cientistas já haviam observado os efeitos de ondas eletromagnéticas, mas nenhum soube relacionar suas observações com a teoria de Maxwell, que finalmente tornou-se comprovada com o trabalho de Hertz.

Hertz morreu devido a uma severa infecção no ouvido, garganta e nariz, causada não se sabe se por câncer nos ossos ou envenenamento no sangue, mas que lhe provocava terríveis dores.

Em 1873, Lodge ouviu uma palestra que Maxwell proferiu para a Associação Britânica e tornou-se profundamente interessado em sua teoria. Assim como os outros maxwellianos, passou a trabalhar para tentar comprovar a teoria de Maxwell. No entanto, após a publicação do trabalho de Hertz e sua morte precoce, Lodge dedicou-se a melhorar o aparato experimental de Hertz. As contribuições de Lodge para o desenvolvimento do telégrafo sem fio foram muito importantes, embora tenham sido pouco divulgadas. No período de uma década, Lodge preparou a base do sucesso do trabalho de Marconi. Hoje considera-se que sem o seu trabalho científico, teria sido impossível o desenvolvimento do sistema de Marconi de comunicação sem fio.

Nestes anos, Lodge fez estudos profundos e vários experimentos sobre: o caráter oscilatório das descargas elétricas de um circuito com garrafa de Leyden; a formação de ondas estacionárias na propagação de sinais elétricos em fios; a produção de radiação eletromagnética; e a importância da ressonância na transferência de energia entre um circuito elétrico e outro. Demonstrou que o dipolo hertziano era um ótimo elemento *radiante*, mas que as oscilações produzidas decaíam rapidamente, enquanto que os circuitos fechados eram bons *ressoadores*, mantendo a energia por mais tempo.

Em 1893, a atenção de Lodge é concentrada no trabalho do físico francês Edouard Branly (1844-1940), que descobriu que a resistência elétrica de grãos metálicos diminuía muito na presença de pequenas descargas elétricas ocorridas na vizinhança. Branly estudava a condutividade de nervos, baseado no modelo da condutividade de pós metálicos e denominou esse dispositivo de “rádio condutor”. Acredita-se que foi esta denominação, cujo significado está ligado à raiz do Latim *radius* (luz, raio, irradiar), que deu origem ao termo rádio posteriormente utilizado para designar os sistemas de comunicação sem fio e

também o próprio sistema transceptor. Lodge confirmou que esse dispositivo era um detector muito superior a tudo o que já havia sido usado na recepção de ondas eletromagnéticas (principalmente ao detector de faísca de Hertz) e explicou que sua ação era devido à fusão dos pontos de contato das partículas, causada pelo efeito indutivo das ondas hertzianas. Por esse motivo, denominou o aparato de “coesor”. Desenvolveu várias versões deste novo detector, cuja estrutura básica era composta por dois eletrodos e um tubo de vidro contendo o pó metálico oxidado, cuja resistência podia variar de megaohms para algumas centenas de ohms na presença de um sinal alternado, apresentando um efeito histerético, e tendo que ser agitado mecanicamente para voltar à sua condição original. Embora vários outros cientistas tenham trabalhado com o coesor (Figura 55), foi Lodge quem o transformou num detector confiável, e a maioria dos experimentos em comunicação sem fio do final do século XIX e início do século XX usou o coesor como elemento principal do receptor.

Em 1894, Lodge demonstra a possibilidade de se transmitir sinais telegráficos sem fio, através de uma distância curta (60 metros), mas atravessando duas paredes de pedra. Em 1897, Lodge pede a patente de seu método de sintonizar o transmissor com o receptor de um sistema sem fio (*syntonic tuning*), ajustando uma indutância variável na antena receptora. Esta patente seria posteriormente comprada por Marconi, assim como outras de suas patentes em sistemas de comunicação sem fio. A sintonia entre transmissor e receptor iria tornar possível a transmissão de vários canais de comunicação em frequências diferentes, evitando a interferência produzida pelos sinais telegráficos, que eram de banda muito larga por serem “digitais”. Lodge recebeu um bom dinheiro pela venda de suas patentes e *royalties* para a empresa de Marconi, da qual foi consultor científico por alguns anos.

Em 1889, Lodge publicou o livro “*Modern Views of Electricity*”, em que ele descreve sua crença na existência do éter, teoria que depois foi definitivamente considerada incorreta. A partir de 1910, Lodge tornou-se um líder espiritualista e defendeu a possibilidade de comunicação com os mortos, afirmando que ele mantinha contato com um de seus filhos que havia sido morto durante a Primeira Guerra Mundial.

O cenário agora nos permite entender então como funciona o telégrafo sem fio (Figura 56): o aparelho receptor continua recebendo os pulsos correspondentes ao código Morse, mas ao invés da informação ser obtida pela corrente elétrica através de um fio, ela vem pelo ar, na forma de pulsos eletromagnéticos que afetam a resistência elétrica de um coesor (Figura 116). A conexão entre o sinal de rádio e o circuito sonoro do telégrafo é feita através de um relé que, utilizando eletroímãs, transfere os pulsos de baixa corrente do coesor para o circuito do receptor, que opera com uma corrente mais intensa. A bateria fornece a corrente para operação do relé, e o sistema ainda contém um

pequeno martelo para restaurar o coesor ao seu estado de alta resistência, após o recebimento de cada pulso.

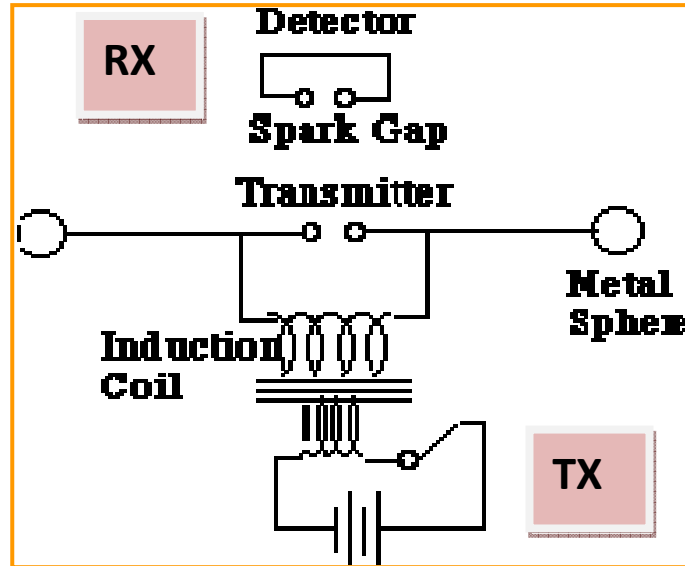


Figura 51 – Circuito equivalente do aparato de Hertz

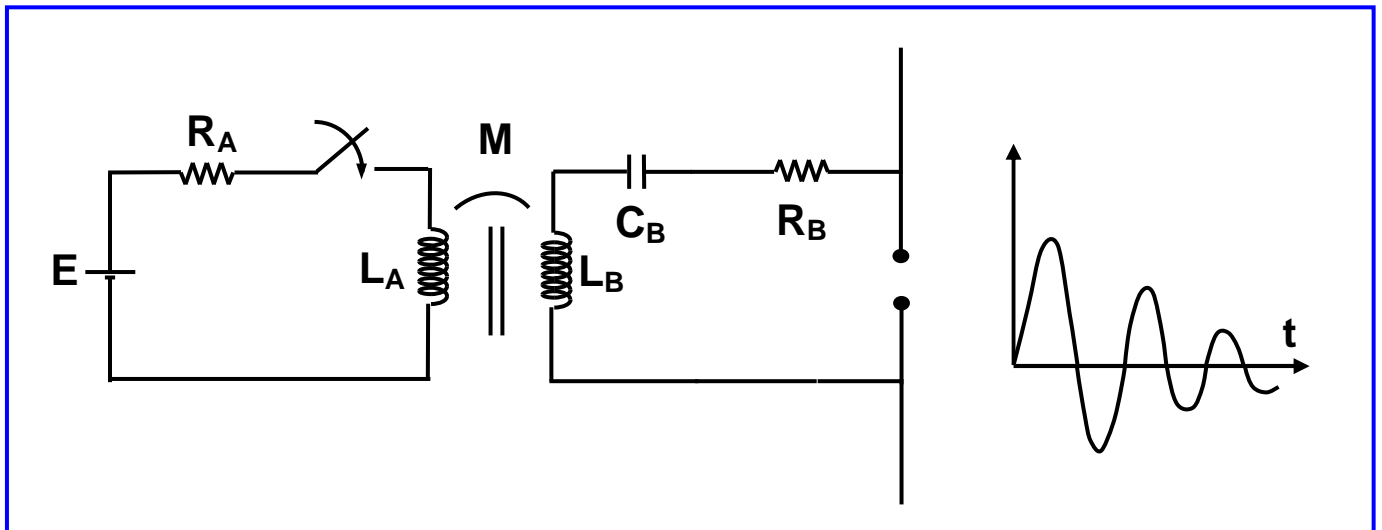


Figura 52 – Circuito equivalente do transmissor de Hertz

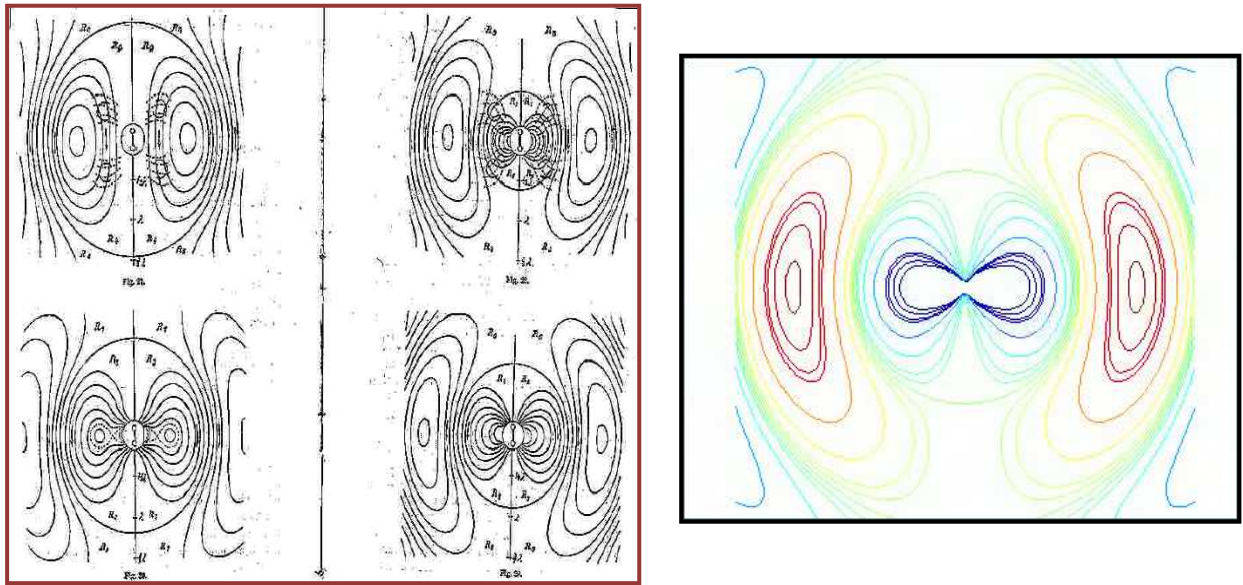
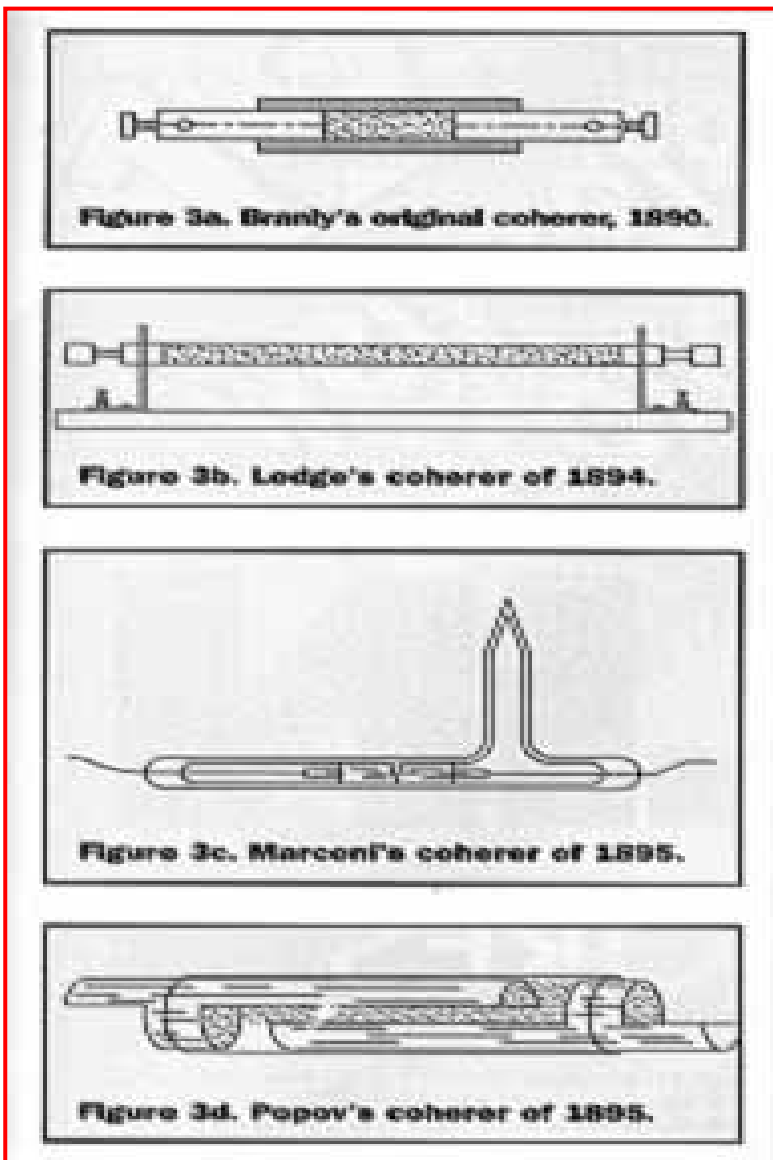


Figura 53 – Oscilações eletromagnéticas produzidas por um dipolo hertziano (anotações de Hertz e simulação com MATLAB® demo, 2002, Prof. Jin Au Kong, MIT, ocw.mit.edu/)



Figura 54 – Aparato experimental de Hertz



Coesor de Branly



Coesor de Marconi

Figura 55 – Várias estruturas de coesores

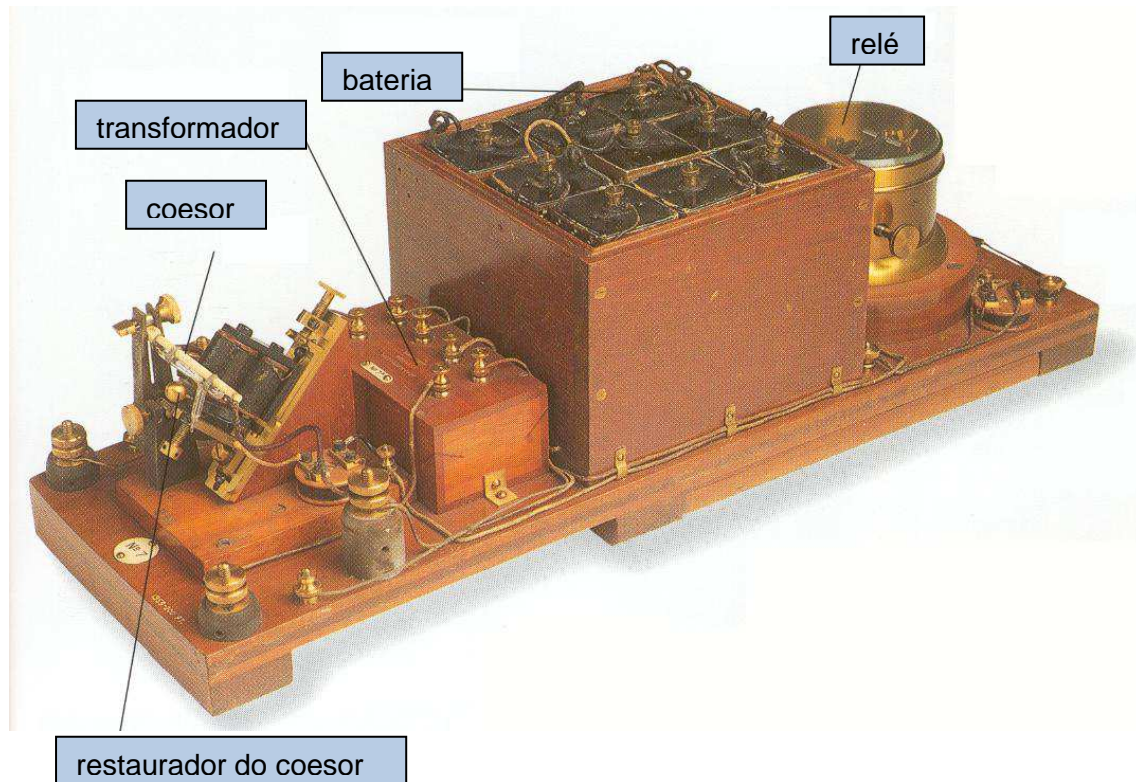


Figura 56 – O telégrafo sem fio

8- Marconi, Tesla, Landell de Moura e Popov

Guglielmo Marconi (Itália, 1874-1937) (Figura 57) era filho de um rico comerciante italiano e uma irlandesa, e em 1894 tomou conhecimento das ondas hertzianas, através de um professor da Universidade de Bolonha, Augusto Righi. Embora nunca tenha cursado a universidade, com a assistência desse professor, Marconi começou a realizar experimentos a fim de verificar se essas ondas poderiam ser utilizadas para comunicação. Como transmissor, Marconi utilizou o mesmo aparato de Hertz: um oscilador a faísca, alimentado por uma bobina de Rühmkorff, e antenas do tipo dipolo, com refletores parabólicos. No receptor, Marconi substituiu as espiras de Hertz pelo circuito coesor, desenvolvidos por Branly e Lodge. Na tentativa de aumentar o alcance deste sistema, aumentou o tamanho de sua antena transmissora: um fio, em cuja extremidade ele conectava uma bola ou uma folha de metal, elemento este que provocava a variação de frequência do sinal. Colocou-a em posição

mais alta e para facilitar seu manuseio percebeu que não era necessário utilizar as duas partes da antena, bastando aterrar uma delas (ou seja, usando a antena como monopolo!). Em 1895, Marconi conseguiu, utilizando uma chave de telégrafo, transmitir sinais Morse a distâncias cada vez maiores, até atingir aproximadamente 2,5 km dentro da propriedade de sua família. Após tentar, sem sucesso, interessar o governo italiano sobre seu sistema de telégrafo sem fio, Marconi partiu para a Grã-Bretanha em 1896, acompanhado de sua mãe. Lá, com a ajuda crucial de um primo irlandês, Henry Jameson-Davis, que era um engenheiro influente, entrou com seu primeiro pedido de patente do telégrafo sem fio e conseguiu a oportunidade de fazer uma demonstração do seu sistema às autoridades britânicas do Correio, que era naquela época a instituição responsável pelo sistema de telégrafo a fio no país. Seguiram-se inúmeros experimentos e aplicações em território britânico (e também na Itália, onde a primeira mensagem de rádio transmitida por Marconi foi *Viva l'Italia!*), incluindo uma conexão entre a residência da rainha Vitória e um navio onde se encontrava seu filho, o Príncipe de Gales, permitindo a comunicação de cerca de 1000 mensagens entre eles. Em 1897, Jameson-Davis ajudou Marconi a fundar a companhia *Wireless Telegraph and Signal Co. Ltd.*, que se tornou a *Marconi's Wireless Telegraph Co. Ltd.* em 1900. Em 1899, Marconi realizou a primeira transmissão internacional via rádio, através de uma distância de aproximadamente 50 km entre a costa da Grã-Bretanha e a costa da França. Em Dezembro de 1901, Marconi escutou, em Newfoundland (no Canadá), o primeiro sinal de rádio transatlântico, transmitido a partir de Cornwall (Inglaterra), feito confirmado pelo seu assistente George Kemp. A mensagem consistia na letra "S" do código Morse (três pontos), repetida várias vezes. Naquela época, a maioria dos cientistas acreditava que as ondas de rádio, assim como a luz, propagavam-se em linha reta, limitando a comunicação para distâncias até o horizonte. Marconi sabia que já havia ultrapassado tais distâncias e pressentia que as ondas acompanhariam a curvatura da terra. A presença da ionosfera e as reflexões que ocorrem nesta camada só viriam a ser comprovadas anos depois, em 1924.

