

História da Engenharia das Comunicações : Personagens e Fatos

Denise Consonni

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas

Universidade Federal do ABC – UFABC

Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos

Escola Politécnica - USP

Constatação

- Para **entender com clareza** um fenômeno ou uma invenção, resolver um problema ou realizar um projeto/ outra invenção: **cada ser humano deve revisar e entender as etapas pelas quais já passou a Humanidade.**
- Entender a **História da Ciência** é entender a própria **Ciência**

Constatação

- **Sistema de Educação** pode ser falho (base: ensino do estágio atual do conhecimento).
 - Há truncamento da evolução das ideias
 - Mostra apenas resultados finais
 - Inibe contestação de “verdades” aceitas
- **Inovação** pode ser a aplicação de antigas soluções a novos problemas!

- Introdução
- 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 / Shannon
- Conclusões

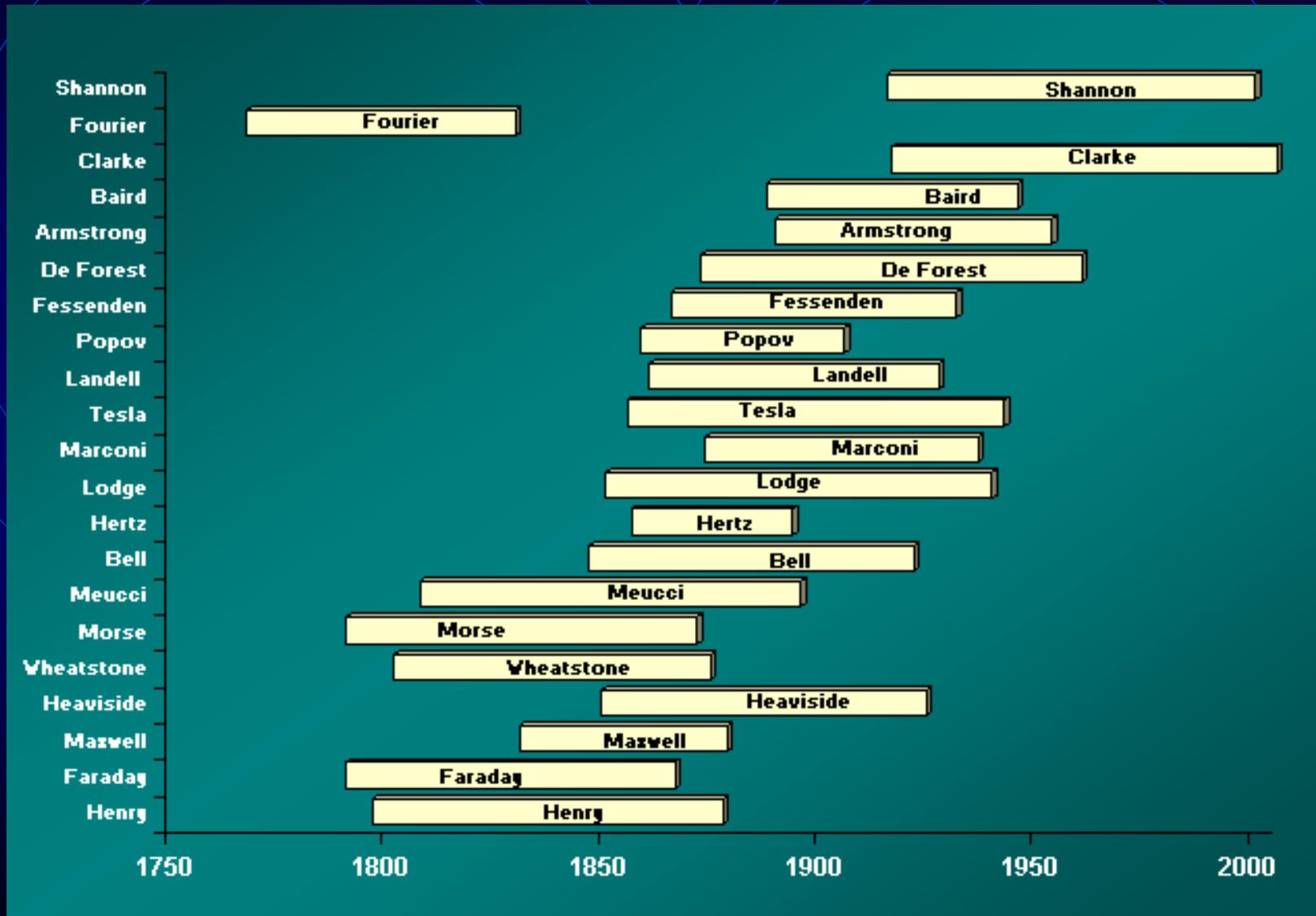
INTRODUÇÃO

- Descobertas e Invenções
- Motivações e Mecanismos
- Indivíduos e Heranças
- Sorte ou suor ?
- Mitos, Mistérios e Fatos
- Quem chegou primeiro ?
- Cotidiano de heróis

Engenharia das Comunicações

- O telégrafo
- O telefone
- Comunicação por fios e cabos
- Comunicação sem fio
- O rádio
- A televisão
- Satélites
- A Engenharia da informação