O grande mérito de Marconi foi utilizar sua simpatia pessoal, sua diplomacia, seu instinto comercial, seu forte espírito empreendedor e senso político e sua habilidade em contratar auxiliares competentes para integrar e aperfeiçoar todos os componentes que já existiam na época, através de inúmeros experimentos que realizou de forma incansável sempre visando seu propósito original de utilizar os sinais de rádio para as comunicações. Na prática, Marconi foi um engenheiro de sistemas e soube aproveitar o trabalho desenvolvido por várias outras pessoas, mantendo o monopólio comercial de seus sistemas por vários anos. Tecnicamente, os esforços de Marconi concentraram-se em aumentar a potência, a sensibilidade, a eficiência e o alcance dos sistemas de comunicação que utilizavam os sinais de rádio. No transmissor (Figura 59), Marconi investiu em vários aspectos. Inicialmente, no que se refere ao

aterramento de um dos terminais da antena (dando origem aos monopolos de $\lambda/4$, denominados de “antena de Marconi”, embora o inventor americano Amos Emerson Dolbear (1837-1910) já tivesse feito o mesmo em 1882, tendo sido sua patente de 1886 adquirida por Marconi). Além disso, na elevação da antena (feita originalmente por Tesla), no aumento de suas dimensões e na conexão a um elemento capacitivo (feita originalmente por Edison) e posteriormente, no uso de refletores metálicos. Ele observou que comprimentos de onda maiores propagavam-se por distâncias maiores, enquanto que comprimentos de onda menores eram facilmente bloqueados por obstáculos. Estabeleceu a regra denominada “Lei de Marconi”, em que a distância atingida pelo sinal aumenta com o quadrado da altura da antena (sendo que esta obviamente controla o comprimento de onda efetivo do sinal). Para manter esticadas suas antenas, que consistiam em longos fios verticais, Marconi utilizava balões e pipas (Figura 60). Com relação ao “oscilador”, Marconi modificou a estrutura proposta por Righi, composta por quatro esferas de latão, as duas centrais separadas por um *gap*, e as duas externas conectadas ao enrolamento secundário da bobina de indução Rühmkorff, de forma que a faísca conectava três *gaps* no sistema antena-aterramento. O *gap* entre as esferas centrais foi preenchido com óleo de parafina, para evitar o desgaste das esferas e produzir oscilações de alta frequência de características mais consistentes. No que se refere ao receptor (Figura 62), além de também aumentar a dimensão da antena, elevá-la e aterrar um de seus terminais, Marconi realizou melhorias significativas no coesor: diminuiu a distância entre os eletrodos, produziu vácuo parcial no tubo de vidro, e experimentou vários tipos de materiais, por exemplo, níquel e prata, carbono e cobalto, todos esses exigindo um choque mecânico para restaurar o coesor ao seu estado de alta resistência elétrica. Posteriormente, substituiu esses compostos por um glóbulo de mercúrio colocado entre um terminal de carbono e outro terminal móvel de ferro. O coesor de mercúrio foi um precursor do retificador e não necessitava do martelo restaurador, já que operava a partir de sua característica não-linear de tensão/corrente. Acredita-se que ele havia sido proposto originalmente pelo cientista indiano J.C. Bose (1858-1937) e que já tinha sido utilizado por outros pesquisadores, tornando-se alvo do denominado “escândalo do coesor da Marinha Italiana”, quando Marconi obteve uma patente pelo componente em 1901. Em 1902, Marconi patenteou um detector magnético que poderia ser acoplado a um receptor telefônico, aumentando bastante a sensibilidade do receptor (Figura 63). Esse detector foi desenvolvido com base em trabalho anterior realizado por Ernest Rutherford (1871-1937) e seria mais tarde substituído pelas válvulas. Outra contribuição de Marconi foram os experimentos relativos à sintonia do receptor com o transmissor. Hertz já havia observado a importância de sintonizar a dimensão de seu receptor de acordo com a frequência do sinal oscilatório do transmissor. Lodge propôs a adição de uma indutância variável no receptor para obter essa sintonia. Na patente de 1896, Marconi descreveu suas estações, transmissora

e receptora, sem qualquer sintonia. Na patente de 1901, ele descreve um circuito de sintonia no transmissor e um no receptor. Em sua polêmica patente 7777 (*the four-sevens*) de 1900 (houve disputas com Lodge e com Tesla em torno desta patente), Marconi apresenta a ideia de acrescentar indutores e capacitores variáveis tanto no transmissor quanto no receptor (dois circuitos em cada um) (Figuras 64 e 65), de forma a otimizar a sintonia entre ambos e aumentar a seletividade do sistema. Sua preocupação nesse caso não era apenas aumentar a eficiência da comunicação, mas também evitar interferências entre vários sistemas operando simultaneamente, como já estava começando a ocorrer na época, ou seja, era o início das considerações sobre compatibilidade eletromagnética (EMC).

Em 1909, Marconi recebeu o prêmio Nobel de Física, juntamente com o alemão Karl Ferdinand Braun (1850-1918) pelo desenvolvimento da telegrafia sem fio. Nesta área, as contribuições de Braun foram principalmente a de utilizar circuitos ressonantes no transmissor e no receptor; a de posicionar o *gap* onde seria produzida a faísca no primário do transformador, conectando a antena no secundário do mesmo; a de introduzir o uso do detector a cristal no receptor. Braun acabou ficando mais famoso por usar uma tela coberta de fósforo para visualizar formas de onda criadas por feixe de elétrons, dando origem, em 1897, ao tubo de raios catódicos, denominado na época de “tubo de Braun”.

O esforço de Marconi para melhorar o desempenho de seus receptores recebeu o valioso auxílio de John Ambrose Fleming (1849-1945), ex-aluno de Maxwell, ex-consultor da *British Edison Company* (de Thomas Edison), e primeiro professor de Engenharia Elétrica do *University College London (UCL)*. Em 1899, Fleming tornou-se assessor da *British Marconi*, e desenvolveu partes importantes do sistema que permitiu a primeira transmissão telegráfica transatlântica em 1901 (Figura 61). Em 1904, Fleming patenteou a válvula de Fleming (ou válvula termiônica, ou tubo termiônico, ou kenotron, ou diodo a vácuo) (Figura 66), invenção considerada como marco inicial da era eletrônica, e que aumentou consideravelmente a sensibilidade dos receptores de rádio (Figura 67), substituindo o coesor. Tal invenção foi resultado do interesse de Fleming no chamado “Efeito Edison” que ocorria nas lâmpadas incandescentes de Edison: o escurecimento interno dos bulbos de lâmpadas com filamento de carbono. Edison havia introduzido um eletrodo metálico no interior da lâmpada, com o intuito de bloquear as partículas de carbono que se depositavam no bulbo. Ao conectar este eletrodo ao terminal positivo da lâmpada, ele tinha observado a passagem de uma corrente elétrica e nenhuma corrente aparecia quando a conexão era realizada ao terminal negativo. Em 1884, Edison patenteou este dispositivo mesmo sem saber explicar tal efeito, decorrente de passagem de cargas elétricas não somente pelo filamento, mas através do tubo evacuado. Isso só seria compreendido mais tarde, após 1897 quando J.J.

Thomson descobriu o elétron. Tal elemento deu origem à válvula de Fleming, quando este, após vários experimentos e melhorias, como a substituição do filamento de carbono pelo de tungstênio, comprovou seu efeito retificador para sinais de RF, acoplando-o a um galvanômetro de espelho. Com esse aparelho, Fleming tinha uma indicação visual da corrente retificada, já que ele estava se tornando cada vez mais surdo na época. Esse detector tinha resposta contínua, e não exigia ajustes mecânicos, tendo feito parte de vários sistemas de comunicações da companhia de Marconi. Fleming propôs a denominação “válvula”, usando a analogia mecânica do efeito de deixar passar corrente apenas em uma direção. Este efeito na verdade tinha como consequência produzir um sinal retificado, que diferentemente do sinal oscilatório, possuía um valor médio não nulo que podia ser detectado (Figura 120).

Em 1912, a existência de um transmissor de telégrafo a bordo do Titanic permitiu que algumas vidas fossem salvas e que a tragédia não fosse ainda maior. Marconi sempre considerou que sua maior contribuição devido ao rádio tinham sido as comunicações no mar.

Após 1916, com a assistência de engenheiros competentes, Marconi dedicou-se ao desenvolvimento de sistemas de ondas curtas, que permitiam um maior alcance, associado a potência mais baixa, além do emprego de refletores metálicos para direcionamento do feixe. Isso levou ao estabelecimento de um sistema de comunicação internacional entre navios (*Beam System*), baseado na transmissão de mensagens usando o código Morse. A partir de 1921, Marconi conduziu testes sistemáticos de propagação de sinais de alta frequência, a partir de seu iate *Electtra*, que se tornou seu laboratório móvel. Foi a bordo deste iate que, em Gênova, em 1930, Marconi acendeu o novo sistema de iluminação de Sidney, na Austrália, e em 1931, de Roma, iluminou a estátua do Cristo Redentor, no Brasil. Em 1932, Marconi instalou o primeiro sistema telefônico por microondas, entre o Vaticano e a residência de verão do Papa. Em 1934, realizou sua demonstração pública mais dramática: entrou em seu iate, com todas as janelas vedadas, no porto italiano de *Sestri Levante*, guiando-se apenas através de feixes de microondas emitidos a partir de penhascos na borda do porto. Neste experimento, notou o assobio produzido no receptor quando um destes feixes era atravessado por um obstáculo metálico, como um carro ou outro navio, o que levou ao posterior desenvolvimento do radar.

Marconi viveu intensamente seus últimos anos, apesar de problemas de saúde (angina), dois ataques no coração, e de sua vida familiar conturbada: havia anulado seu primeiro casamento com a irlandesa Beatrice O'Brien e casado com a filha de um conde italiano, Cristina Bezzi-Scali. Era membro do partido fascista desde 1923, membro do Senado italiano, e havia recebido de Mussolini, os títulos de marquês e de presidente da *Accademia d'Italia*. Apesar de ter se tornado rico e famoso, Marconi foi a vida toda uma pessoa cheia de

dúvidas, e na privacidade era nervoso, irritadiço e melancólico, tratando períodos de depressão com longas horas de trabalho intenso. No dia em que Marconi morreu, 20 de Julho de 1937, as estações de rádio do mundo todo interromperam suas transmissões por dois minutos, em sua homenagem.



Figura 57- Marconi
(Itália, 1874-1937)

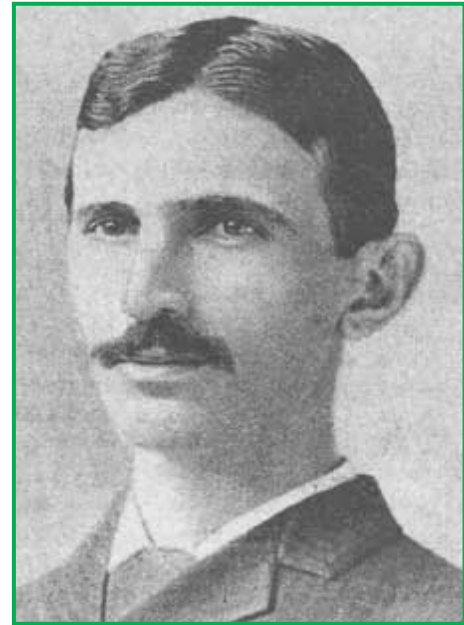


Figura 58- Tesla
(Croácia, 1856- EUA, 1943)

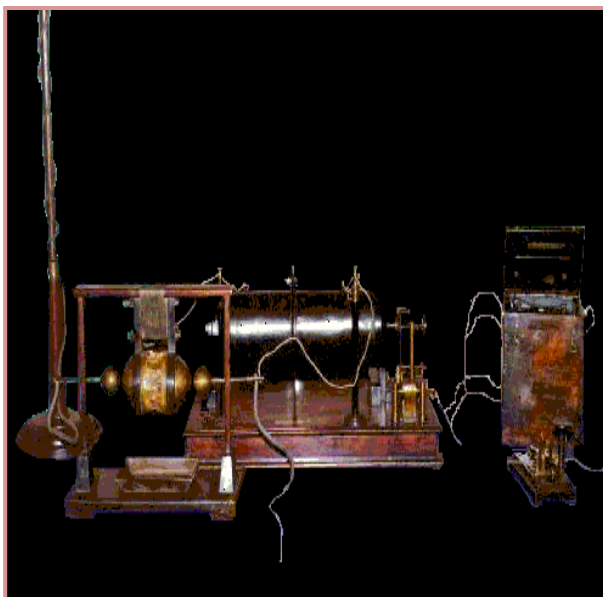


Figura 59- Transmissor de Marconi (1896)

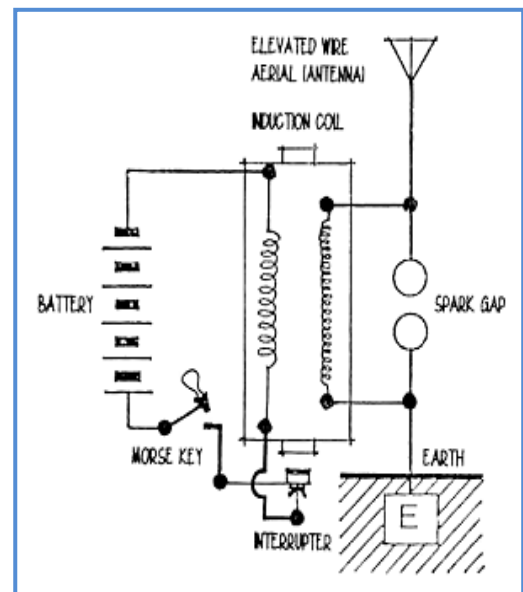




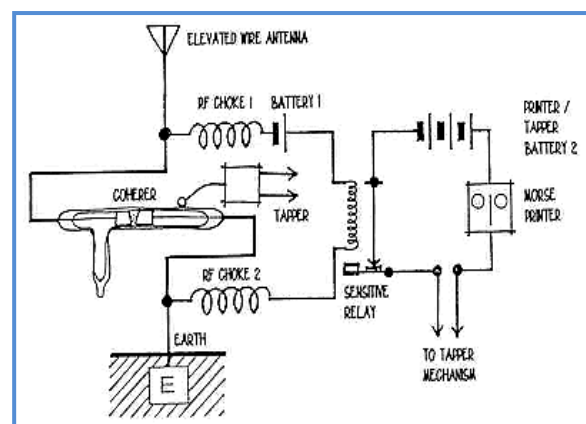
Figura 60- George Kemp com estrutura para alçar as antenas, 1901



Figura 61- Fone de ouvido usado para receber a primeira mensagem transatlântica ("S") (1901)



Figura 62- Receptor de Marconi (1896)



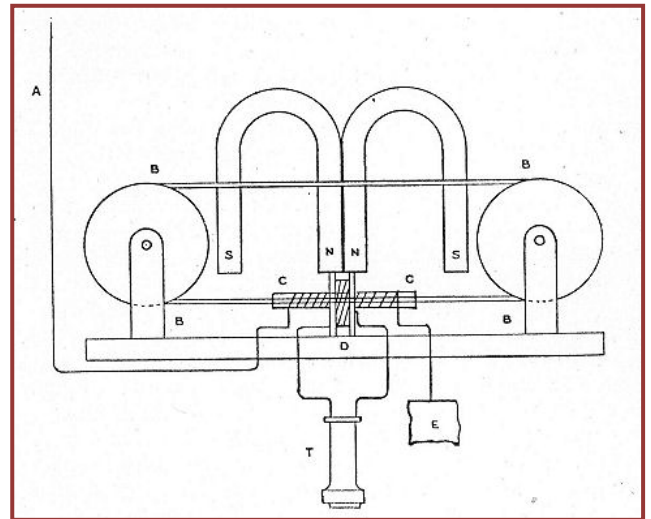


Figura 63- Detetor magnético de Marconi (chamado “Maggie”)

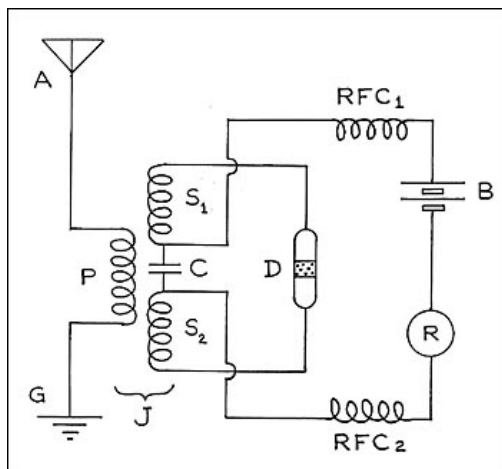


Fig. 1. Schematic of untuned receiver. A = antenna; g = ground; J = r.f. antenna transformer (called a “jigger”); P = primary coil; S₁ = S₂ = halves of split secondary coil; D = coherer detector; C = r.f. bypass capacitor; RFC₁, RFC₂ = r.f. chokes; B = Battery; R = relay. When triggered by an r.f. signal voltage from J, the resistance of the coherer dropped, increasing the current in the d.c. circuit consisting of D, S₁, S₂, RFC₁, RFC₂, B and R. The relay circuit was isolated from the r.f. circuit by RFC₁, RFC₂ and C. The relay typically activated a paper chart recorder and a tapper (not shown). The tapper decohered the metal filings in the coherer to restore it to a sensitive (high resistance) state for the next signal.

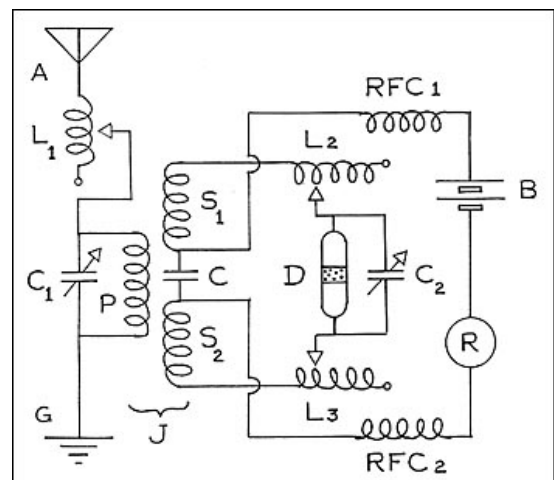


Fig. 2. Schematic of tuned receiver. The basic circuit is the same as the untuned one shown in fig. 1. L₁, C₁, L₂, L₃ and C₂ were added for tuning. The circuits of Fig. 1 and Fig. 2 were adapted from reference [2].

Figura 64- Receptores sem e com circuito de sintonia



Figura 65- Transmissor sintonizado (1899)



Figura 66- Válvula Diodo (Fleming, 1904)



Figura 67- Receptor de rádio usando a válvula de Fleming (1908)

Nikola Tesla (Croácia, 1856- EUA, 1943) (Figura 58), engenheiro sérvio-croata, considerado “o inventor do século XX” e “o patrono da eletricidade moderna”, nos deixou inúmeras contribuições, sendo as mais famosas relativas aos sistemas de produção e distribuição de energia elétrica, baseados no uso de correntes alternadas. Nesta área, gerou a polêmica “Guerra das Correntes”, travada entre o inventor americano Thomas Edison (1847-1931), que defendia com todas as forças o uso de corrente DC para os sistemas de distribuição de energia elétrica, e o engenheiro e empresário americano George Westinghouse (1846-1914), que contratou Tesla, apoiando os seus desenvolvimentos baseados nos campos magnéticos rotativos: motores, geradores, transformadores, todos operando em sistemas polifásicos de corrente AC. A vitória da eficiência e baixo custo do padrão AC foi coroada em 1893, com a demonstração da estação AC que alimentou a Feira Mundial em Chicago, e em 1895, com a inauguração da estação de *Niagara Falls*, construída seguindo os conceitos e equipamentos de Tesla. Outras realizações de Tesla estão relacionadas com a geração de correntes de alta frequência e sua aplicação em vários campos: indústria, medicina (raios X, eletroterapia, efeitos biológicos), produção de luz (por isso é conhecido também como “o mestre da iluminação”), transmissão de energia sem fios e comunicações. Nesta área, a disputa de Tesla foi com o próprio Marconi pela paternidade do rádio, já que em 1893, Tesla foi o primeiro a demonstrar publicamente nos EUA, a transmissão e recepção de sinais através de um sistema sem fio, utilizando um transmissor a faísca, uma antena aterrada, circuitos TX e RX sintonizados, uma chave Morse e um receptor com tubo *Geissler* (tipo de lâmpada de descarga elétrica). No início de 1895, Tesla detectava sinais de rádio a 50 milhas (aproximadamente 80 km) de seu laboratório em *West Point*, Nova York, enquanto Marconi fez seu experimento no mesmo ano, a uma distância de apenas 1 milha. Infelizmente, neste mesmo ano, o laboratório de Tesla sofreu um incêndio, o que interrompeu suas pesquisas com correntes em alta frequência por um certo tempo. Em 1897, Tesla entrou com pedido de patente para seu sistema de transmissão sem fio, conhecido como “*four tuned circuits*”: dois circuitos ressonantes no transmissor, e dois no receptor, todos sintonizados na mesma frequência. Esse pedido, aprovado em 1900, iniciou a “Guerra das Patentes”, que durou mais de 30 anos entre ele e a companhia de Marconi.

O transmissor a faísca de Tesla, denominado *king spark* ou bobina de Tesla, patenteada em 1891 e utilizada até hoje para produzir sinais de alta tensão e alta frequência (como por exemplo, nos transformadores *flyback* de tubos de TV) consistiu numa melhoria considerável da antena simples utilizada inicialmente por Marconi: as oscilações geradas após a ocorrência da faísca iniciavam no primário de um transformador, acoplado indutivamente ao secundário, ou a uma cadeia de outros transformadores, conectando-se a antena no último secundário (Figura 68). Tesla percebeu que o núcleo de ferro

era desvantajoso nesse sistema, e produzia seus enrolamentos com núcleo de ar. A fonte de energia no primário da bobina de Tesla (Figura 69) pode vir de um alternador ou de uma chave Morse, ligada a uma bateria DC e carrega um grande capacitor até que a tensão no mesmo produza uma faísca no centelhador (Figura 70), devido à ruptura do ar. A descarga da faísca equivale a uma baixa resistência, através da qual se fecha o circuito LC do primário. O capacitor se descarrega através de uma oscilação amortecida, cuja frequência depende dos valores de L e C. Quando a tensão cai abaixo de um certo nível, o centelhador se abre e a oscilação cessa no primário. A energia RF no primário é acoplada indutivamente ao secundário, cujos parâmetros são sintonizados na mesma frequência de ressonância do primário. As oscilações no circuito da antena também são amortecidas, mas podem durar um intervalo de tempo maior, já que o fator de amortecimento depende então da resistência da antena. No transmissor usado inicialmente por Marconi (Figura 68) a faísca era produzida no próprio circuito da antena, e a frequência das oscilações dependia dos parâmetros da mesma. A vantagem do transmissor de Tesla era que a frequência das oscilações era determinada pelo circuito LC do primário, onde ocorria a faísca. A antena estava conectada ao circuito do secundário, o que permitia aumentar a duração das oscilações que seriam transmitidas (Figura 117). O primário deste arranjo era denominado circuito “tanque” (reservatório) pois o capacitor era progressivamente carregado até que ocorresse a ruptura do ar, gerando as oscilações transferidas ao secundário. Na verdade, Tesla criou este dispositivo com a finalidade de acender lâmpadas a vácuo sem eletrodos externos, e à distância. Ele sempre teve muito interesse em iluminação, desde a época em que pesquisava as lâmpadas a arco e as produzia na *Tesla Electric Light Company*, companhia que fundou após se desentender com Edison, para o qual trabalhou por um tempo quando chegou aos EUA. Com a geração de sinais de alta frequência com sua bobina Tesla conseguiu produzir tensões da ordem de 4 milhões de volts, com descargas de 5 metros de comprimento. Tesla também desenvolveu as primeiras lâmpadas fluorescentes e a lâmpada néon, e fez as primeiras fotos com raios X. Além de perceber a importância da ressonância entre os circuitos do primário e secundário em sua bobina, Tesla fez vários experimentos explorando o aterramento de um dos terminais da antena (que ele chamava de condutor único), e sugerindo até que tal sistema não estaria produzindo radiação no espaço, mas sim correntes de condução a partir da perturbação de cargas eletrostáticas ao longo da superfície da terra. Na verdade, os experimentos de Tesla utilizavam o que se conhece hoje como propagação ELF (*extremely low frequency*), baseada na ressonância da região entre a superfície terrestre e a ionosfera. Nessa época inicia-se uma das obsessões de Tesla: a transmissão de energia elétrica sem fio. Ao patentear seu sistema, Tesla coloca esta como sua principal finalidade, citando apenas que o sistema também permitiria a transmissão de mensagens inteligentes a grandes distâncias, o que talvez

explique o porquê do trabalho de Tesla não ter sido tão reconhecido na área das comunicações.

Outra patente relacionada às comunicações e controle foi realizada por Tesla em 1898, quando propôs e demonstrou o funcionamento do controle remoto através de ondas de rádio, com um modelo de barco, um sistema transmissor em alta frequência e um receptor sintonizado. Ainda passariam muitos anos até que o controle remoto se tornasse operacional: foi somente durante a I Guerra Mundial que a marinha alemã desenvolveu e aplicou esta técnica em barcos a motor. De 1898 a 1900, Tesla continuou seu trabalho em altas frequências e altas tensões em seu laboratório em *Colorado Springs*, onde seu gerador produzia tensões da ordem de 12 megavolts e faíscas de 40 metros. Nos dois anos seguintes escreveu trabalhos e obteve patentes na área de transmissão de energia elétrica sem fio. Nessa época, inventou um transmissor com multiportadoras, operando com um receptor que poderia ser sintonizado a cada uma destas portadoras. Em 1900, iniciou seu projeto do “Sistema Global de Energia e Comunicações”, construindo o transmissor em um edifício e uma antena enorme em *Wardenclyffe, Long Island* (Figura 71). Através desse projeto, em que ele pretendia construir mais seis estações como a de *Wardenclyffe*, Tesla visava conectar todas as estações telegráficas já existentes, transmitir sinais, palavras, sons, textos e imagens, organizar os serviços de navegação, uniformizar a contagem do tempo, dentre outros objetivos ambiciosos. Algumas dessas ideias tornaram-se realidade apenas recentemente, como o de que os seres humanos teriam um pequeno transceptor, através do qual poderiam se comunicar sem fios com o sistema central. Neste laboratório, Tesla pretendia comprovar suas ideias sobre a ressonância da Terra, e previu que esta ocorreria nas frequências de 6, 18 e 30Hz. Apenas nas décadas de 1960 foram enfim realizados experimentos que comprovaram tal ressonância, denominada ressonância de Schumann, prevista pelo alemão Winfried Otto Schumann em 1952 em 8, 14 e 20Hz, do guia de onda formado entre a superfície da Terra e a ionosfera. Em 1901, com a transmissão transatlântica de Marconi, através de um sistema muito mais simples que o de Tesla, este perdeu muita de sua credibilidade e também o suporte de seus financiadores, embora ele tenha ressaltado que pretendia não apenas transmitir os fracos sinais de informação sem a conexão de fios, mas também altas potências de energia elétrica ao redor de todo o mundo.

Tesla foi um gênio e um visionário. Aos dezoito anos já havia aprendido seis línguas e aos 24 anos havia memorizado vários livros completos. Dormia apenas quatro horas por dia, possuía visão e audição acima do normal, memória fotográfica e a capacidade de visualizar seus inventos, antes mesmo de construí-los. Obteve mais de 700 patentes e muitas de suas ideias e invenções ainda estão sendo reveladas e compreendidas. Gostava de fazer demonstrações públicas fantásticas usando eletricidade. São famosas suas

fotografias onde aparece calmamente sentado no cenário repleto de enormes faíscas de seu laboratório. Sua vida foi marcada por períodos de crise e depressão: em 1878, quando cortou relações com sua família (seu pai insistia em que ele se tornasse ministro religioso); em 1895, quando seu laboratório foi destruído por um incêndio; em 1905, com o fracasso da Torre de *Wardenclyffe*, que os jornais da época chamavam de “loucura de 1 milhão de dólares” (a torre acabou demolida durante a Primeira Guerra); em 1909, quando Marconi recebeu o prêmio Nobel. Em 1915, houve uma indicação de que o prêmio Nobel de Física seria dado a Tesla e Edison. No entanto, na última hora a Comissão do Nobel desistiu desta premiação, provavelmente devido ao desafeto entre os dois cientistas, criado desde a disputa DC x AC. Tesla tinha várias fobias. Devido ao medo doentio de germes, lavava as mãos constantemente, não apertava a mão das pessoas, e usava cada lenço somente uma vez. Contava seus passos quando caminhava e calculava o volume dos pratos, xícaras e pedaços de comida, enquanto fazia suas refeições. Era contra as teorias do alemão Albert Einstein (1879-1955) e insistia em que a energia não está contida na matéria, mas no espaço entre os átomos. Não acreditava na existência do elétron e acreditava no éter (embora o experimento de Michelson-Morley em 1887 tenha demonstrado a não-existência do éter na propagação da luz). Em seus últimos anos, apesar de não ter mais suporte financeiro, Tesla continuou visualizando previsões de inventos que seriam realizados posteriormente, como o radar e o armamento que denominou “raio da morte” (baseado em um feixe de partículas), tendo este provocado ceticismo da comunidade científica, apesar de ter sido o precursor de aparato usado depois na “Guerra das Estrelas”. Morreu de trombose coronária, sozinho no quarto do hotel *New Yorker*, onde morava na época. Logo após a virada do século 20, o escritório americano de patentes reverteu sua decisão de prioridade da invenção do rádio e repassou-a de Tesla para Marconi, que na época recebia suporte técnico e financeiro de Edison (Figura 72). Em seu sistema de comunicação, Marconi utilizava 17 patentes de Tesla. Tesla lutou por mais de 30 anos para recuperar essa sua patente, mas não conseguiu. Foi apenas em 1943, alguns meses após a morte de Tesla, que a Suprema Corte dos EUA lhe restituiu a prioridade da invenção do rádio. Um dos prováveis motivos para esta decisão é que, nessa época, a Companhia de Marconi estava processando o governo americano por ter usado suas patentes na Primeira Guerra Mundial. Como agravante, com a 2ª Guerra em curso, deve-se recordar que Marconi, embora já morto, havia sido membro do partido fascista de Mussolini. Em homenagem a Tesla, o ano de 2006 foi proclamado pela UNESCO como ano Nikola Tesla (150 anos de seu nascimento) e o aeroporto de Belgrado também leva seu nome.

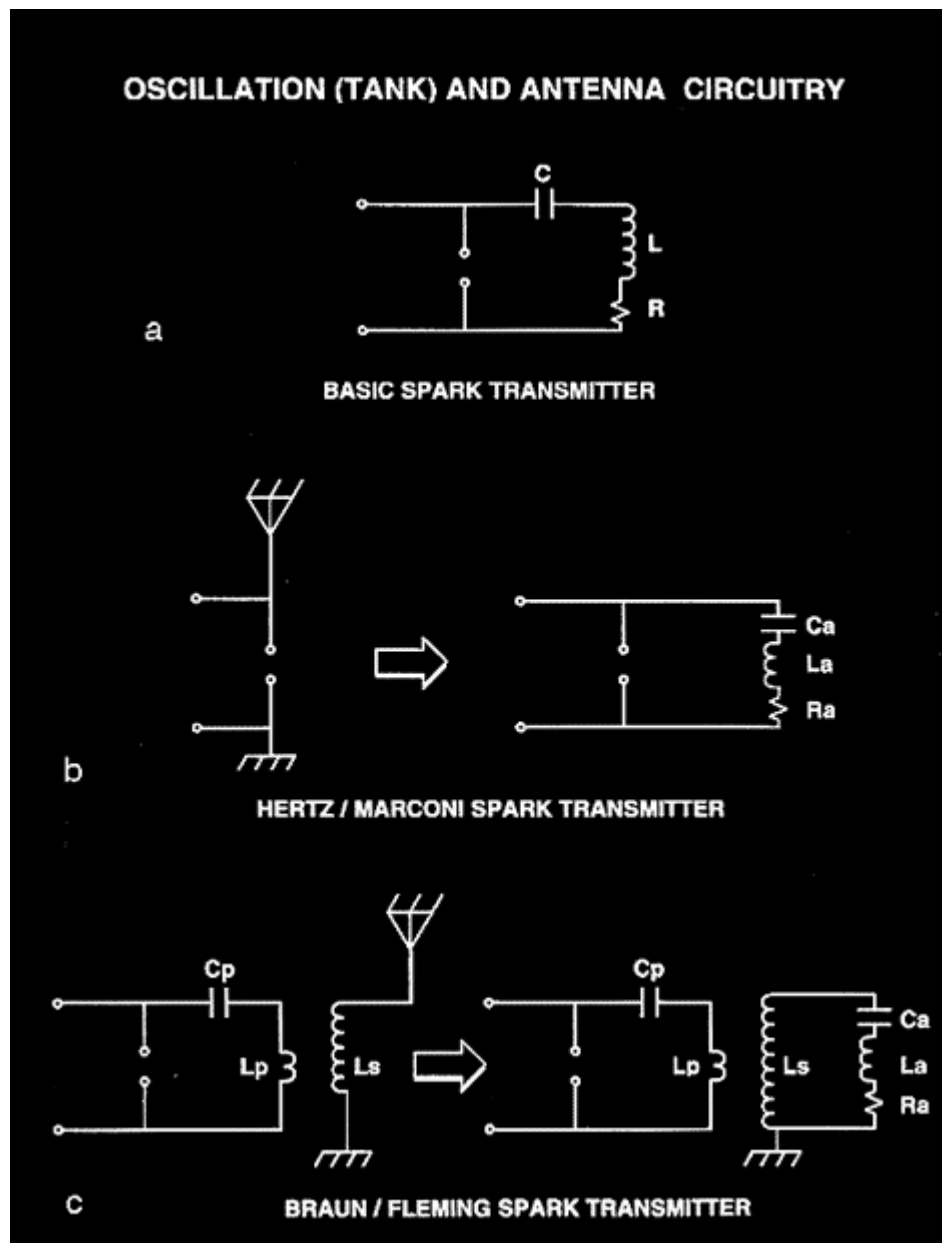


Figura 68- Esquemas de transmissor a f ısca – Tesla utilizou o esquema do item c), com a antena conectada ao secund ario do transformador.

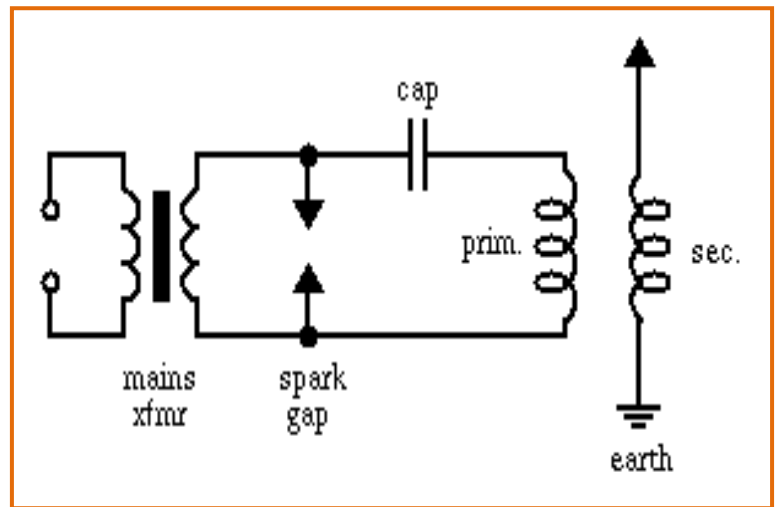


Figura 69 - Bobina de Tesla

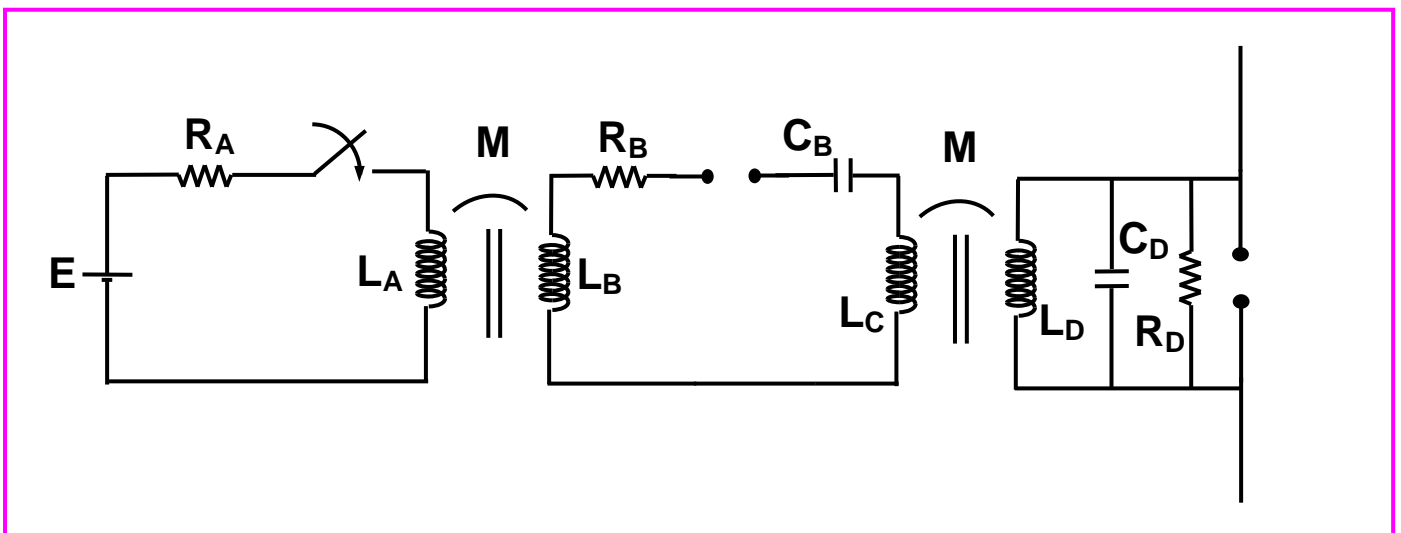


Figura 70 – Esquema elétrico da bobina de Tesla



Figura 71- A Torre Wardenclyffe- (Long Island, 1901-1917)

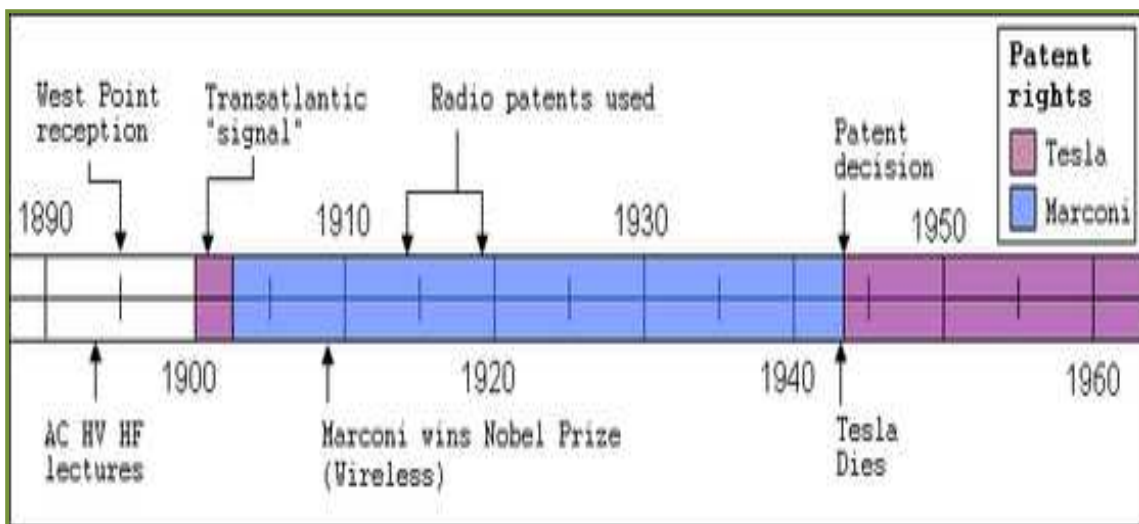


Figura 72- A Guerra das Patentes

Roberto Landell de Moura, conhecido como o Padre Landell (Brasil, 1861-1928) (Figura 73), realizou feitos notáveis na área das comunicações no início do século XX, e ainda é pouco conhecido e reconhecido até mesmo em sua pátria, o Brasil. Nascido em Porto Alegre, tornou-se padre e mudou-se para o estado de São Paulo, onde em 1900, fez sua demonstração de transmissão sem fio de sinais de voz (e não sinais telegráficos!), do alto de Santana à Av. Paulista, através de um aparelho que denominou de *Gouradphono*. Obteve patente brasileira de seu sistema em 1901, e também patenteou três de seus inventos nos EUA, em 1904: o Transmissor de Ondas, o Telefone sem Fio e o Telégrafo sem Fio. O primeiro constava de um “microfone ou interruptor fonético”, inventado pelo padre, uma bobina de Rühmkorff modificada, um centelhador e uma antena – as vibrações da voz, através de um bocal, faziam vibrar o diafragma do microfone, que interrompia, na mesma frequência, a corrente no primário da bobina, provocando no secundário, ligado ao centelhador, oscilações amortecidas de alta tensão que eram emitidas pela antena. O Telefone sem Fio (Figuras 75 e 76) era composto por um transmissor, que transformava o sinal sonoro em variações de intensidade e frequência de uma fonte luminosa, através de uma placa de quartzo; e de um receptor, onde o sinal luminoso recebido era novamente convertido em som, através de um detector fotossensível de selênio. O Telégrafo sem Fio utilizava um coesor na recepção, e dois tipos de transmissores: via sinais de rádio e outro com pulsos de luz. Para seus transmissores baseados em fontes luminosas, o padre Landell criou uma lâmpada com três eletrodos a partir da ampola de Crookes (tubo de raios catódicos), que produzia oscilações contínuas. Essa lâmpada pode ser considerada uma precursora da válvula triodo de Lee De Forest, que iria revolucionar a tecnologia do rádio. Outros documentos de Landell foram encontrados, descrevendo um aparelho denominado *telephotorama*, ou “a visão à distância”, que seria um sistema precursor da televisão para transmissão e recepção de imagens, bem como outros inventos, incluindo um precursor do teletipo (transmissão de texto à distância), um controle remoto via rádio, e outros batizados com nomes peculiares: *teleauxiofono* (telefonia com fio), *edífono*, *caleofone* (telefonia com fio), *teletiton* (telegrafia sem fio), *geofon*, *anematófono*.