Linha do Tempo - Personagens



Linha do Tempo - Fatos

1750

1775

1800

1825

1850

1875

1900

1925

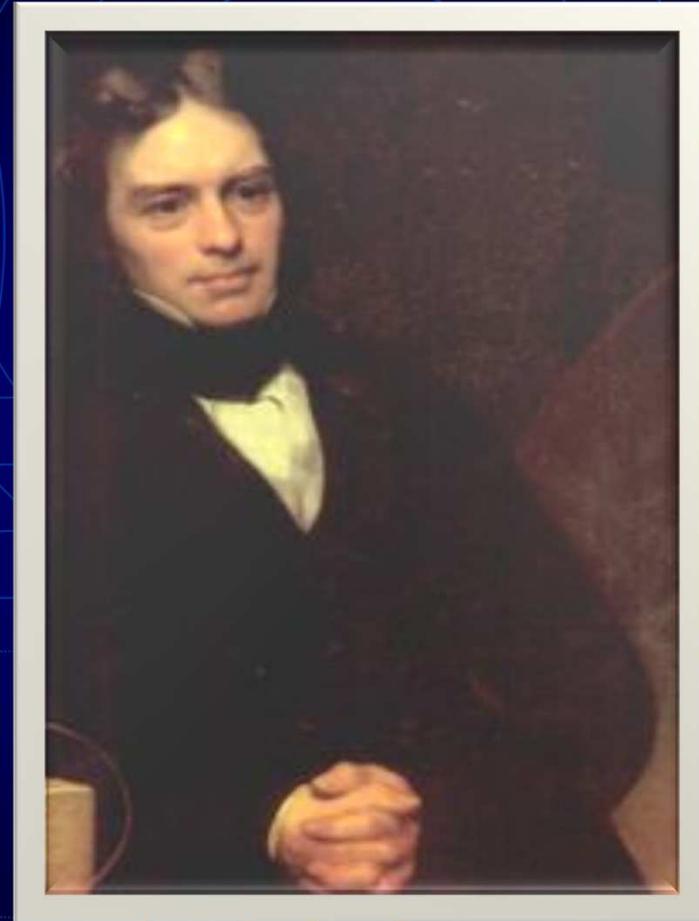
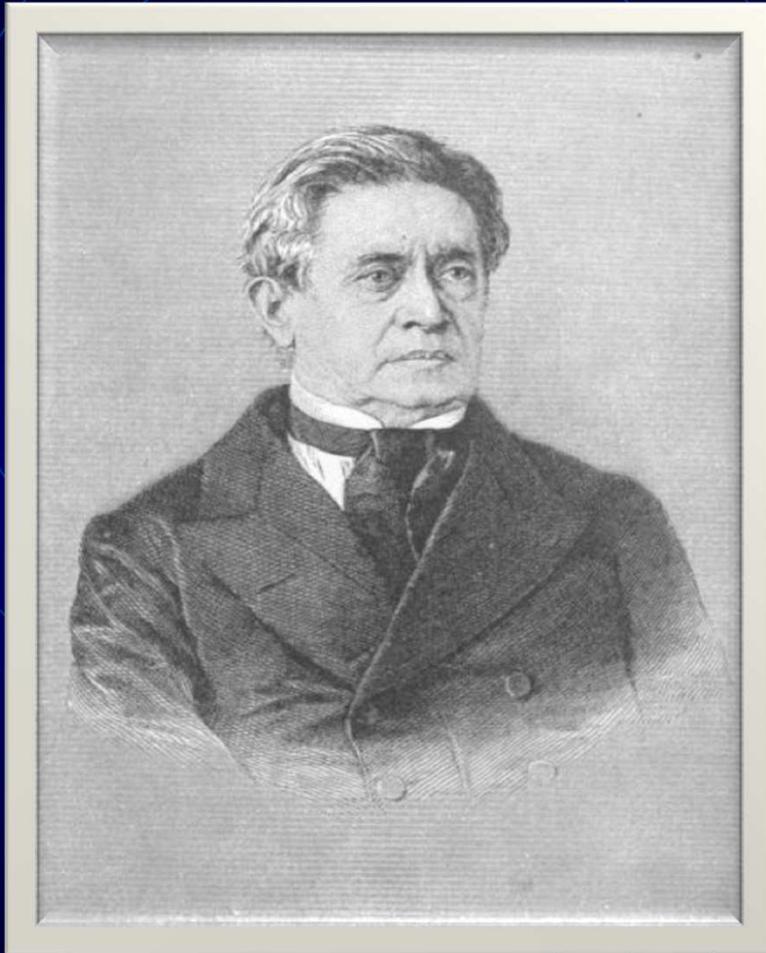
1950

1975

2000

- 1822 - Teoria analítica do calor (Fourier)
- 1831 - Indução eletromagnética
- 1837 - Telégrafo (Wheatstone & Cooke)
- 1844 - Telégrafo (Morse)
- 1850 - Telefone (Meucci)
- 1860 - Linha transcontinental
- 1864 - Teoria eletromagnética (Maxwell)
- 1866 - Cabo Transatlântico
- 1876 - Telefone (Bell)
- 1888 - Comprovação da teoria EM (Hertz)
- 1895 - Comunicação sem fio
- 1897 - Identificação do elétron
- 1901 - Transmissão transatlântica via rádio (Marconi)
- 1904 - Válvula de Fleming
- 1906 - Radiodifusão/Audion
- 1918 - Receptor super - heteródino
- 1925 - Televisão eletromecânica (Baird)
- 1930 - FM
- 1935 - TV elétrica
- 1948 - Teoria da Comunicação (Shannon)
- 1963 - Satélite Síncrono

Joseph Henry (EUA, 1797–1878)



Michael Faraday (Inglaterra, 1791-1867)

Faraday - Heranças

- **Descartes**: ação por contato direto, existência do éter - transmissão da luz, calor e gravidade através de partículas materiais
- **Newton**: ação a distância, instantânea e em linha reta (1687)
- Lei de **Coulomb** (1785), Pilha de **Volta** (1799) Descobertas de **Oersted** (1820) e Trabalho de **Ampère** (1825)
- 10 anos do conhecimento: eletricidade gera magnetismo. **Desconfiança** sobre o efeito contrário...