Em 1907, o Padre Landell fez uma descoberta que somente décadas mais tarde se tornaria conhecida no mundo como bioeletrografia ou “efeito Kirlian” (de Semyon e Valentina Kirlian, russos que em 1939 inventaram a fotografia de campo radiante), que são os halos de energia luminosa colorida que cercam os corpos e são invisíveis a olho nu, mas podem ser registrados em uma chapa fotográfica.

O Padre Landell foi um grande inventor e pode ter precedido outros personagens que se tornaram famosos em seus experimentos com os sinais de rádio. Teve muitos problemas com a Igreja Católica e com o público em sua

tentativa de conciliar a ciência e a fé religiosa, tendo sido muitas vezes desacreditado e incompreendido em suas declarações de que o homem poderia realizar comunicações interplanetárias e enviar mensagens ao infinito através de energia vibratória. Tentou, mas nunca conseguiu comercializar suas invenções, e certa vez teve seu laboratório destruído em Campinas.

Nas últimas décadas, várias homenagens têm sido prestadas para resgatar a memória e os feitos do Padre Landell: o centro de pesquisa e desenvolvimento da antiga estatal das Telecomunicações Brasileiras, o CPqD da Telebrás leva seu nome; ele é o Patrono dos Radioamadores brasileiros; algumas biografias têm sido publicadas, e há um grupo de engenheiros e técnicos que estão construindo réplicas de seus inventos e demonstrando que funcionam (Figura 73).

Alexander Stepanovich Popov (Rússia, 1859-1906) (Figura 74) foi um físico russo que iniciou seus experimentos com ondas eletromagnéticas no início da década de 1890, baseado nos resultados de Hertz e Lodge. Em 1895, apresentou à Sociedade de Física e Química da Rússia, um sistema detector de raios e tempestades a distância, utilizando um coesor (Figura 55), por ele desenvolvido com base nos trabalhos de Branly e Lodge, no qual introduziu um martelo de campainha (“decoesor”) que era automaticamente acionado por um relê, aumentando sua potencialidade de uso (Figura 77) (este dispositivo foi patenteado por Marconi em 1896). Popov aperfeiçoou seu sistema para utilizá-lo em comunicação sem fio, tendo transmitido as palavras “*Heinrich Hertz*” em um experimento de 1896. Por seu trabalho, ganhou uma medalha de ouro na Exposição Internacional em Paris, em 1900. Quando se tornou professor na Universidade de São Petersburgo, em 1901, criou um laboratório de pesquisa em telegrafia sem fio, e cursos nesse tema. Em 1905, foi indicado como Diretor do Instituto Imperial de Engenharia Elétrica dessa Universidade, e o governo russo pediu para que ele reprimitasse as manifestações estudantis que estavam se intensificando na época. Contrariado com essa missão, Popov ficou seriamente doente e morreu de hemorragia cerebral em 1906. Desde 1945, a Rússia considera Popov como o inventor das comunicações por rádio, e 1995 como o ano de centenário desta invenção, havendo muitos monumentos em sua homenagem naquele país.



Figura 73- Landell de Moura
(Brasil, 1861-1928)



Figura 74- Popov
(Rússia, 1859-1906)

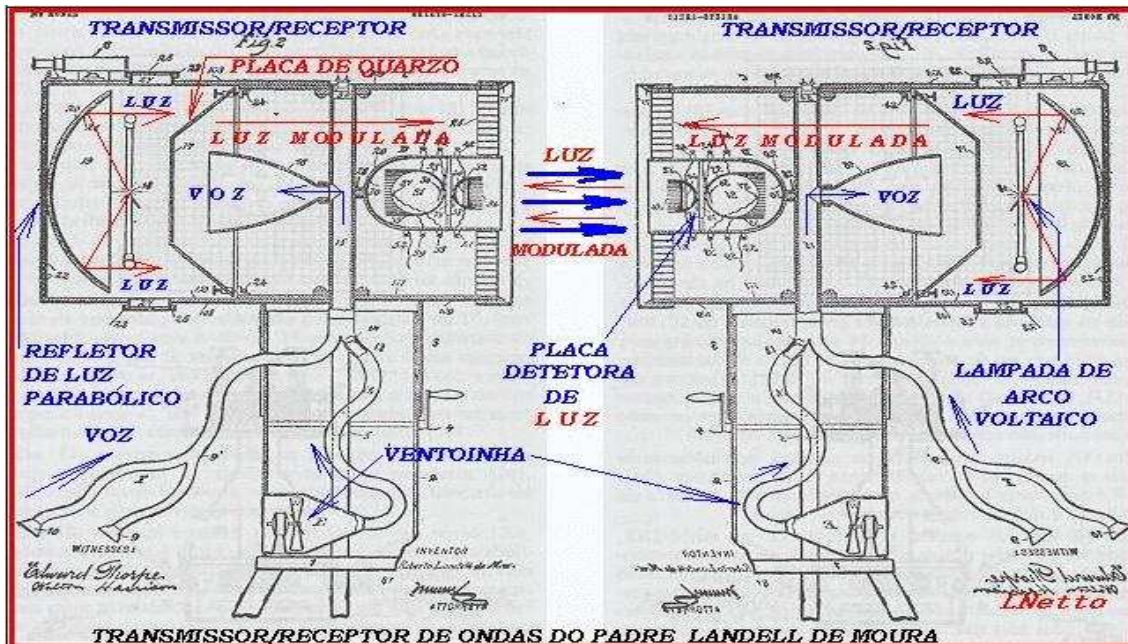


Figura 75- Esquema do Telefone sem fio de Landell de Moura



Figura 76- Réplica do Telefone sem fio de Landell de Moura

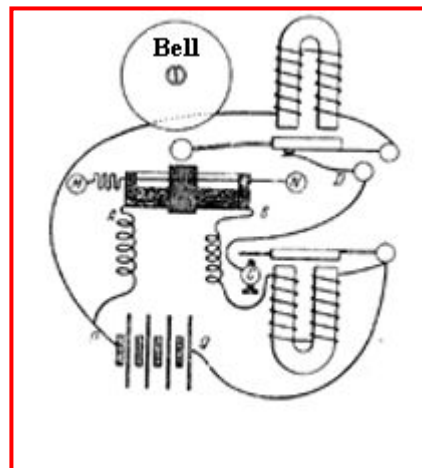


Figura 77- Receptor de Popov e esquema elétrico com “decoesor”

9- Fessenden, De Forest e Armstrong

Reginald Aubrey Fessenden (Canadá, 1866- Bermuda, 1932) (Figura 78) foi um brilhante inventor e experimentador canadense, hoje considerado o “Pai da Tecnologia AM de Rádio”. Ao contrário de Marconi, que acreditava que não havia necessidade alguma de se transmitir a voz humana, já que o código Morse era adequado para as comunicações entre navios e através dos oceanos, Fessenden desde 1898 reconhecia a necessidade de se transmitir “ondas contínuas” (termo que ele mesmo propôs: *continuous wave*, CW) (banda estreita de frequência) para a comunicação da fala. Ele também pressentia que mesmo o código Morse poderia ser melhor transmitido e recebido através de sinais CW, ao invés de se usar o sistema de transmissor de faísca associado ao receptor a coesor, baseado em sinais oscilatórios amortecidos pulsados (que ocupam uma banda larga de frequência). No começo do século XX ele era um dos únicos a pensar dessa forma. A maioria dos cientistas acreditava que a radiação e propagação de ondas eletromagnéticas só poderiam ser produzidas através de faíscas, conforme havia sido a demonstração original de Hertz. Na verdade, a faísca em si servia apenas para conectar os elementos de um circuito ressonante, cuja resposta transitória era oscilatória, gerando na antena uma corrente variável que produzia os campos eletromagnéticos previstos por Maxwell. As patentes de Fessenden em CW tiveram pouco impacto na tecnologia dos sistemas de comunicação sem fio da época. Em 1900, Fessenden enviou através de um microfone acoplado a seu sistema de telégrafo, a mensagem: “Um, dois, três, quatro, está nevando onde você está, Mr. Thiessen?” a seu assistente, localizado a alguns quilômetros de distância. A resposta afirmativa, telegrafada em código Morse foi a demonstração de que ele havia conseguido transmitir voz através de ondas eletromagnéticas, um ano antes da transmissão transatlântica de Marconi. Este seria o início da telefonia por rádio. Nessa época, Fessenden explorou novos receptores, pois entendeu que o coesor não seria rápido o suficiente para detectar sinais de áudio: ele necessitava de um detector que atuasse continuamente, e produzisse uma indicação proporcional ao sinal recebido. Em 1902, propôs dois tipos de detectores mais rápidos e sensíveis: o detector a barreter (um fio de prata e platina -fio Wollaston- usado como um termoresistor- quando percorrido pelo sinal oscilatório da antena, sua resistência variável produzia sinais sonoros em alto-falantes conectados em série com o detector); e o detector eletrolítico (consistia na ponta de um fio de platina, imersa em uma solução eletrolítica, com uma baixa tensão DC aplicada ao conjunto, de forma que a presença de um sinal AC tendia a despolarizar o conjunto). Este detector também era usado em conjunto com alto-falantes (Figura 79), e seria posteriormente substituído pelo cristal de galena, diodo de germânio e válvulas. Note-se que foi Fessenden quem criou o termo “barreter”, palavra que em francês significa “conversor”, inferindo a conversão entre AC e DC obtida com o dispositivo.

Com relação aos transmissores, deve-se lembrar que o transmissor a faísca, alimentado com bateria, continha um interruptor que fazia e desfazia a conexão da corrente no primário do transformador a, por exemplo, 100 interrupções por segundo, de forma a gerar no secundário as oscilações amortecidas, quando a chave Morse estivesse fechada (Figura 80). Tal interruptor era uma chave mecânica (tipo Wehnelt, por exemplo), de forma que no receptor seria ouvido um zumbido, composto pela frequência de chaveamento do interruptor adicionada à oscilação gerada pela faísca no secundário do transmissor. Posteriormente, passou-se a usar geradores AC, ao invés de bobinas de indução alimentadas com bateria (Figura 81). Nesse caso, o transformador aumenta o nível de tensão do sinal AC, de forma a carregar o capacitor e gerar as faíscas no secundário. Esse arranjo não era muito satisfatório, pois se gerava uma faísca por período, ou a cada meio período, ou algumas faíscas espaçadas irregularmente. Surgiu então a ideia dos geradores de *gap* rotatórios (Figura 82). Os primeiros transmissores desse tipo eram assíncronos: a velocidade de rotação da roda (rotor) era independente da frequência do gerador AC. A faísca ocorria sempre que o *gap* entre o eletrodo fixo e um ponto no eletrodo móvel era suficientemente pequeno. Assim, eram geradas várias faíscas num ciclo do sinal AC e os intervalos entre elas não eram fixos. Fessenden desenvolveu então o “transmissor a faísca rotatório síncrono”: o rotor girava em sincronismo com a frequência do sinal do gerador AC, de forma que duas faíscas eram produzidas nos pontos de pico do sinal senoidal (Figura 83). Se alimentado por um sinal trifásico, a taxa de repetição das faíscas seria 6 vezes o valor da frequência AC. Em 1906, Fessenden conseguiu estabelecer um sistema de telegrafia de duas vias confiável, entre Boston (*Brant Rock*) e a Escócia, utilizando esse seu invento, associado a receptores sintonizados e equipados com o detector a barreter. Ainda não era um transmissor CW, mas o sinal produzido soava como um tom musical e possuía espectro de banda mais estreita que qualquer outro transmissor da época. Ele continuou tentando desenvolver um alternador de alta frequência (HF) (que ele denominava *dinamo*) que fosse compatível com os sistemas de antena da época: em 1903 havia conseguido um que operava a 10 kHz; em 1906, transformou um alternador de 50kHz construído pelo engenheiro americano da *General Electric Company*, Ernst Alexanderson (1878-1975) numa máquina operando a 75 kHz (0,5 kW). (Deve-se notar que Tesla já havia construído, em 1890, alternadores operando em 10 kHz). A ideia de Fessenden de gerar um sinal de alta frequência, acima da região audível, para tornar real a telefonia sem fio, era originária de um experimento de 1899: usando um transmissor com bobina Rühmkorff e interruptor Wehnelt, ele notou que, com a chave Morse fechada durante um longo intervalo, ele conseguia ouvir o som produzido pelo interruptor no aparelho telefônico conectado ao receptor (Figura 118).

Com seus receptores a barreter ou eletrolítico, Fessenden não conseguia receber sinais CW não modulados: numa mensagem transmitida em código

Morse através de um alternador HF, seriam ouvidos apenas os “clicks” da chave telegráfica abrindo ou fechando. Fessenden então imaginou a solução: seria necessário combinar duas frequências, de forma a obter a soma e a diferença entre as mesmas, ou seja, o princípio do receptor heteródino, palavra que foi ele também quem criou (do grego, *heteros*: outra, ou diferente; e *dynamis*: força). Se a frequência recebida (acima da capacidade auditiva humana) fosse combinada com uma outra frequência próxima, a diferença entre as duas (“heteródina” ou frequência de “batimento”) poderia ser transformada, através de alto-falantes, em um som audível (Figura 84): por exemplo, a mistura de uma frequência recebida de 100kHz com outra de 101kHz gerada localmente no receptor, produziria um sinal audível de 1kHz (Figura 119). Este princípio era bem conhecido em acústica, principalmente pelos afinadores de piano, mas a grande ideia de Fessenden foi propor sua aplicação para sinais de RF. Na época em que patenteou este invento (1905) não existia a tecnologia necessária para implementá-lo, isto é, um oscilador local de alta frequência estável e ajustável.

Em Novembro de 1906, em Boston, quando Fessenden utilizava seu alternador HF modulado em AM por um sinal de microfone a carvão, resfriado com água e inserido em série no circuito da antena, sua voz foi escutada claramente na Escócia, sendo esta uma demonstração da telefonia transatlântica sem fio.

Na noite de Natal de 1906, usando o mesmo sistema, Fessenden transmitiu mensagens de voz (passagens da Bíblia e discurso de Boas Festas) e música (ele mesmo tocando violino) de Boston a vários navios mercadores de frutas que estavam no oceano Atlântico. Este seria o início da radiodifusão. A transmissão foi repetida na noite de Ano Novo.

No início de sua carreira, Fessenden trabalhou para Thomas Edison e depois para George Westinghouse e nunca se conformou com o forte apoio recebido por Marconi do governo canadense, seu próprio país, que pouco acreditou em seus feitos. Despendeu muita energia em processos para defender suas patentes (foi autor de cerca de 250 patentes) e teve muita dificuldade em conseguir patrocinadores para seu trabalho, o que o fez abandonar o Canadá e os EUA e mudar-se para a ilha de Bermuda. Nos seus últimos anos, dedicou-se ao misticismo e ao estudo de história antiga, e faleceu quase desconhecido. Além de realizar vários estudos sobre a propagação de sinais eletromagnéticos, e sua variação com o clima, o período do dia e a frequência do sinal, Fessenden realizou vários projetos de antenas e deixou outros inventos como o Sonar (*sound navigation and ranging*), o microfilme, o *pager*, e um receptor de TV.

Depois de Fessenden, os sistemas de comunicação CW continuaram a ser desenvolvidos. Marconi usou suas técnicas de transmissão a faísca para desenvolver um transmissor “semi-contínuo”, até que em 1914 ele comprou as

licenças para usar as patentes CW de Fessenden. Em 1922, a *Marconi Company* e cinco outras empresas britânicas juntaram-se para criar a BBC (*British Broadcast Corporation*). A empresa onde Fessenden havia trabalhado (NESCO- *National Electric Signalling Company*) tornou-se a RCA (*Radio Company of America*). Não há dúvidas de que Fessenden foi o criador dos princípios dos sistemas de telefonia e radiodifusão que dominaram as comunicações até os dias de hoje: a transmissão CW, a modulação AM e o receptor heteródino.



Figura 78- Fessenden (Canadá,1866- Bermuda,1932)

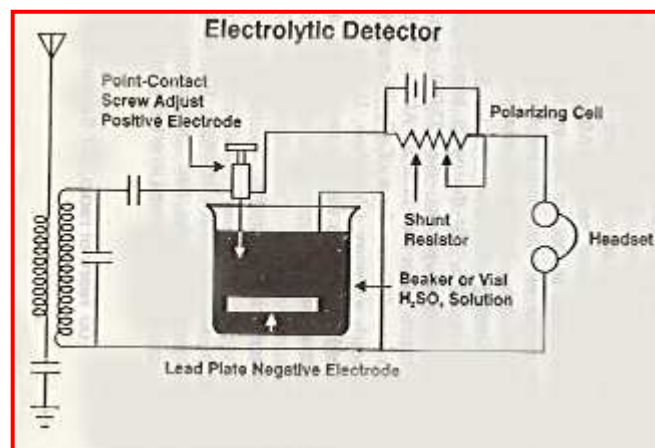


Figura 79- Detector Eletrolítico

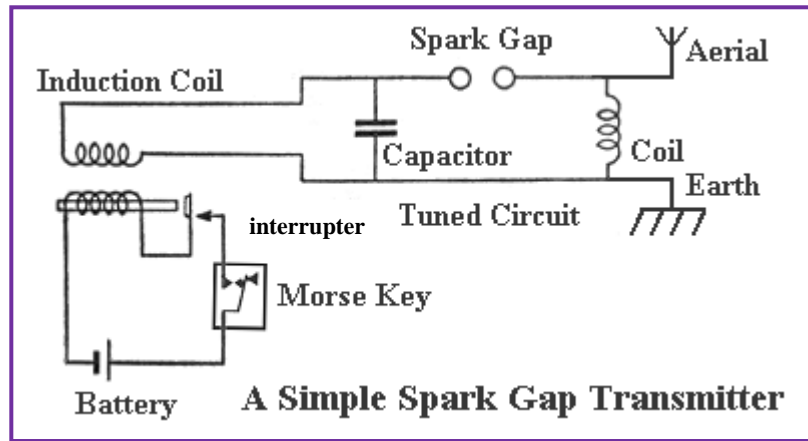


Figura 80- Transmissor a faísca com bobina de indução e bateria

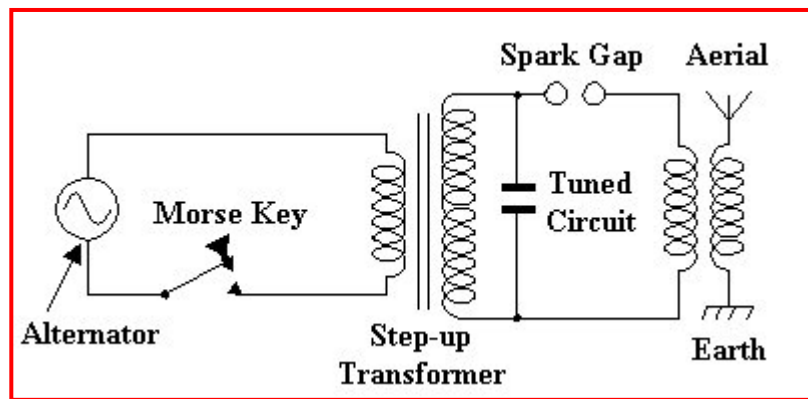


Figura 81- Transmissor com gerador AC

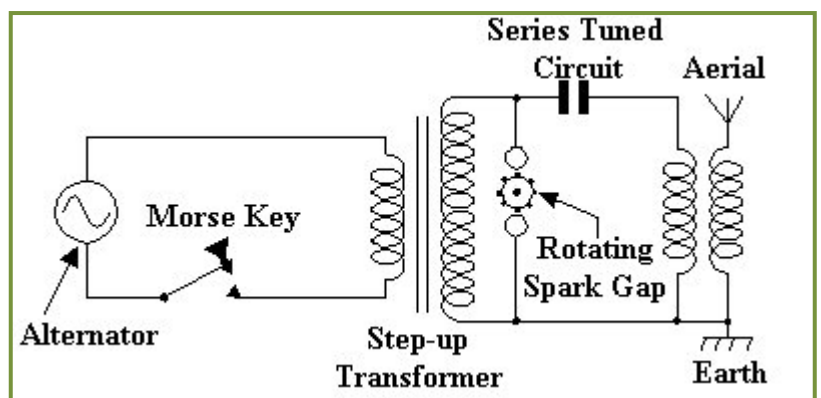
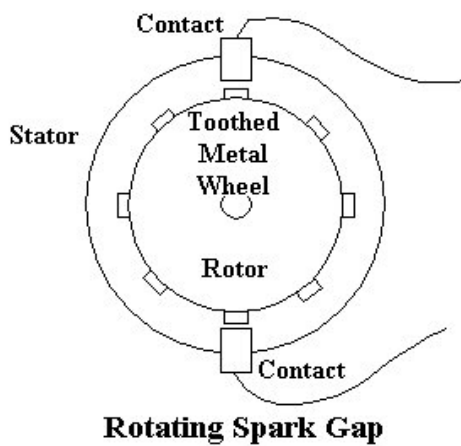


Figura 82- Transmissor com gap rotatório

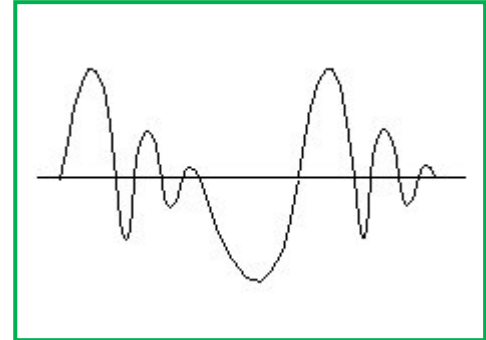
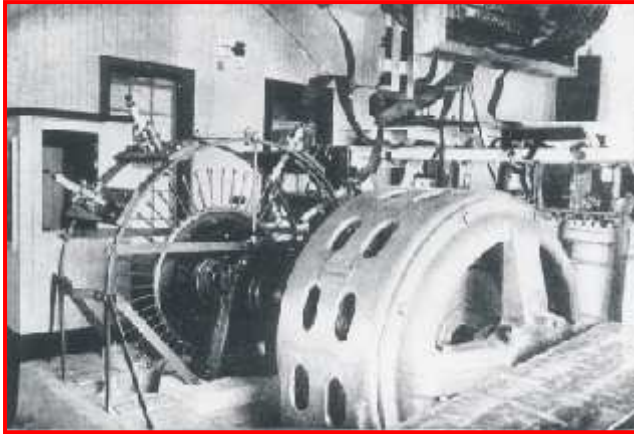
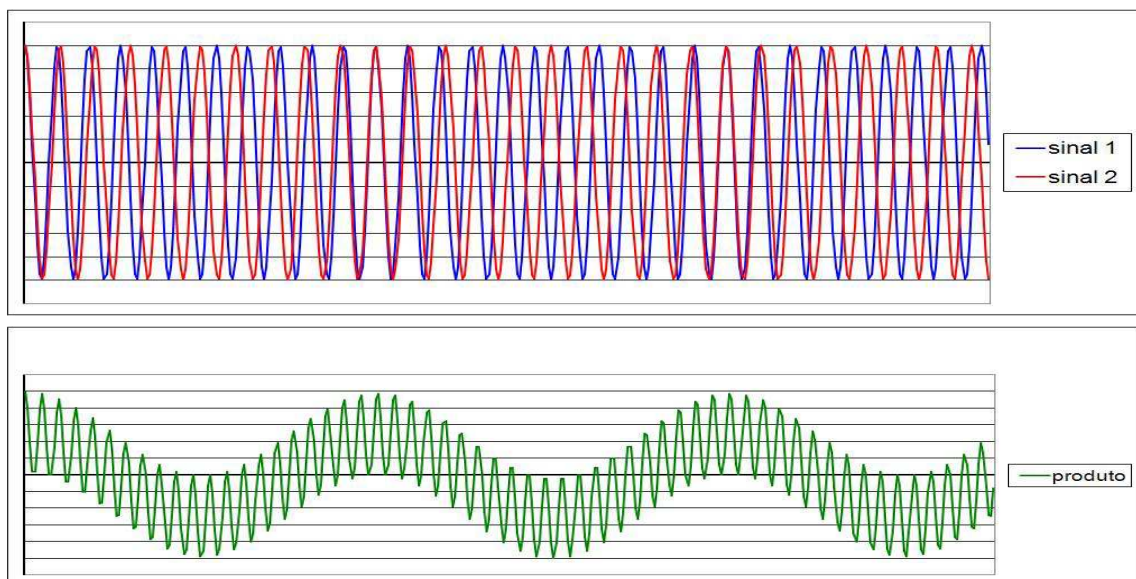


Figura 83- Transmissor a faísca rotatório síncrono de Fessenden



$$A \cdot \cos(2\pi f_1 t) \times B \cdot \cos(2\pi f_2 t) = \frac{AB}{2} [\cos(2\pi(f_1 - f_2)t) + \cos(2\pi(f_1 + f_2)t)]$$

Figura 84- Princípio do Receptor Heteródino

Em 1906, o inventor americano Lee De Forest (EUA, 1873-1961) (Figura 85), doutor pela Universidade de Yale, apresentou um trabalho sobre o dispositivo que batizou de “Audion” (áudio+íon), uma válvula de três terminais (triódo) (Figura 87) que consistia numa evolução da válvula diodo de Fleming. De Forest afirmava não conhecer o trabalho de Fleming, embora tenha tentado anteriormente patentear o próprio diodo de Fleming. Ele havia introduzido um fio de níquel em ziguezague como grade entre o filamento de tântalo aquecido (catodo) e a placa metálica de níquel (anodo). Uma pequena tensão aplicada à grade podia controlar a corrente na placa, e o tubo não somente detectava, mas também amplificava sinais de RF. Apesar de ter sido apresentado em uma estrutura ainda primária, o dispositivo significava uma revolução na tecnologia dos receptores e De Forest montou uma de suas várias empresas para produzir tais aparelhos usando esta válvula (Figura 88). Embora na patente do Audion (1908), seu efeito amplificador tivesse sido citado (“se o sinal gerado em um microfone fosse conectado entre a grade e o catodo, ele produziria um sinal mais intenso no alto-falante conectado no anodo”), o dispositivo foi utilizado até 1912, praticamente apenas como detector basicamente por falta de entendimento de sua operação. O triódo teve depois papel fundamental no projeto dos transmissores e receptores para telefonia, sendo o dispositivo base dos osciladores e amplificadores, até o advento do transistor.

Lee De Forest era bastante criativo e energético, mas às vezes não compreendia o potencial de suas invenções ou não sabia explicar os conceitos teóricos por trás de seu funcionamento. Por exemplo, ele acreditava que o gás dentro do tubo de vidro era necessário para o funcionamento de seu triódo. Na verdade, em 1912, o cientista Irving Langmuir (1881-1957) demonstrou que o triódo apresentava melhor operação no vácuo completo. Neste mesmo ano, De Forest descobriu acidentalmente que o efeito da realimentação poderia aumentar a amplificação de sinais no seu triódo, mas não deu importância a esta descoberta. Quando, em 1915 tentou patentear-la, Armstrong já havia obtido esta patente, e apesar de De Forest ganhá-la judicialmente em 1934, Armstrong continuou sendo considerado o inventor do denominado “circuito regenerativo”.

Lee De Forest deixou mais de 180 patentes e contribuições para a radiodifusão: em 1910, transmitiu uma ópera com Enrico Caruso, de Nova York e em 1916, transmitiu os resultados da eleição presidencial. Trabalhou também para a televisão e o cinema, inventando, em 1921, um método para gravar som sobre filme- o *PhonoFilm* (Figura 89). Em 1959, ganhou em Hollywood, onde morou nos seus últimos trinta anos, um Oscar honorário por esta sua invenção que “trouxe som ao cinema”.

De Forest teve uma vida profissional e privada bastante atribulada: vários negócios mal sucedidos, vários processos de patentes, sérias suspeitas de

fraude. Uma delas foi a tentativa de roubo da ideia do detector a barreter de Fessenden, após uma visita a seu laboratório. Passou por quatro casamentos. A segunda esposa, Nora Blatch era engenheira civil e não suportou viver à sombra dele, separando-se após quatro anos de casados. A última esposa era uma atriz de Hollywood, 36 anos mais jovem que ele. Em toda sua vida, De Forest buscou reconhecimento público pelos seus feitos. Em 1950, publicou sua autobiografia intitulada “O Pai do Rádio” (título que nunca lhe foi atribuído pela comunidade técnica), que vendeu menos de mil exemplares.

Em 1912, Edwin Howard Armstrong (EUA,1890-1954) (Figura 86) era um jovem estudante na Universidade de Columbia, admirador de Faraday e Marconi. Ele estudou o triodo de Lee De Forest por vários anos, fez muitos experimentos e conseguiu entender e explicar seu funcionamento, publicando trabalhos sobre o assunto. Tendo como tutor, o Prof. Michael I. Pupin (1858-1935), ele mesmo um grande inventor, percebeu que poderia obter um maior efeito de amplificação (da ordem de milhares de vezes) do triodo, injetando parte da corrente de placa (anodo) de volta à grade, efeito conhecido como realimentação positiva. Ele também observou que ao aumentar esta realimentação acima de um certo nível, transformaria o triodo num oscilador, ou seja, um gerador de ondas contínuas. Essa foi sua primeira de grandes contribuições à tecnologia do rádio: o circuito regenerativo, que funcionava como oscilador no transmissor, e como amplificador dos sinais de rádio no receptor. A tentativa de patentear este circuito em 1913 iniciou sua longa batalha de rivalidade legal e verbal contra Lee De Forest.

Em 1917, quando servia na 1ª Grande Guerra como capitão do exército americano, inventou o circuito super-heteródino, baseado na ideia de Fessenden, e obteve sua patente em 1920. A partir dessa data, as estações de radiodifusão passaram a se espalhar rapidamente, e esta arquitetura tornou-se o padrão dos sistemas de rádio, televisão e radar. No receptor super-heteródino (Figura 90), o sinal recebido é convertido em um sinal de frequência intermediária (FI) mais baixa, mas ainda não audível (“super-sônica”, daí a palavra “super”), através de seu batimento com um oscilador local. Esse sinal é então filtrado e amplificado (amplificadores de alto ganho nesta frequência mais baixa eram mais viáveis que nas altas frequências das portadoras de RF) antes de ser detectado e convertido em sinal de áudio. Esse esquema permite maiores seletividade e sensibilidade que o receptor heteródino. Além disso, o mesmo sistema pode receber várias portadoras de frequências diferentes, bastando para isso, variar a frequência do oscilador local, mantendo a FI sempre a mesma, sendo portanto fixos os amplificadores e filtros sintonizados nessa frequência. Os receptores da época (Figura 91) combinavam a válvula triodo com bateria, antena e fone de ouvido, tornando-se “portáteis” (Figura 92)

Em 1922, Armstrong inventou o circuito super-regenerativo, que teve várias aplicações em receptores especiais, como em rádios de polícia, sistemas de

comunicação entre navios e terra, e radares. A principal característica deste circuito é a de produzir um altíssimo ganho com poucos componentes (normalmente apenas uma válvula). O sistema, assim como o regenerativo, baseia-se na realimentação positiva do sinal, sendo ajustado para ser instável. No entanto, antes que ocorra a saturação do sinal de saída, a realimentação é periodicamente interrompida.

Com a venda das patentes do circuito super-heteródino e do receptor super-regenerativo, Armstrong tornou-se um milionário em 1923.

Ao voltar da guerra, tornou-se major (apelido pelo qual era chamado pelos amigos) e professor da Universidade onde havia estudado. Passou a dedicar-se aos problemas de ruído, interferência e estática dos aparelhos de rádio, na época operando com modulação AM (Figura 93). Esses problemas eram causados principalmente por descargas atmosféricas, as quais apresentam características similares à modulação AM. Em 1930, seus esforços resultaram no estabelecimento do sistema de modulação FM, iniciando a era da *high fidelity* nas comunicações. A ideia era que, se ao invés de variar a amplitude do sinal de RF a ser transmitido, fosse variada a sua frequência de acordo com as variações do sinal de áudio (Figura 94) (Figura 121), o efeito do ruído iria ser minimizado. Esse sistema de modulação havia sido tentado anteriormente, sem bons resultados, tendo sido desacreditado. A contribuição de Armstrong foi entender e demonstrar como a modulação FM deveria ser usada. Primeiramente, deveria ser utilizada uma portadora de alta frequência, embora na época acreditava-se que quanto menor a frequência, maior seria o alcance do sinal. Em segundo lugar, deveria ser utilizada uma banda mais larga de frequência, para obter áudio de qualidade muito superior e imune a ruído. Em sistemas AM, faziam-se receptores de banda bem estreita, ou seja, bem seletivos, na tentativa de diminuir-se a interferência, embora às custas de baixa qualidade do som. Quatro patentes da FM foram obtidas por Armstrong em 1933. No entanto, receptores FM levaram vários anos para conseguir adeptos e empresas que investissem nessa tecnologia, principalmente por motivos políticos e comerciais, já que muitos sistemas em produção eram baseados na tecnologia AM. Para agravar ainda mais essa demora, após a 2ª. Guerra, a FCC (*Federal Communication Commission*), por influência de David Sarnoff (1891-1971), diretor da RCA (*Radio Corporation of America*) e antigo amigo de Armstrong mudou a faixa original alocada para FM, de 42-50MHz para 88-108MHz. Dessa forma, todos os sistemas já em operação não poderiam mais ser utilizados. Mais tarde, a própria RCA desenvolveu sua tecnologia de FM e a patenteou. A luta entre Armstrong e a RCA levou-o às falências financeira e emocional.

Obcecado em seu trabalho com os sistemas de rádio, desiludido com a pouca aceitação de seus inventos e atormentado com a sensação de que outras pessoas estavam roubando suas ideias, Armstrong suicidou-se em 1954: vestiu

casaco, chapéu, cachecol e luvas e pulou da janela de seu apartamento no 13º andar em Nova York. No ano anterior, sua esposa o havia abandonado após uma discussão. Após sua morte, ela continuou lutando para conseguir vencer os processos em que ele havia se envolvido. Armstrong possuía uma mente analítica diferenciada e acreditava na intuição física, associada à matemática para resolução dos problemas. Ele é considerado o “Pai da tecnologia FM de rádio”.

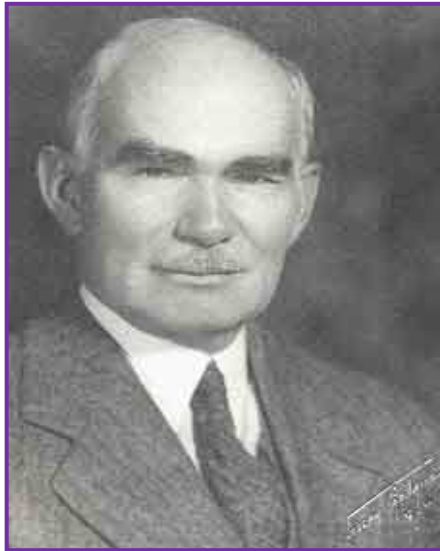


Figura 85- Lee De Forest
(EUA,1873-1961)



Figura 86- Edwin Armstrong
(EUA,1890-1954)



Figura 87- O Audion (1906)



Figura 88- Receptor de rádio utilizando o Audion



Figura 89- O *PhonoFilm* inventado por De Forest

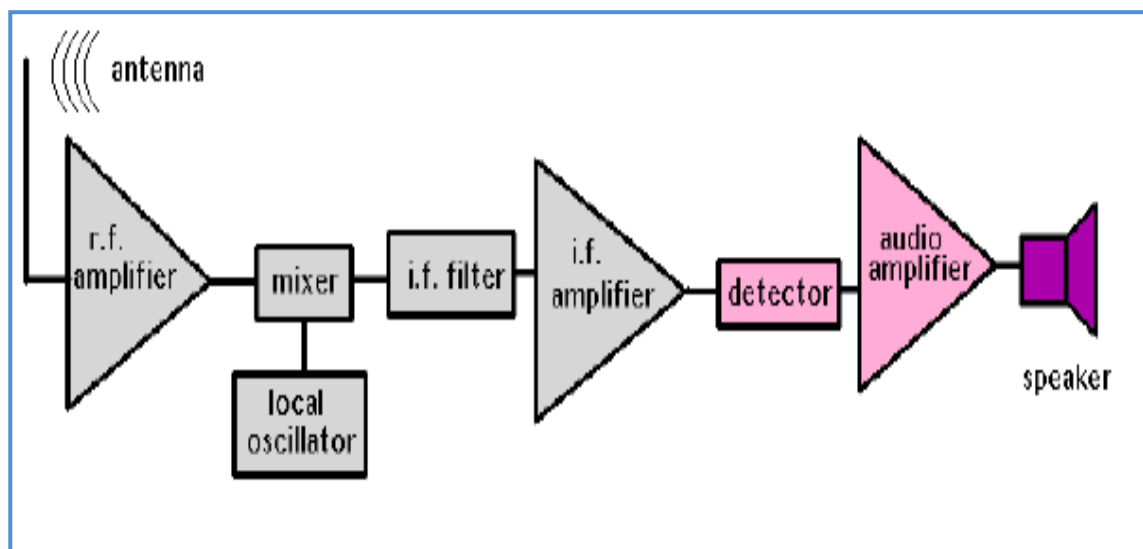


Figura 90 - Esquema do Receptor Super-Heteródino

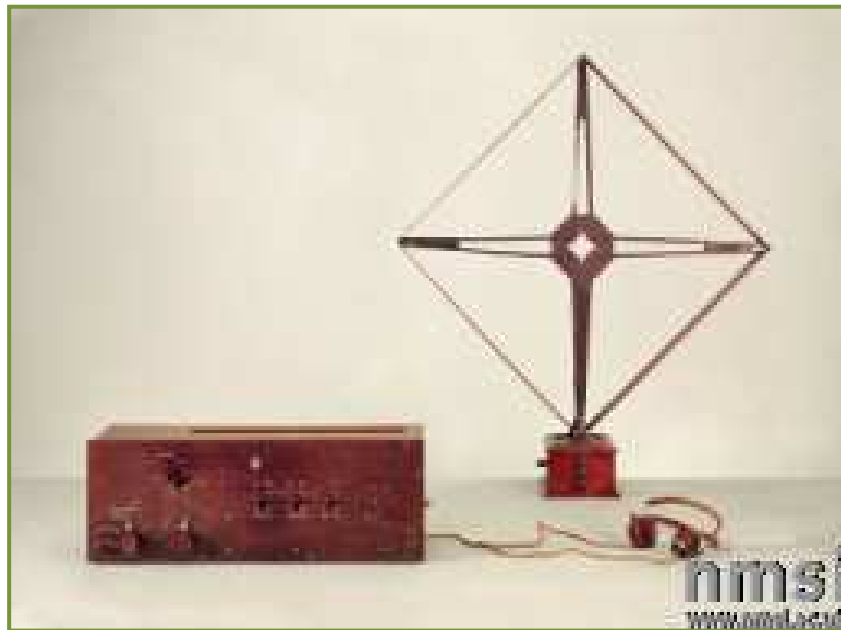


Figura 91- Receptor Super-Heteródino



Figura 92- Presente de casamento de Armstrong à sua esposa Marion MacInnes (1923) : o primeiro rádio portátil