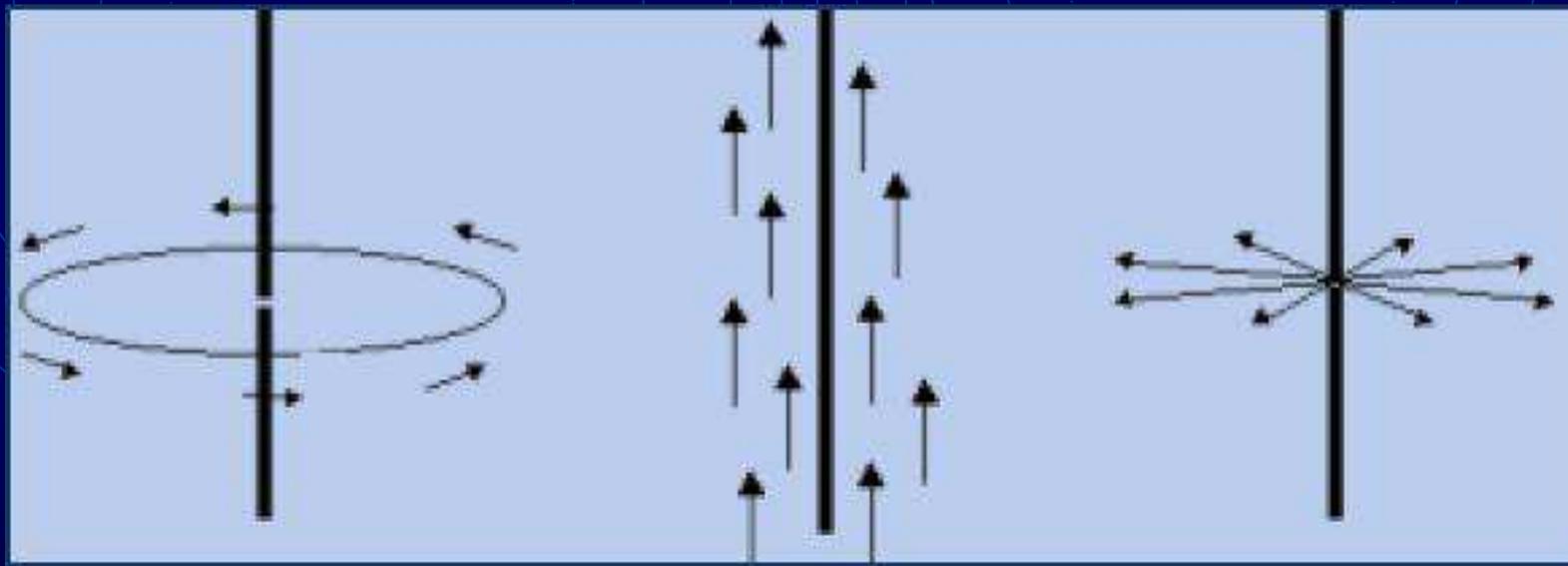
Oersted (1820): A ligação entre a Eletricidade e o Magnetismo



Deflexão da agulha magnética na presença de corrente elétrica

O inesperado efeito circular

Ação em linha reta



longitudinal

radial

Faraday

Mitos e Mistérios

- Hipóteses: um ou dois **fluidos elétricos** ?
- Mistério: **o que era e como era** o magnetismo criado por uma corrente elétrica ?
- Mistério: qual era o **meio de transmissão** da eletricidade e do magnetismo?
- Mito: Forças não poderiam agir no **vácuo** !
- Crença: Forças agiam em **linha reta** !

Faraday

Contribuições

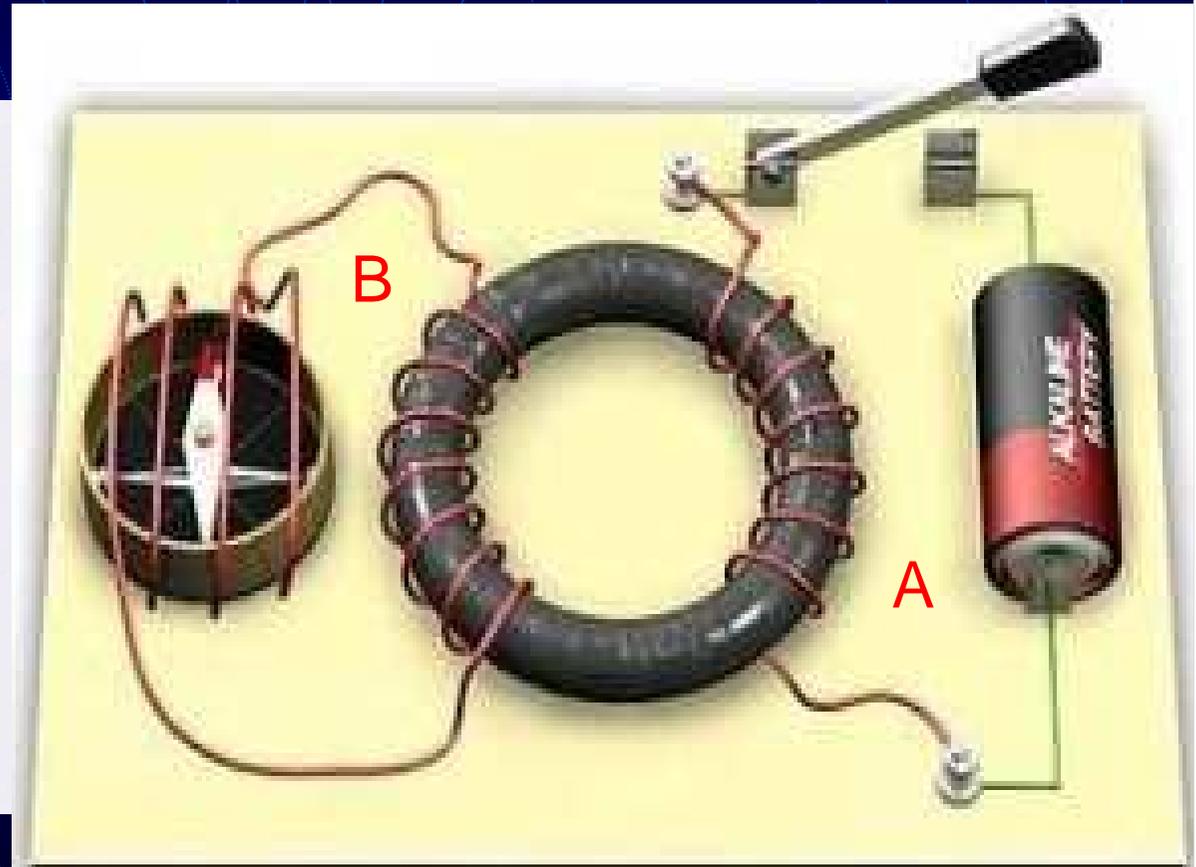
- Estudo completo sobre eletricidade: **estática**, **voltaica**, termoeletricidade, **eletricidade animal**
- Em 30 anos: desenvolvimento do **eletromagnetismo** e da propagação de ondas eletromagnéticas
- Principais ferramentas: **experimentos e intuição**
- Introdução do conceito de “**linhas de força**”: No Magnetismo elas eram **curvas e fechadas** !
- Descoberta da **indução eletromagnética**: **1831**