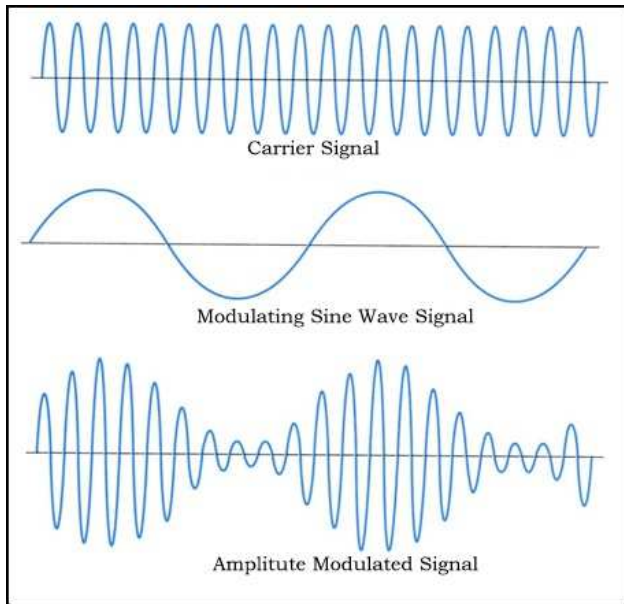


Figura 93- Modulação AM

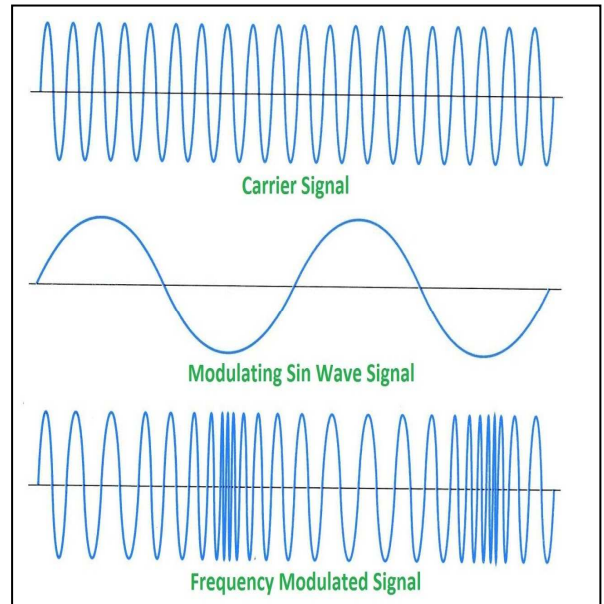


Figura 94- Modulação FM

10- Baird

Após o sucesso da transmissão de sinais telegráficos por rádio, e da comunicação de voz e áudio pela mesma via, o desejo natural da humanidade seria poder transmitir imagens.

Embora a televisão tenha sido produto do trabalho de várias pessoas, o escocês John Logie Baird (Escócia, 1888-Inglaterra, 1946) (Figura 95) foi o primeiro a demonstrar publicamente a operação prática de um sistema de televisão. Em 1925, ele fez demonstrações na loja *Selfridges* em Londres, utilizando um aparelho (que ele denominou de "Televisor") construído a partir de uma caixa de chapéus, algumas agulhas de costura, um par de tesouras, lentes de farol de bicicleta, uma caixa de chá, motores, válvulas e componentes eletrônicos, bem como uma boa quantidade de cera e cola (Figura 96). Em 1926, repetiu sua demonstração com equipamento melhorado, para membros da *Royal Institution*. Seu sistema (Figura 98) utilizava o disco de Nipkow, proposto em 1884 pelo alemão Paul Nipkow (1860-1940), que transformava uma imagem em sinais elétricos: a imagem era convertida em pequenos trechos, através de um disco rotativo com furos posicionados em espiral. Quando o disco girava, a imagem era escaneada de cima para baixo e células fotosensoras de selênio (cuja resistência elétrica varia com a incidência da luz) dispostas atrás do disco eram excitadas pela luz que atravessava os buracos. Esses fotosensores geravam um sinal elétrico de intensidade variável, que poderia ser transmitido ao receptor através de linha telefônica, ou via rádio. No receptor, esse sinal fazia variar a intensidade de uma lâmpada, cuja luz era

projetada em um anteparo, através de outro disco de Nipkow, reproduzindo assim a imagem que havia sido transmitida. No protótipo de 1925 de Baird, as imagens eram escaneadas em apenas 8 linhas (correspondente a 8 furos no disco), sendo cada linha vertical composta por 50 elementos, produzindo 400 elementos de imagem ou “pixels” que resultavam em uma silhueta rudimentar da figura original (uma TV de 32” atual de LCD tem mais de 1 milhão de pixels) . A velocidade de rotação dos discos deveria ser otimizada de forma a empregar a retenção da retina, tal que a imagem completa pudesse ser visualizada. As imagens transmitidas foram a de um boneco de ventríloquo (com o nome de “*Stooky Bill*”) e também de um jovem rapaz (Figura 97), à velocidade de 5 imagens por segundo, obtendo no anteparo imagens em semi-tons. O pioneirismo de Baird foi atingido graças às melhorias que realizou nos fotodetectores e nos amplificadores eletrônicos do transmissor e do receptor, que utilizavam válvulas. No sistema de 1926, Baird usou 30 linhas e obteve no anteparo, imagens em semi-tons. Devido à necessidade de se girar os discos de Nipkow, o equipamento de Baird foi classificado como eletromecânico. Mesmo após o advento da TV eletrônica, no entanto, o conceito de se dividir a imagem em pequenos elementos (“pixels”) continua sendo empregado.

Em 1927, Baird fez transmissões de TV entre Londres e Glasgow, através de linhas telefônicas. Em 1928 foi feita a primeira transmissão televisiva transatlântica, entre Londres e Nova York e também a primeira demonstração de TV com imagens a cores. Para obter este feito, Baird utilizou três conjuntos de buracos no disco de Nipkow, que escaneavam a cena sequencialmente, através de três filtros de cores diferentes (vermelho, azul e verde). No receptor eram usadas três fontes de luz. Este mesmo princípio foi utilizado posteriormente na TV eletrônica. Nesse mesmo ano, Baird demonstrou a TV estereoscópica, produzindo a sensação de solidez e profundidade às imagens transmitidas. Para isso, utilizou uma variação do disco de Nipkow, com duas espirais de furos (Figura 99) uma em cada hemisfério do disco, separadas de 10 cm, correspondente à distância entre os dois olhos humanos. Cada espiral tinha sua lente e fonte de luz, de tal forma que duas imagens eram transmitidas, cada uma correspondente a um olho. No receptor, duas imagens são produzidas no anteparo, afastadas de cerca de 2 cm, e então compostas através de prismas, para produzir o efeito estereoscópico.

A partir de 1930, o sistema eletromecânico de Baird começou a se tornar obsoleto, pois se percebeu que ele jamais produziria figuras com o grau de detalhes desejável ao público. O sistema eletrônico desenvolvido por Vladimir Zworykin (1889-1982) e Philo T. Farnsworth (1906-1971), baseado no tubo de raios catódicos de Braun, começou a dominar rapidamente, até que em 1937, a BBC (*British Broadcasting Corporation*), que operava até então com os dois tipos de sistemas, decidiu padronizar a TV eletrônica (Figura 101) e aposentar o “Televisor” mecânico de Baird. Após isso, Baird ainda continuou dando

contribuições para a tecnologia de TV eletrônica. Nota-se que esta TV era composta pelos elementos conhecidos até a época: o transformador produzia as tensões altas que guiavam os elétrons em feixes, gerados no catodo, e então acelerados por tensões positivas através dos anodos, sendo concentrados pelas bobinas de foco, até gerar um ponto sobre a tela fluorescente do tubo. As quatro bobinas de deflexão (duas verticais e duas horizontais) criavam campos que defletiam o feixe de elétrons, de tal forma a varrer a tela em linhas horizontais, de alto a baixo e voltando ao topo novamente (Figura 102). Ao mesmo tempo, a intensidade do feixe era variada pelo sinal aplicado a outro eletrodo localizado logo após o catodo. Quando o feixe era mais intenso, produzia um ponto mais brilhante na tela. A cada segundo, 25 imagens completas eram produzidas. Como os olhos humanos não conseguem seguir o rápido movimento dos elétrons, tem-se a impressão de imagens movendo-se continuamente na tela. Assim, a varredura da imagem que era feita mecanicamente girando-se o disco de Nipkow, passou a ser feita eletronicamente, através da variação de tensões elétricas. Capacitores variáveis e outros itens sintonizavam o aparelho para receber sinais de transmissores diferentes.

Baird padecia desde criança de saúde fraca, era hipocondríaco e ficava doente sempre que estava sob pressão. Mas sempre sonhou em inventar a televisão. Para financiar este sonho, usou seu talento inato como inventor, tendo desenvolvido ao longo de sua vida algumas ideias bizarras, resultando em protótipos nem sempre muito bem sucedidos. Outras de suas invenções foram: método para curar hemorróidas; método para criar diamantes, a partir do aquecimento de grafite; sapatos pneumáticos, contendo balões semi-inflados; uma sub-meia ("*Baird undersock*"), para aliviar pés frios, contendo uma camada de algodão e usada sob a meia; - o *Phonovision*, um processo para gravar o sinal de televisão em discos fonográficos; - o *Noctvision*, um sistema de TV utilizando luz infra-vermelho, ao invés de luz visível, o que permitia transmitir imagens à noite, ou no escuro, com grande interesse militar (Figura 100). Nesse sistema, usava como fonte de luz, uma lâmpada coberta com ebonite para bloquear a radiação visível. Suas fotocélulas eram sensíveis à luz visível e também ao infra-vermelho.

Na Austrália, os prêmios televisivos distribuídos anualmente desde 1959 são denominados "Logies" em homenagem a Baird.



Figura 95 – Baird (Escócia,1888-Inglaterra,1946)



Figura 96- O transmissor de TV eletromecânico



Figura 97- Imagem recebida no receptor

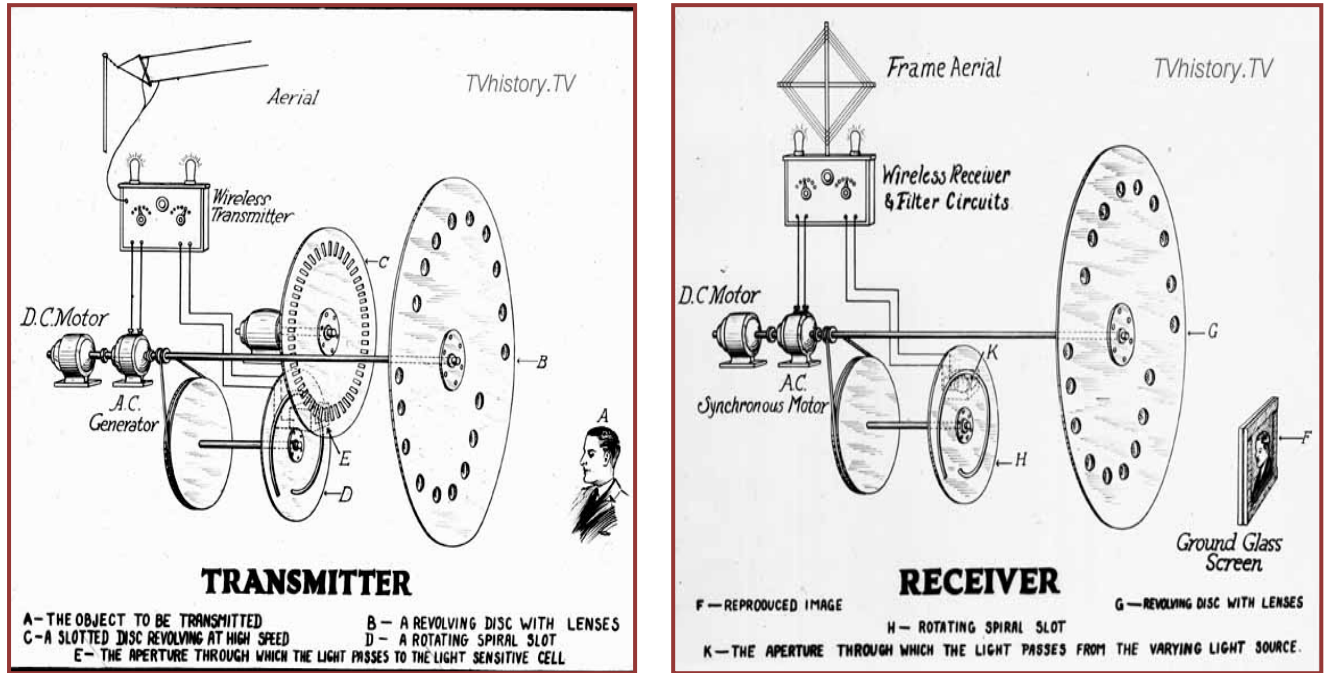


Figura 98- Esquemas do transmissor e receptor da TV eletromecânica

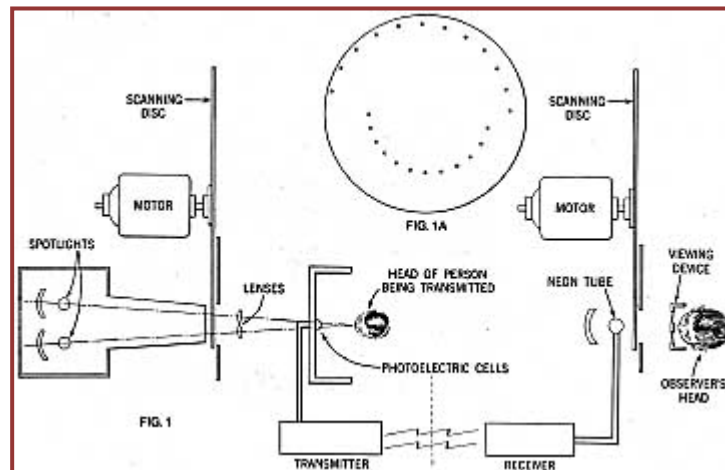


Figura 99- TV estereoscópica



Figura 100- Baird mostra o *Noctvision* a Sir Oliver Lodge (1927) numa demonstração em Leeds, RU

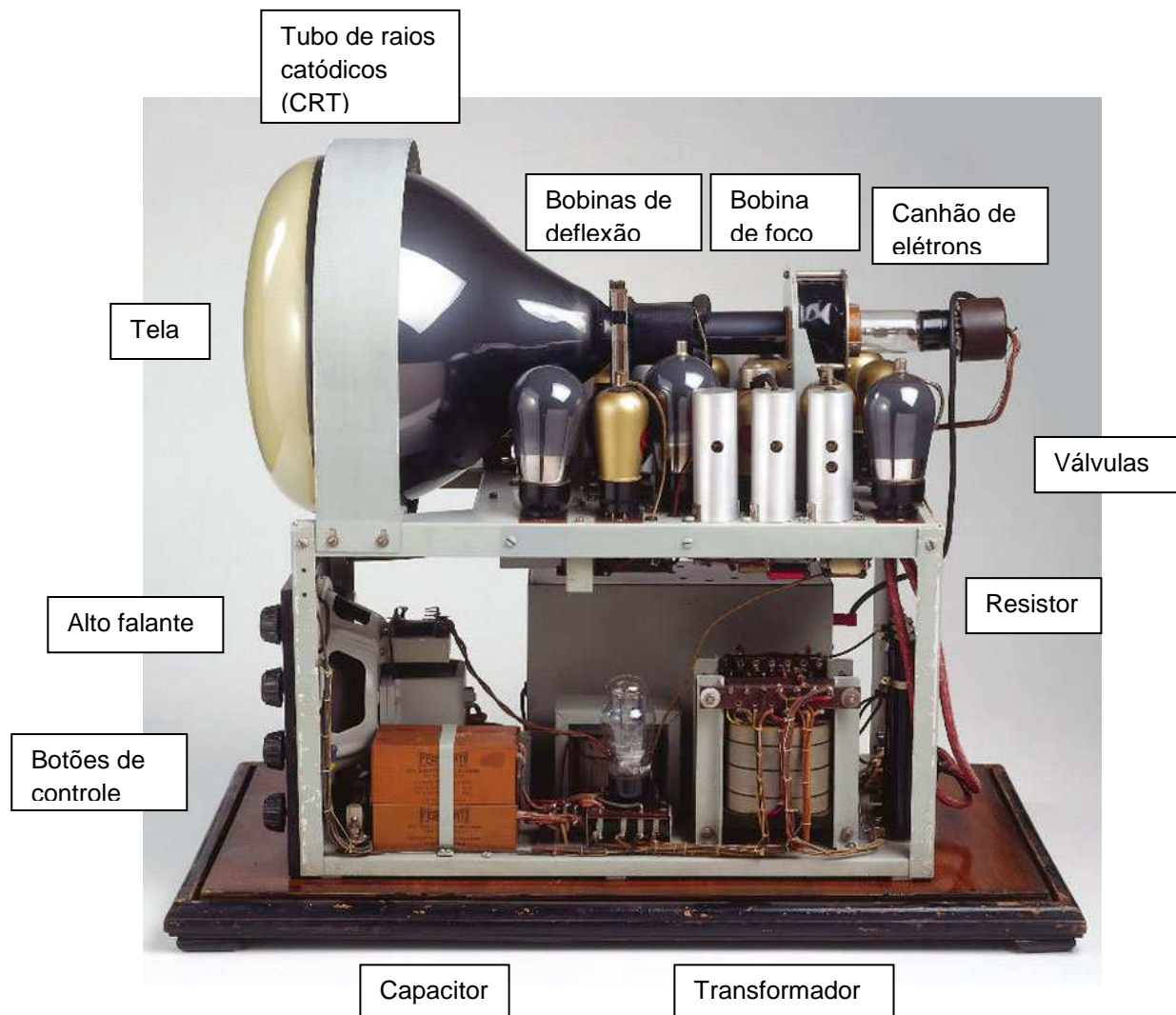


Figura 101 – A TV eletrônica

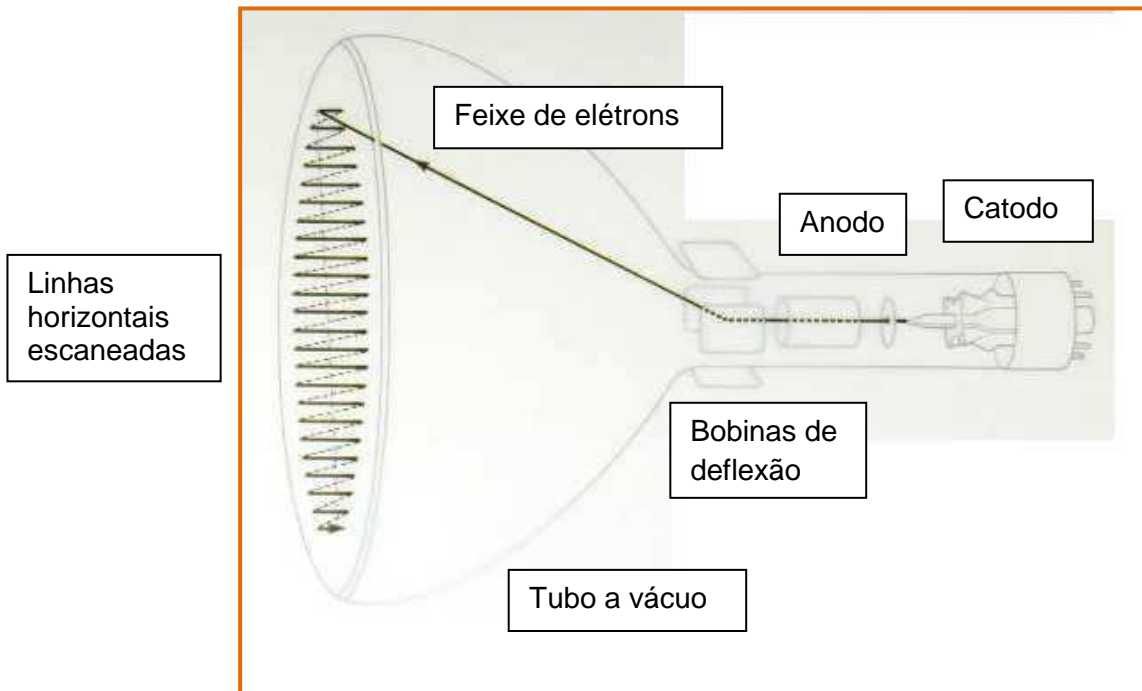


Figura 102- Esquema da TV eletrônica

11-Arthur Clarke

Os sistemas de comunicações modernos, envolvendo transmissões intercontinentais telefônicas, de dados e televisivas não seriam possíveis sem os satélites de comunicação. A ideia desses astros artificiais fabricados para circular ao redor da Terra e prover comunicação entre quaisquer pontos do globo não veio de nenhum famoso cientista, mas de um escritor de ficção científica: o inglês Sir Arthur Charles Clarke (Inglaterra, 1917-Sri Lanka, 2008) (Figura 103). Arthur Clarke serviu durante a 2ª Guerra como especialista de radar na *Royal Air Force* e sempre foi um apaixonado por astronomia. Após a Guerra, formou-se em Física e Matemática no *King's College*, em Londres.