A descoberta da indução eletromagnética

Bobina B



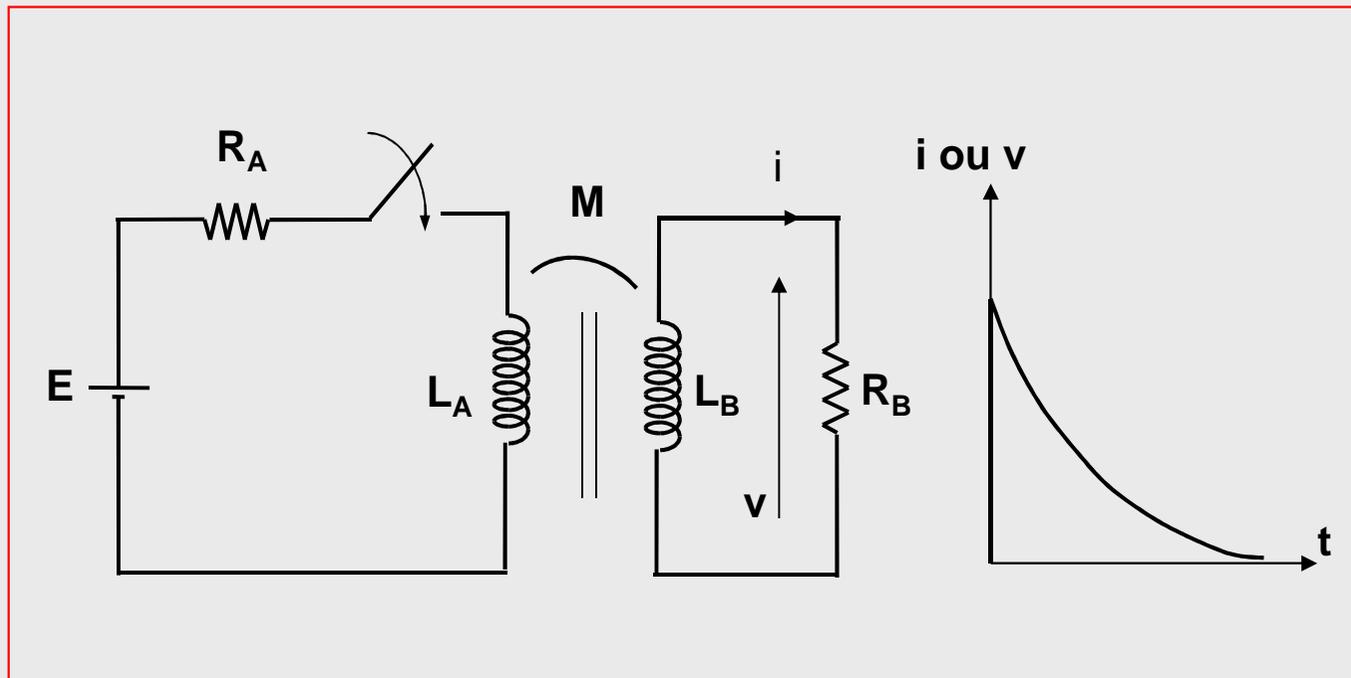
Bobina A



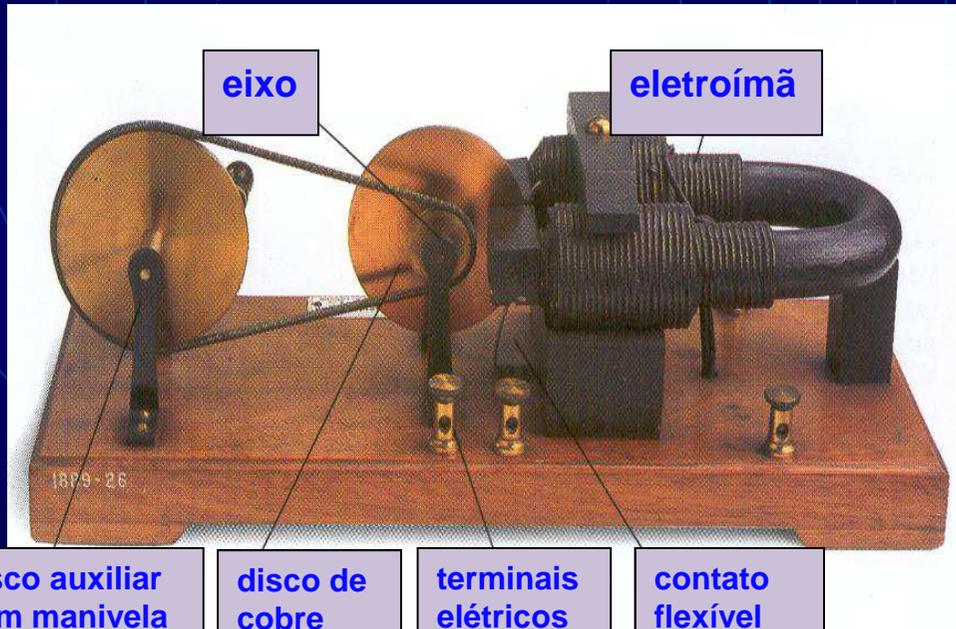
Anel de Faraday
(1831)

Eletricidade é produzida pela
variação do fluxo magnético !

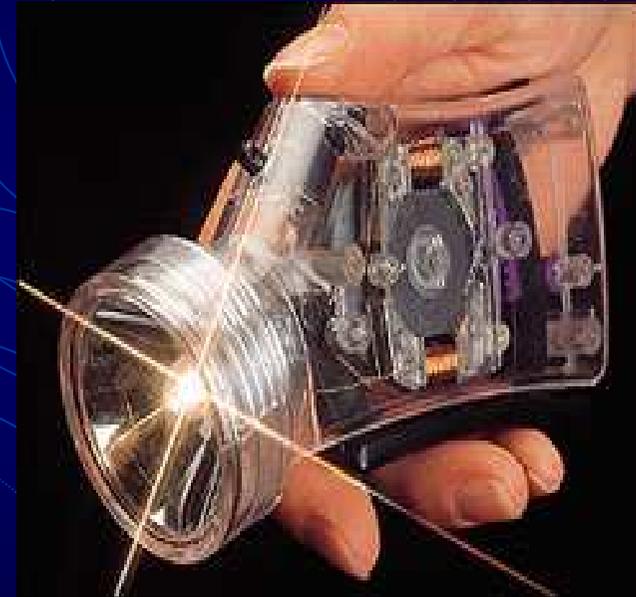
Circuito equivalente - Faraday



O Dínamo (Disco) de Faraday

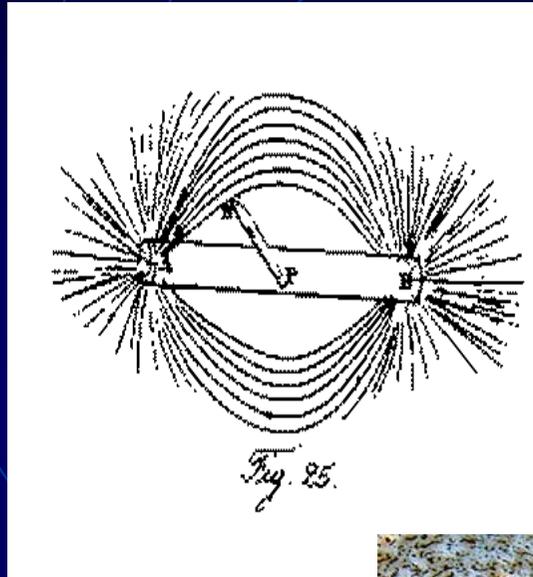


Indução de corrente elétrica a partir do movimento de um disco metálico situado em campo magnético

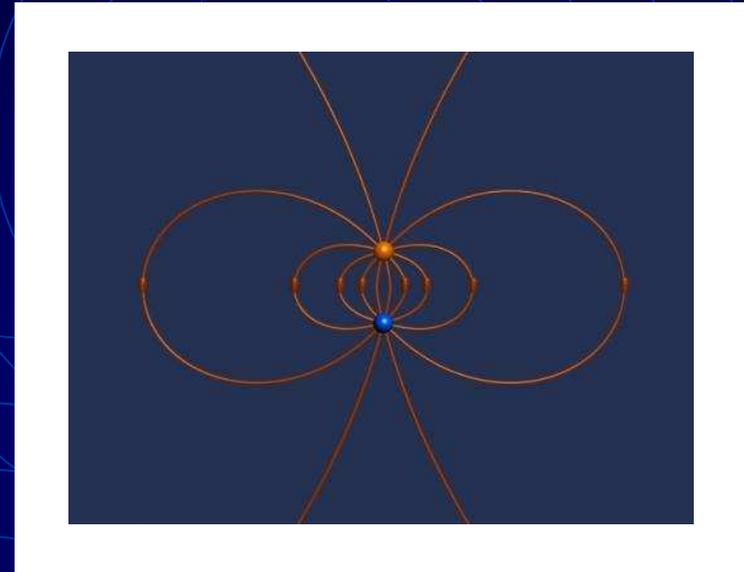


Indução de corrente elétrica na lâmpada, a partir do movimento de um disco magnético situado entre duas bobinas