Embora não tenha sido o criador do conceito de satélite geostacionário, na verdade proposto em 1928 pelo engenheiro esloveno Herman Potočnik (1892-1929), Clarke foi o primeiro a propor sua utilização para as comunicações, no artigo "*Extra Terrestrial Relays*" que publicou na revista *Wireless World*, em 1945. A órbita desses satélites é localizada a uma altura de 36.000 km da superfície da Terra, de tal forma que a duração completa da órbita é de exatamente um dia, permanecendo assim "estacionários" com relação ao planeta. Em seu artigo, Clarke imaginou três grandes estações espaciais tripuladas, arranjadas triangularmente (separadas de 120°) ao redor da Terra, de forma a poder cobrir toda sua superfície (Figura 104). Assim, os sinais de rádio poderiam partir de um ponto qualquer em direção a um dos satélites e ser retransmitidos a outro ponto de recepção. Na verdade, os satélites modernos são inúmeros, não-tripulados e com o tamanho similar ao de um automóvel. De

qualquer forma, o artigo de Arthur Clarke foi publicado 12 anos antes de ser lançado o primeiro satélite artificial pelos russos: o Sputnik. Com razão, a órbita geoestacionária é denominada “Órbita de Clarke” e o conjunto de satélites nela situado é denominado “Cinturão de Clarke”, em homenagem a esse visionário. Uma desvantagem desses satélites é o efeito de retardo (de cerca de 0,5s) que produzem nos sinais de comunicação, devido à grande distância da superfície do globo.

O primeiro satélite geoestacionário foi o *Syncom 2*, lançado pela NASA em 1963 (Figura 105). Foi utilizado para realizar a primeira chamada telefônica por satélite. Com o *Syncom 3*, lançado em 1964, iniciou-se a difusão global de televisão. Atualmente as comunicações por satélite complementam as redes terrestres por microondas e fibra óptica e são essenciais para locais de área extensa e pouco populados, onde a instalação de infra-estrutura terrestre de comunicações é impossível ou prejudicada.

Arthur Clarke deixou uma extensa obra de ficção científica, bem como vários livros de contos e não-ficção. Sua obra mais conhecida é “2001 Uma Odisséia no Espaço”, que foi transformada em filme pelo diretor Stanley Kubrick em 1968. Em 1956, Clarke mudou-se para Sri Lanka, por ser um apaixonado por mergulho e lá viveu até sua morte.



Figura 103- Arthur Clarke (Inglaterra,1917-Sri Lanka,2008)

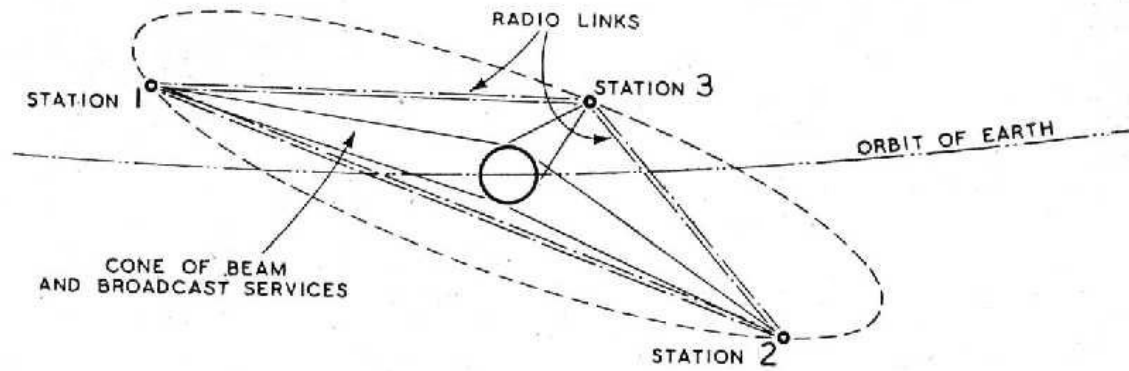


Figura 104- Desenho original de Arthur Clarke propondo o posicionamento dos três satélites



Figura 105- SYNCOM, O primeiro satélite geostacionário (NASA, 1963)

12- Fourier e Shannon

Jean Baptiste Joseph Fourier (França, 1768-1830) (Figura 106), grande matemático francês, atuou como conselheiro científico de Napoleão Bonaparte durante a invasão do Egito, em 1798. Foi nesta época, nos desertos egípcios, que Fourier se interessou pelo fenômeno de condução do calor. Ao voltar para a França, em 1801, passou a estudá-lo com afinco. Finalmente, em 1822 publica sua grande obra neste tema, denominada *“Théorie analytique de la chaleur”*, em que determina a equação diferencial parcial que governa a

difusão de calor nos corpos e a resolve através de séries infinitas de funções trigonométricas. Neste trabalho, Fourier formulou sua ousada proposta de que qualquer função matemática, contínua ou descontínua, poderia ser representada por séries de senos e cossenos que passaram a ser conhecidas como *séries de Fourier* (Figura 108). Essa proposta foi criticada e desacreditada durante algum tempo pelos matemáticos da época, até que, em 1828, o matemático alemão Johan P.G.L. Dirichlet (1805-1859) estabeleceu as condições de convergência destas séries. Nunca imaginaria Fourier e a sociedade científica daquela época que esta formalização matemática seria a base para o cálculo do espectro de sinais de comunicação e de tudo o que se faz atualmente em termos de processamento digital de sinais (*DSP – Digital Signal Processing*), além de outras inúmeras aplicações em ciência e tecnologia. As séries de Fourier evoluíram para o conceito da *Transformada de Fourier* (ferramenta matemática através da qual se realiza a análise espectral de um sinal, ou seja, obtém-se a descrição do seu conteúdo em frequência a partir de sua descrição temporal) (Figura 109) e mais recentemente, com a tecnologia digital, para a *Transformada Discreta de Fourier (TDF)*, ao serem aplicadas a sinais de tempo discreto.

Em paralelo à sua carreira científica, onde deixou esta e outras contribuições significativas, Fourier desenvolveu várias atividades políticas, desde a época da Revolução Francesa, durante todo o império de Napoleão, até o retorno dos Bourbons: foi governador do Baixo Egito, prefeito de Isère (cidade na França), secretário da Academia Francesa de Ciências. Dizem que nos seus últimos anos, Fourier tornou-se um pouco excêntrico e obcecado pela ideia dos efeitos benéficos do calor para cura e longevidade: vivia enfaixado como uma múmia egípcia em seu apartamento super-aquecido e sem ventilação em Paris, ritual que não resolveu muito, pois morreu de aneurisma no coração, com 62 anos. Curiosamente, técnicas altamente sofisticadas de espectroscopia baseadas na *Análise de Fourier* são atualmente realizadas para estudo de múmias diversas, com vários objetivos.

O matemático e engenheiro eletricitista norte-americano Claude Elwood Shannon (EUA,1916-2001) (Figura 107), considerado o pai da Teoria da Informação e das Comunicações Digitais, publicou seu artigo principal sobre este tema em 1948: “*A Mathematical Theory of Communications*”, no *Bell System Technical Journal*. Nesse trabalho, ele estabeleceu a terminologia e os conceitos fundamentais que regem os sistemas desenvolvidos nesta área até hoje: compressão, criptografia e correção de dados digitais, utilizando uma base estatística rigorosa. No início desse artigo, Shannon explica que “o problema fundamental da comunicação é o de reproduzir em um ponto, exatamente ou aproximadamente a mensagem que foi enviada de outro ponto”. Na verdade esse trabalho quantificou e unificou tudo sobre as comunicações, que já existiam nas mais variadas formas e tecnologias: telégrafo, telefone, televisão, dados, transmitidos por cabos, fios, fibras ópticas ou rádio.

Nessa época, Shannon já trabalhava no *Bell Labs*, após ter feito seu Mestrado e Doutorado no MIT. Em 1937, durante o trabalho de Mestrado, Shannon percebeu que a teoria do matemático inglês George Boole (1815-1864), hoje conhecida como álgebra booleana, poderia ser aplicada para simplificar o arranjo dos relés eletromecânicos usados nas redes telefônicas, e que o contrário também era possível: utilizar os relés para resolver problemas de álgebra. De maneira simplificada, os bits 1 e 0 de informação da álgebra booleana corresponderiam a chaves abertas ou fechadas nos circuitos elétricos (Figura 110). Sua dissertação de Mestrado foi considerada como a mais famosa e mais importante do século XX, tendo formado a base dos projetos de circuitos digitais. Em seu trabalho de Doutorado, Shannon aplicou seu rigor matemático para a solução de problemas de genética, resultando na tese: "Álgebra para Genética Teórica". Após sua atuação na 2ª Guerra Mundial, desvendando códigos das mensagens inimigas alemãs, Shannon publicou o artigo "*Communication Theory of Secrecy Systems*", em 1949, considerado como o trabalho que transformou a criptografia de arte para ciência. O Teorema da Amostragem, proposto neste mesmo ano no artigo "*Communication in the presence of noise*", estabelece a condição, atualmente bem conhecida, para que um sinal analógico amostrado possa ser recomposto: a amostragem deverá ser realizada a uma frequência f_s que seja maior que o dobro da maior componente espectral do sinal. Muitas vezes este limite é denominado como a taxa de Nyquist (e $f_s/2$ como a frequência de Nyquist ou frequência crítica) pois Shannon formulou seu teorema desenvolvendo a observação que Harry Nyquist (1889-1976) havia feito num trabalho de 1928. Neste trabalho, Nyquist concluiu que o número de pulsos independentes que poderia ser enviado num canal telegráfico por unidade de tempo estava limitado ao dobro da banda do canal.

Deve-se notar que, apesar dos problemas associados aos processos de amostragem dos sinais analógicos para transformá-los em sinais digitais, Shannon mostrou que a forma do sinal afeta a precisão na recepção de sinais de comunicação: sinais analógicos (contínuos) apresentam várias formas de onda, que devem ser diferenciadas do ruído. Já os sinais digitais (binários) possuem formas de onda bem definidas, e na recepção, deve-se decidir apenas se o pulso é presente ou ausente, o que garante uma acurácia maior dos sistemas de comunicação digitais.

Além de seus interesses acadêmicos, o professor do MIT era um apaixonado por malabarismo, jogos e xadrez. Desenvolveu várias máquinas relacionadas a estes *hobbies*, empregando técnicas de inteligência artificial (discos *Frisbee* com motor de foguete, máquina de ler a mente, rato eletromecânico que atravessava um labirinto reconfigurável (Figura 111), computador que jogava xadrez, entre outros). Nos laboratórios Bell, ele costumava percorrer os corredores dirigindo um monociclo, ao mesmo tempo em que fazia malabarismos com três bolas.

Shannon recebeu inúmeros títulos e prêmios, em várias partes do mundo, tendo sido o grande responsável pela chamada “revolução digital” nas comunicações. Em 1985, quando ele e sua esposa decidiram espontaneamente visitar o local onde estava ocorrendo o “Simpósio Internacional de Teoria da Informação”, na Inglaterra, muitas pessoas notaram sua presença, e ao reconhecê-lo, a reação dos participantes foi descrita como a que teriam os físicos, se Isaac Newton aparecesse em uma de suas conferências. Infelizmente, Shannon pouco pode aproveitar dos frutos desta revolução que provocou, pois desde o início da década de 90 o gênio sofreu com a doença de Alzheimer e seus terríveis efeitos degenerativos.



Figura 106- Fourier
(França, 1768-1830)

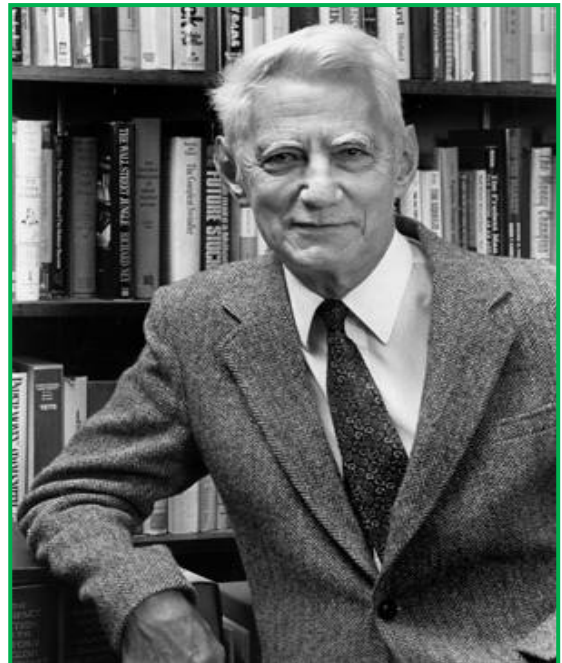


Figura 107- Shannon
(EUA, 1916-2001)

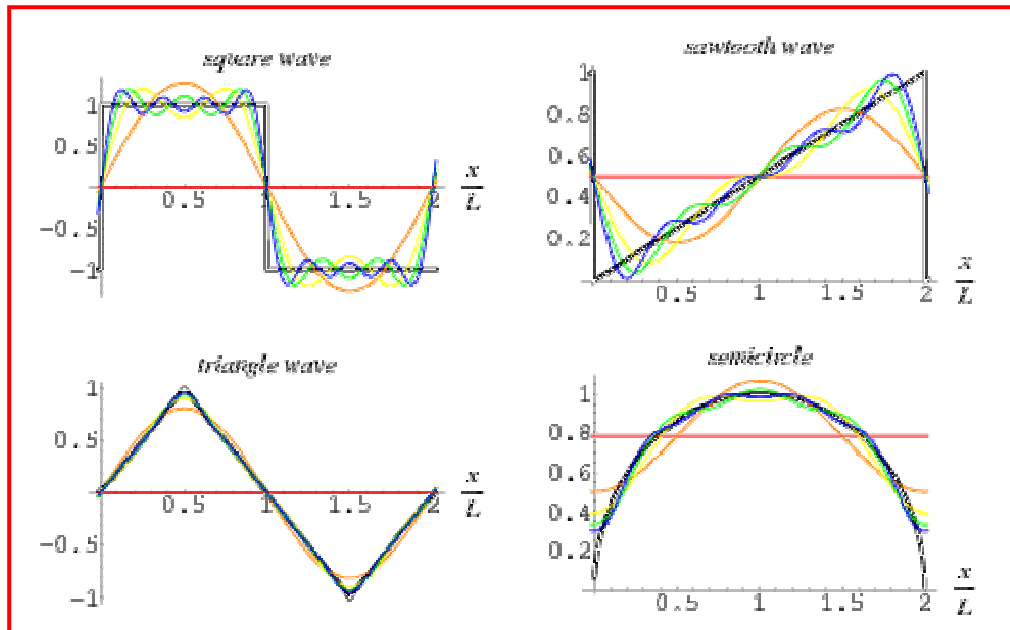


Figura 108- A decomposição de sinais com as séries de Fourier

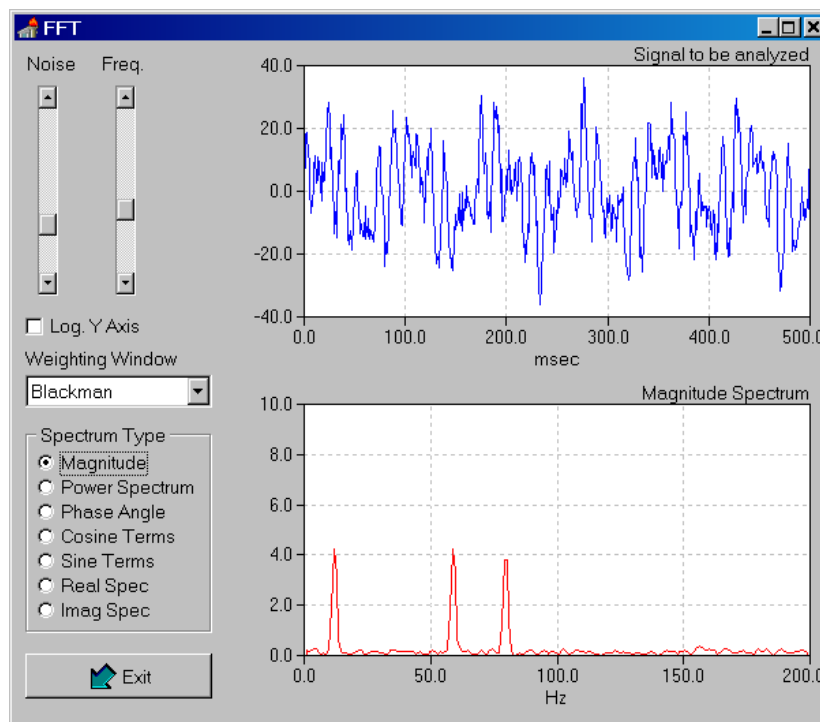


Figura 109- Análise espectral de sinais

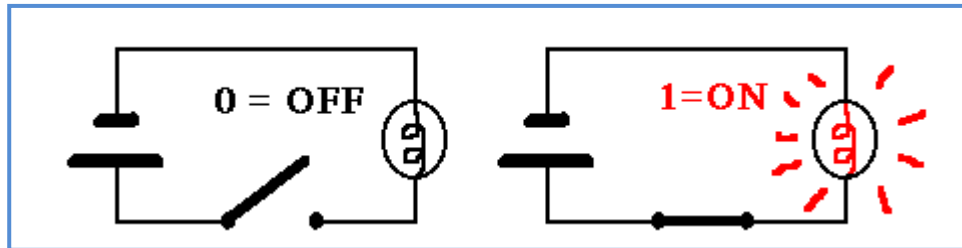


Figura 110 – Álgebra booleana e circuitos eletrônicos



Figura 111 – Shannon e seu labirinto reconfigurável

13-Conclusões

O destino dos humanos neste mundo parece ser uma infindável tentativa em descobri-lo e tentar entendê-lo. Nossas descobertas e invenções ocorrem de forma sequencial, combinatória e às vezes de forma independente por mais de uma pessoa. O desenvolvimento “natural” de nosso conhecimento, fomentado através do trabalho e inteligência de muitos, é às vezes acelerado pela genialidade de alguns e pela sorte de outros, já que algumas descobertas são total obra do acaso, fenômeno este denominado de serendipidade. Notamos também que a evolução da ciência e da tecnologia é muito afetada por fatores humanos, comuns à vida de qualquer pessoa: arrecadação de recursos, influências políticas, disputa de patentes, vaidades, ambições, doenças e infelicidades pessoais.