Faraday - Linhas de Força



Anotações de Faraday
Conceito de linhas de força



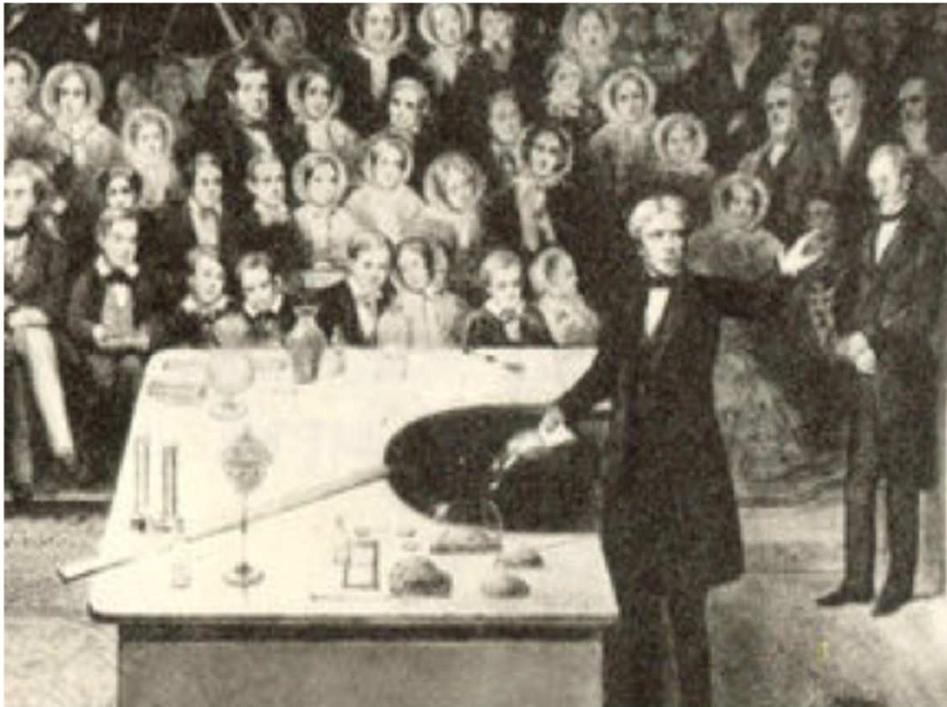
Extensão para linhas de força elétricas



Primeiros diagramas com limalha de ferro

Faraday

Cotidiano de herói



Palestra de Natal – 1856
Royal Institution, Londres
19 palestras, desde 1825

- Origem humilde, auto-didata
- Registro cuidadoso de idéias e observações
- Documento sobre propagação de eletricidade e magnetismo (Royal Society – secreto de 1832 a 1937)
- 1839 a 1844 – pane mental
- Recusou título de Sir e presidência da Royal Society (2x)

Henry

Contribuições

- Melhoria do **eletroimã** (isolação dos fios) e da **bateria** (associações série e paralelo)
- Descoberta da indução eletromagnética (independente de Faraday) (**não publicou !**) e da auto-indução
- Caráter **oscilatório** da descarga de uma garrafa de Leyden em uma bobina, e **efeito a distância** do acoplamento indutivo
- Contribuições importantes no desenvolvimento do **telégrafo** (invenção do relé) e do **telefone**

Bobina de indução de Henry

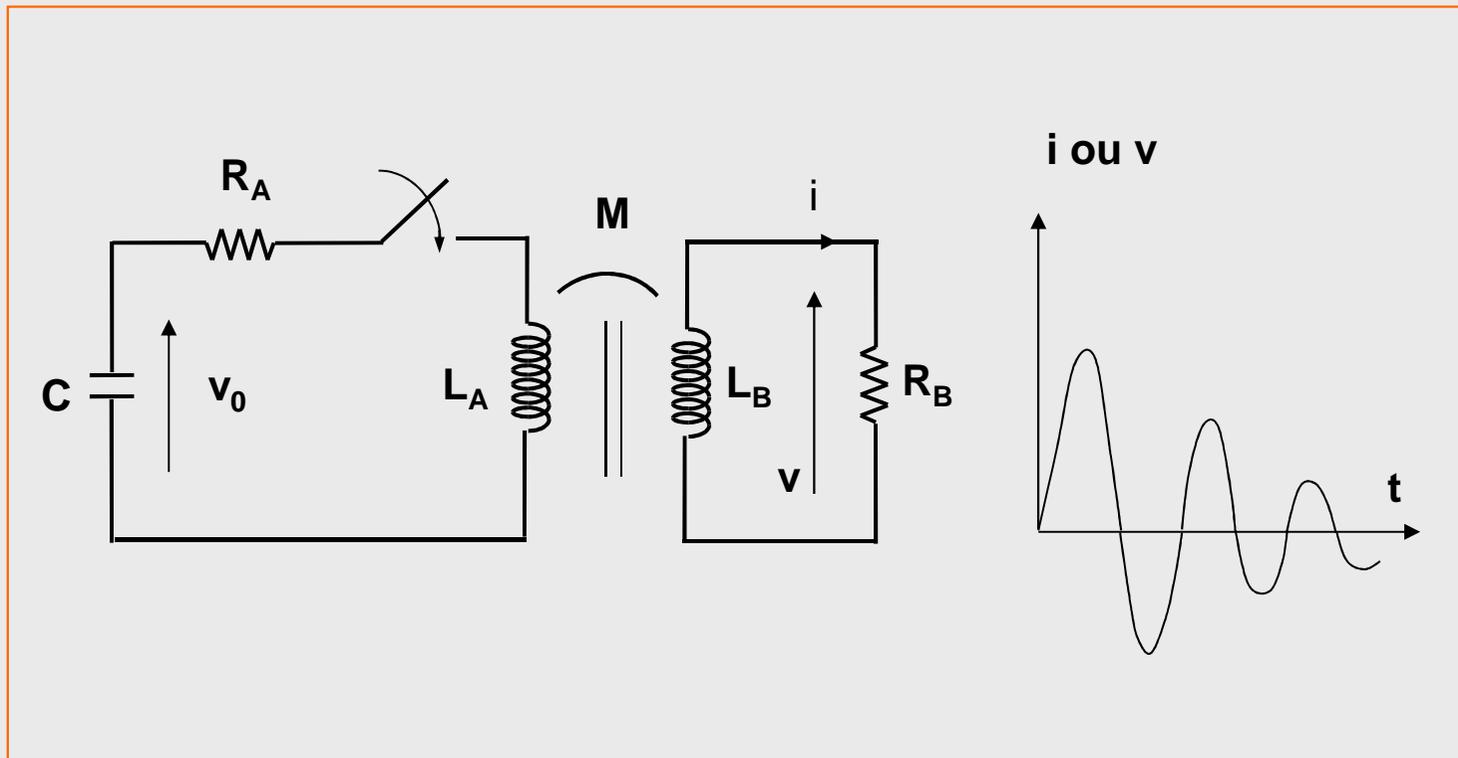


Primário: poucas espiras, fio grosso
Secundário: muitas espiras, fio fino

Eletroimã de Henry (1831) – levantava centenas de quilos de metal



Circuito equivalente - Henry

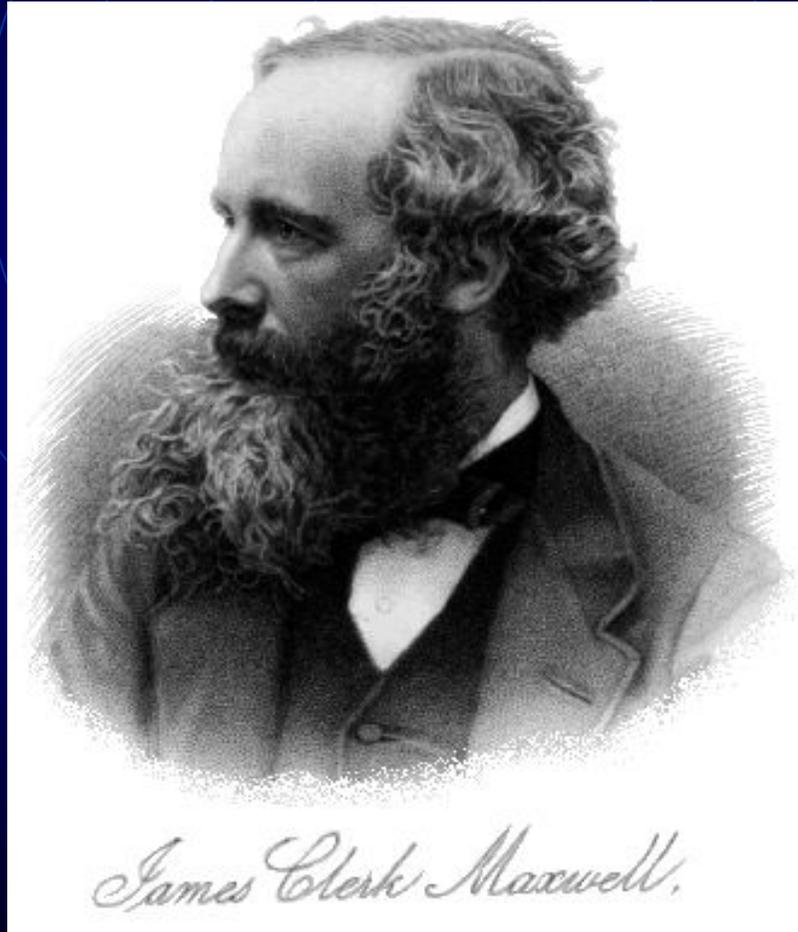


Fatos Básicos sobre a Lei da Indução Eletromagnética

- É um efeito **de reação** → **Lei de Lenz (1834)**
- Criação de pólos norte e sul em circuitos elétricos
- **Atração** entre pólos opostos – **Repulsão** entre pólos iguais
- Variação de fluxo magnético → através de movimento ou de variação da corrente elétrica
- **Ímãs permanentes** e **materiais ferromagnéticos**
- Regras da **mão direita** e da **mão esquerda**

James C. Maxwell

(Escócia, 1831-Inglaterra, 1879)



- Modesto
- Prêmio com estudo sobre anéis de Saturno
- Fundou Laboratório Cavendish (Cambridge)
- **Herança:** Trabalhos de Faraday e de William Thomson (Lord Kelvin) (sobre elasticidade e calor)

Maxwell - Contribuições

- 1864 : Teoria eletromagnética da luz (“*A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*“)
- → 2a. Unificação da Física (luz e EM)
- 1873: “*A Treatise on Electricity and Magnetism*”
- 20 equações / 20 variáveis
- **Eletricidade** pode ser criada através de:
 - cargas elétricas
 - campos magnéticos variáveis
- **Magnetismo** pode ser criado através de:
 - corrente elétrica
 - campos elétricos variáveis

Maxwell - Contribuições

- Confirmação das **linhas de força**- Rejeição da ação a distância e da teoria de Newton para o EM – **O éter existe, mesmo no vácuo!**
- Energia armazenada **ao redor** dos corpos eletrizados ou magnéticos
- Determinação da **velocidade de propagação** de ondas EM
- Existência da **corrente de deslocamento** em dielétricos

Equações de Maxwell

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

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

Os Maxwellianos

- **Fitzgerald, Lodge, Heaviside:**
usaram teoria de Maxwell para
mostrar a possibilidade de gerar
ondas EM, mas não tiveram
sucesso na sua demonstração

Oliver Heaviside (Inglaterra, 1850-1925)



- Simplificação das Leis de Maxwell (1884) → **quatro** equações “latentes”, mas não “patentes”
- Equações para propagação de ondas EM em **cabos** : **Equação dos telegrafistas**
(efeito pelicular)
- Reflexão das ondas EM na **ionosfera**
(independente de **Kenelly**)