Esperamos que este relato sobre alguns personagens e fatos da história da Engenharia de Comunicações tenha demonstrado que, se quisermos entender de forma profunda e consistente a Ciência em si, é preciso conhecer a História da Ciência. Ao chegarmos a essa conclusão, observamos que o sistema de educação vigente, em geral pode ser falho, uma vez que apresenta aos alunos, de forma estanque, o estágio atual do conhecimento humano, sem qualquer vínculo com sua evolução. As consequências disso são provocar um truncamento da evolução das ideias e uma inibição no aluno em contestar “verdades” que são apresentadas como absolutas, por representar o conhecimento que é aceito no momento atual. Em particular nos cursos de Engenharia, as ementas são elaboradas mais com a preocupação em fazer com que os alunos aprendam inúmeras técnicas operacionais que os possibilitem a cumprir quase que roboticamente suas tarefas profissionais, do que em ajudá-los a percorrer as etapas de raciocínio que levaram os seres humanos a cada invenção ou nova tecnologia. É claro que não devemos tentar re-inventar a roda ou ignorar toda a evolução do conhecimento humano até a época em que vivemos. Mas, se quisermos ser engenheiros e seres humanos criativos, capazes de deixar nossa contribuição nesta maravilhosa história de inimaginável desenvolvimento tecnológico, se quisermos entender com clareza um fenômeno ou uma invenção, resolver um problema ou realizar um projeto de novas invenções, devemos passar pelas fases de dúvidas, curiosidade, interesse, investigação, esforço, descobrimentos e raciocínios pelos quais passaram estes grandes personagens e a humanidade em geral. De todas as formas, nossa tarefa já estará de antemão facilitada pelas trilhas já abertas e pela significativa herança que deles recebemos.

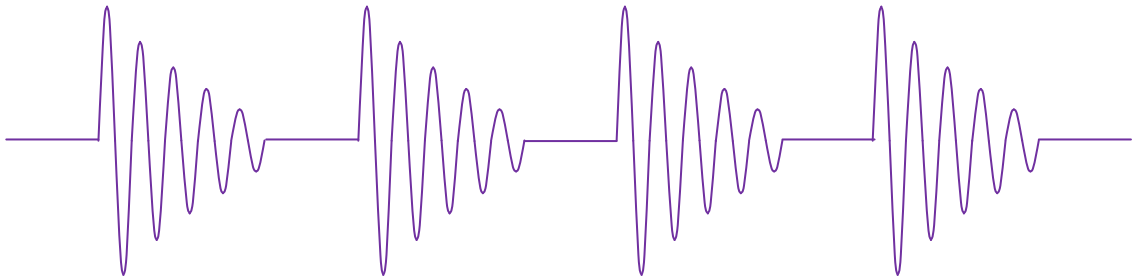


Figura 115 – Sinal produzido por Hertz

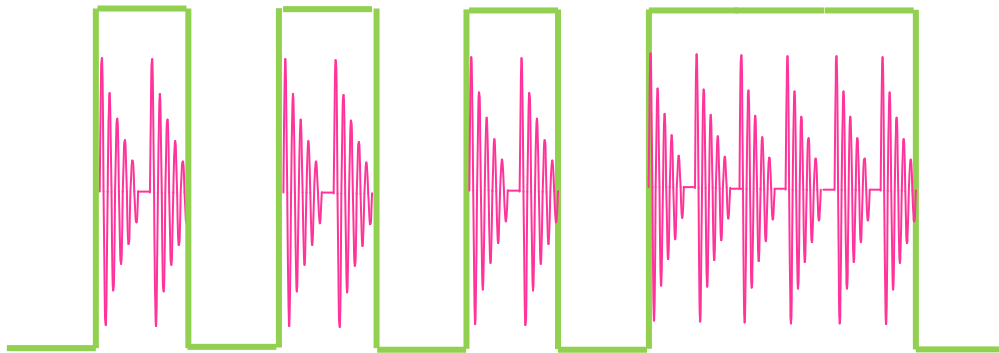


Figura 116 – Telégrafo sem fio - Código Morse e senóides amortecidas produzidas pelo circuito RLC da antena, energizado através da bobina de indução e conectado devido às faíscas.

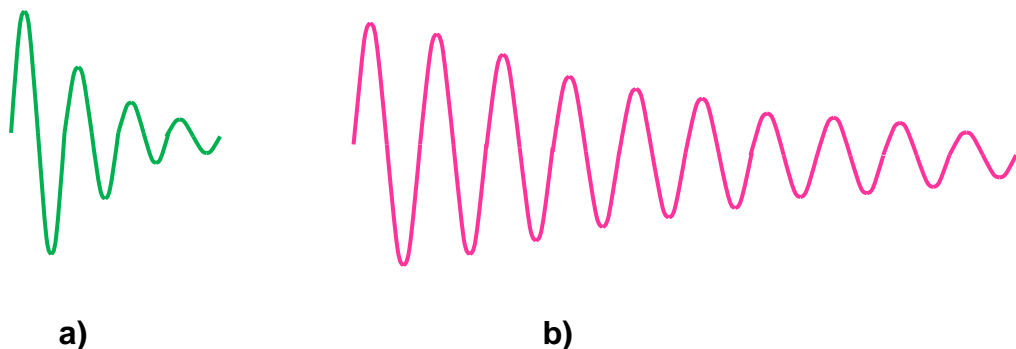
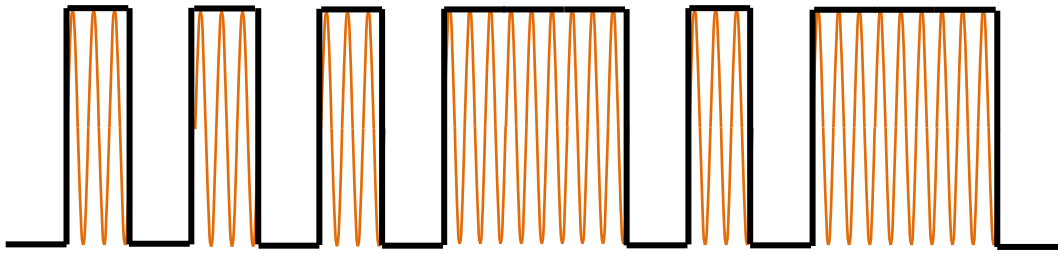
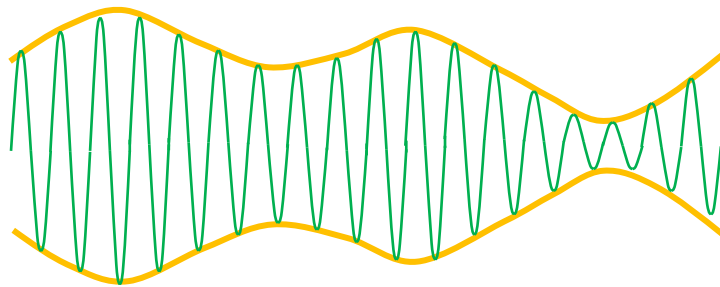


Figura 117 – a) Sinal produzido quando a faísca é gerada no secundário (em série com a antena); b) Sinal produzido quando a faísca é gerada no primário (em paralelo com a antena)



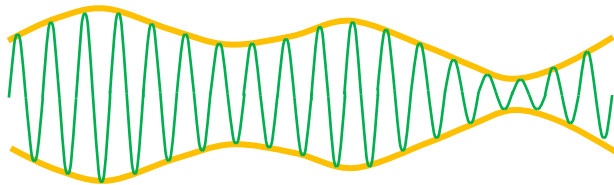
a)



b)

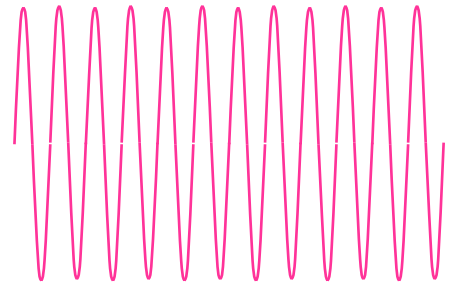
Figura 118 – Sinais de Fessenden

a) Código Morse e sinal CW; b) Sinal de áudio e portadora CW



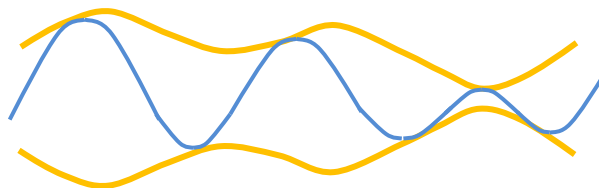
a)

X



b)

=



c)

Figura 119 – Recuperação do sinal de áudio pelo conversor heteródino:

a) sinal modulado em AM; b) oscilador local; c) sinal detectado

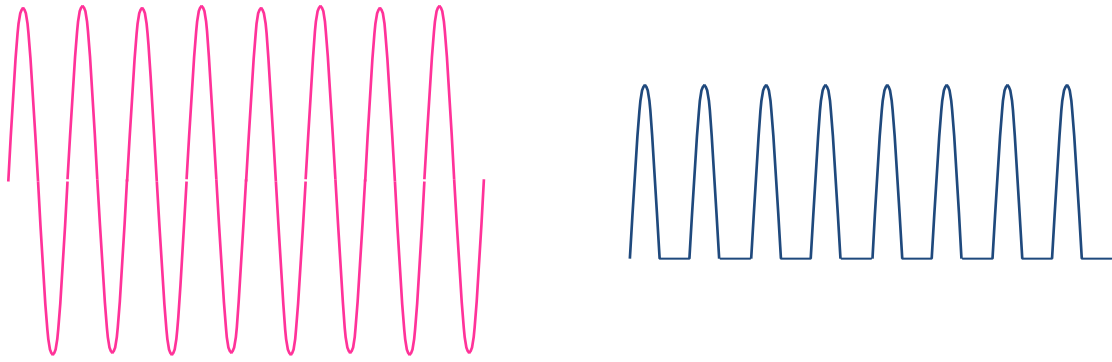


Figura 120 – Retificação do sinal oscilatório e produção de sinal com valor médio não nulo para detecção

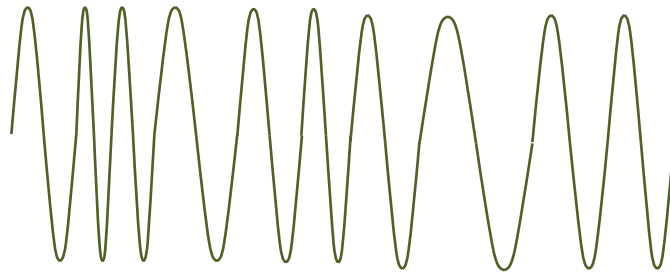


Figura 121- Portadora modulada em FM por sinal de áudio

15-Frases Fantásticas

- “If I have seen further...it is by standing upon the shoulders of giants” (Newton, 1675)
- “Progress results from discovery followed by invention” (Henry)
- “Why should I refuse a good dinner simply because I don't understand the digestive processes involved?” (Heaviside)
- “What hath God wrought?” (Morse, 1844)
- “Mr. Watson, come here. I want you” (Bell, 1876)
- “Santo Deus! Isto fala...” (D.Pedro II, 1876)
- “It is of no use whatsoever...this is just an experiment that proves Maestro Maxwell was right – we just have these mysterious EM waves that we can not see with the naked eye. But they are there.” (Hertz)
- “The pleasure of research begins when one is alone with Nature and no longer worries about human opinions, views and demands” (Hertz)
- “Can you hear anything, Mr. Kemp?” (Marconi, 1901)
- "The present is theirs; the future, for which I really work , is mine." (Tesla)
- “I am yesterday and I know tomorrow” (frase escrita em hieróglifos egípcios na lápide de Fessenden)
- I just wondered how things were put together." (Shannon)
- “Perhaps the greatest discovery of Faraday’s long career of scientific research was that of electromagnetic induction in the year 1831...The development of electromagnetic induction has practically created Electrical Engineering.” (Kenelly)
- “Maxwell’s equations - a whole universe of electromagnetic phenomena, miraculously contained in a few lines of elegant mathematics” (Ivan Tolstoy)
- “I never try to dissuade a man from trying an experiment: if he does not find what he wants he may find out something else.” (Maxwell)
- “To the electron - may it never be of any use to anybody!” (J.J.Thomson)
- “One cannot escape the feeling that these mathematical formulae have an independent existence and an intelligence of their own, that they are wiser than we are, wiser even than their discoverers, that we get more out of them than we originally put in to them.” (Hertz)

16-Bibliografia

- G.R.M. Garrat, *The early history of radio*, IEE, 1994.
- J.D.Ryder, D.G. Fink, *Engineers & Electrons*, IEEE, 1984.
- J.F. Keithley, *The story of electrical and magnetic measurements*, IEEE, 1999.
- T.K. Sarkar, et alli, *History of Wireless*, Wiley-Interscience, 2006.
- S.Parker, *Electricity*, Dorling Kindersley, 1992.
- R.Bridgman, *Electronics*, Dorling Kindersley, 1993.
- T.H.Lee, *The design of CMOS radio-frequency integrated circuits*, Cambridge, 1998.
- P.J.E.Jeszensky, *Sistemas Telefônicos*, Ed. Manole, 2004.
- H. Almeida, *Padre Landell de Moura, um Herói sem Glória*, Ed. Record, Brasil, 2006.
- EBU Technical Review, *Six great pioneers of wireless*, Spring 1995, No. 263, pp.82-96.
- J.C.Ratio, *Maxwell's Legacy*, IEEE Microwave Magazine, June 2005, pp.46-53.
- P.J. Nahin, *Oliver Heaviside*, Scientific American, June 1990, pp.80-87
- Valadares, E.C., *Ciência Hoje*, vol. 28, No. 168, 2001, pp.70-73.
- E.M. Guizzo, *The Essential Message: Claude Shannon and the making of Information Theory*, MIT, MSc dissertation, 2003.
- F.F.de Souza Cruz, *Faraday e Maxwell – Luz sobre os campos*, Coleção Imortais da Ciência, Odysseus Editora Ltda., São Paulo, 2005.
- H. Camenzind, *Much ado about almost nothing- Man's encounter with electron*, BookLocker.com, 2007.
- P.J.Nahin, *The Science of Radio*, Springer-Verlag, New York, 2nd. Edition, 2001.
- F.J.Dyson, *Why is Maxwell's Theory so hard to understand*, 2nd European Conference on Antennas and propagation, 2007.
- J.C. Maxwell, *The Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*, Edited by T.F. Torrance, Wipf and Stock Publishers, Oregon, 1996.
- N. Forbes, B. Mahon; *Faraday, Maxwell, and the Electromagnetic Field: How two men revolutionized Physics*. Prometheus Books, New York, 2019.
- <http://en.wikipedia.org/>
- www.ifi.unicamp.br/
- <http://www.ieee-virtual-museum.org/>
- www.scienceandsociety.co.uk/
- www.cedmagic.com/history/
- muse.jhu.edu/
- <http://www.rigb.org/>
- www.beardsleetelegraph.org/
- dibinst.mit.edu/
- bnrg.eecs.berkeley.edu/
- www.umsl.edu/
- www.garibaldimeuccimuseum.org/
- <http://www.privateline.com/TelephoneHistory/>

- <http://www.fcc.gov/omd/history/>
- chem.ch.huji.ac.il/
- www.brswebsite.freemove.co.uk
- www.mhs.ox.ac.uk/
- www.tvhistory.tv/
- www.sparkmuseum.com/
- <http://www.antiquewireless.org/otb/marconi1901.htm>
- <http://www.tesla-museum.org/>
- <http://www.pbs.org/tesla/ll/index.html>
- <http://www.fessenden.ca/>
- <http://www.leedeforest.org/>
- <http://www.columbia.edu/cu/alumni/Magazine/Spring2002/Armstrong.html>
- http://www.geocities.com/neveyaakov/electro_science/armstrong.html
- <http://www.bairdtelevision.com/>
- <http://www.teletronic.co.uk/bairdintro.htm>
- <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/satcomhistory.html>
- http://www.todayinsci.com/F/Fourier_JBJ/FourierPoliticianScientistBio.htm
- https://www.youtube.com/watch?v=-CMJ4dZ_ISA
- <https://www.youtube.com/watch?v=aU0zD6nk9Mg>

17-Agradecimentos

Agradeço ao amigo e sempre incentivador Prof. José Roberto Cardoso (EPUSP) pelo convite para preparar e apresentar esta palestra em 2006, na Escola Politécnica, no evento denominado “Momento Magnético”, através do qual se comemorou os 175 anos da História da Engenharia Elétrica, pela publicação da Lei de Indução Eletromagnética de Faraday e nascimento de Maxwell, ambos eventos ocorridos no ano de 1831. Tanto a preparação da palestra quanto a deste texto me proporcionaram meses de intenso e prazeroso trabalho, e desenvolveram uma grande vontade de continuá-lo para sempre.

Ao amigo e colega Prof. Clóvis Goldemberg, agradeço por comungar o entusiasmo pela História da Engenharia, e compartilhar informações valiosas. Ao ex-aluno e recente colega Prof. Magno Teófilo Madeira da Silva sou grata pela minuciosa revisão do manuscrito.

Meus sinceros agradecimentos também ao Prof. José Edimar Barbosa Oliveira (ITA), à Profa. Elenice B. Consonni (UNESP) e à Profa. Elizabete Galleazo (EPUSP) que generosamente me auxiliaram com material de pesquisa e técnicas úteis para a preparação deste trabalho.

Esta palestra foi apresentada no ano de 2007, aos alunos da Fac-FITO, Faculdade de Ciências da Fundação Instituto Tecnológico de Osasco, Osasco, SP, e aos alunos da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP, São Paulo, SP, durante a “6ª Semana de Ciências Exatas e Tecnologia integrada à 4ª Semana Acadêmica”. Em 2008, a palestra foi apresentada a alunos de pós-graduação e de graduação da UFABC, Universidade Federal do ABC, em Santo André, SP, e também no ITA, Instituto Tecnológico da

Aeronáutica, em São José dos Campos, SP; a alunos e professores da UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. Em 2009, a palestra foi apresentada: no INATEL, Santa Rita do Sapucaí, como evento de comemoração dos 44 anos de sua fundação; na Escola de Engenharia de São Carlos, USP; na Escola Politécnica, USP, como evento da Semana de Arte e Cultura; aos alunos de graduação da UFABC, Universidade Federal do ABC, em Santo André, SP; aos alunos da Fac-FITO, Faculdade de Ciências da Fundação Instituto Tecnológico de Osasco, Osasco, SP; e no ciclo de Seminários Filosóficos na Unicamp. Em 2010, foi apresentada a alunos de graduação da UFABC, Santo André, SP; na Semana de Engenharia Elétrica, na Unicamp, Campinas, SP; e na Faculdade de Tecnologia da Unicamp, Limeira, SP. Em 2011, foi apresentada a alunos e professores da UnB, durante a 10ª Semana do Departamento de Engenharia Elétrica. Em 2013, a palestra foi apresentada na UFABC, durante a 1ª Semana das Engenharias e no ENEEEL2013, VIII Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia Elétrica, em João Pessoa, PB. Em 2018 e 2019, a palestra foi apresentada na Escola Politécnica, USP, como atividade da disciplina “História da Tecnologia”.

O conteúdo desta palestra inspirou e deu origem ao trabalho científico: “*Signals in Communication Engineering History*”, preparado com o querido ex-aluno e colega, Prof. Magno T.M. Silva, e publicado no IEEE Transactions on Education, Vol.53, N.4, Nov. 2010, pp. 621-630.