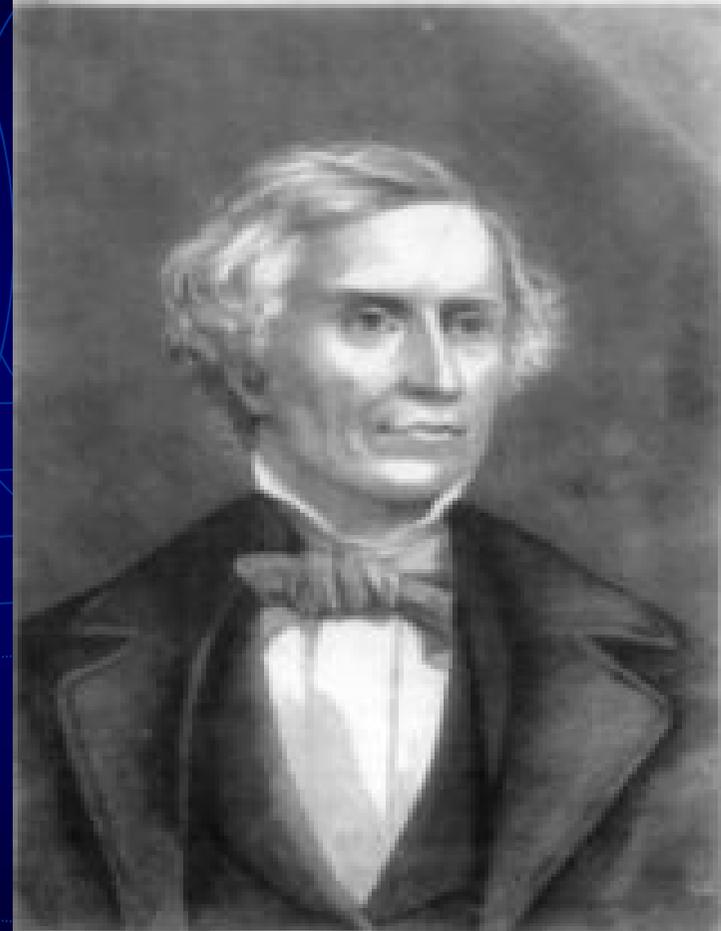
Heaviside

Cotidiano de herói

- Sobrinho de Wheatstone
- Surdez devido a febre escarlatina
- Artigos difíceis de serem lidos
- Pouco diplomático - tinha inimigos na comunidade científica
- Eleito *Fellow* da Royal Society
- Medalha Faraday do IEE-RU

Charles Wheatstone

(Inglaterra, 1802-França, 1875)

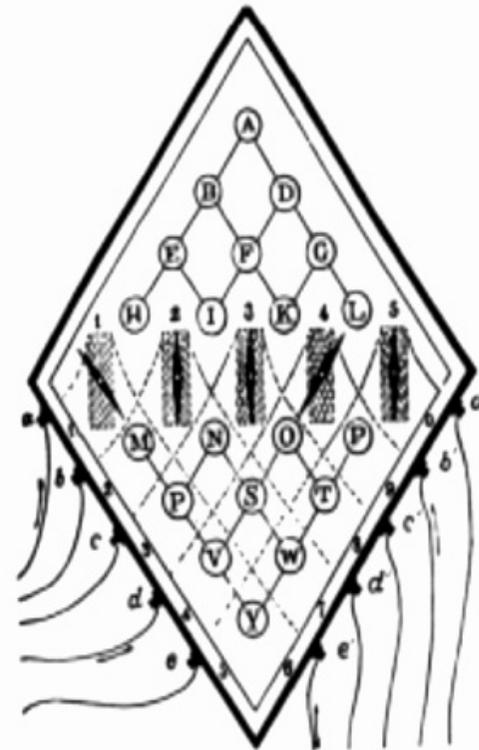


Samuel Morse (EUA, 1791-1872)

Telégrafo a fio

- Primeira aplicação prática da eletricidade para comunicação a longa distância
- Elemento básico: **eletroimã**
- Primeira patente de telégrafo comercial: 1837 (**Wheatstone e Cooke** – ao longo da linha de trem) – **5 fios + 1**
- Telégrafo de **Morse**: 1844 - **apenas 1 fio**
Serviço comercial entre Baltimore e Washington
- Meio de comunicação: fios e cabos subterrâneos ou submarinos

Telégrafos a fio



Cooke and Wheatstone's original five-needle electric telegraph. Each needle could be tilted to the left or right, or remain vertical; moving two needles picked out a letter on a diagonal grid (in this case, the letter "v").

Cooke e Wheatstone, 1837

Telégrafos a fio



Telégrafo de duas agulhas,
1840 – código complexo para
representar as letras



Telégrafo ABC, 1858
Wheatstone

Wheatstone

- Estudos sobre instrumentos musicais e **acústica**
- Professor de Física no King's College: péssimo para aulas teóricas, bom para demonstrações no laboratório
- Outras contribuições no telégrafo: fita impressa, transmissor automático, telégrafo com campainha
- Estudos sobre **cabos de transmissão** (com Lord Kelvin)

Samuel Morse

- **Pintor**, obcecado com a idéia de melhorar as comunicações através do telégrafo elétrico
- Atuações políticas contra a imigração e contra os católicos
- Apoio técnico de Joseph Henry

O código Morse

A	•-	N	-•	0	-----
B	--•••	O	---	1	•-----
C	-•••	P	••••	2	••-----
D	-••	Q	--•-	3	•••---
E	•	R	•••	4	••••-
F	••••	S	•••	5	•••••
G	--•	T	-	6	-••••
H	••••	U	••-	7	--•••
I	••	V	•••-	8	---••
J	•---	W	•--	9	----•
K	-•-	X	-••-	.	••••-
L	••••	Y	-••-	,	--••-
M	--	Z	--••	?	•••••

- Samuel Morse e Alfred Vail (1840)
- Composto por pontos e traços (pulsos curtos e longos) 26 letras e algarismos de 1 a 10 (máximo de 5 elementos)
- Códigos mais simples para letras mais usadas
- Precursor do código binário

Telégrafo de Morse



© 1992 Smithsonian Institution

Chave transmissora



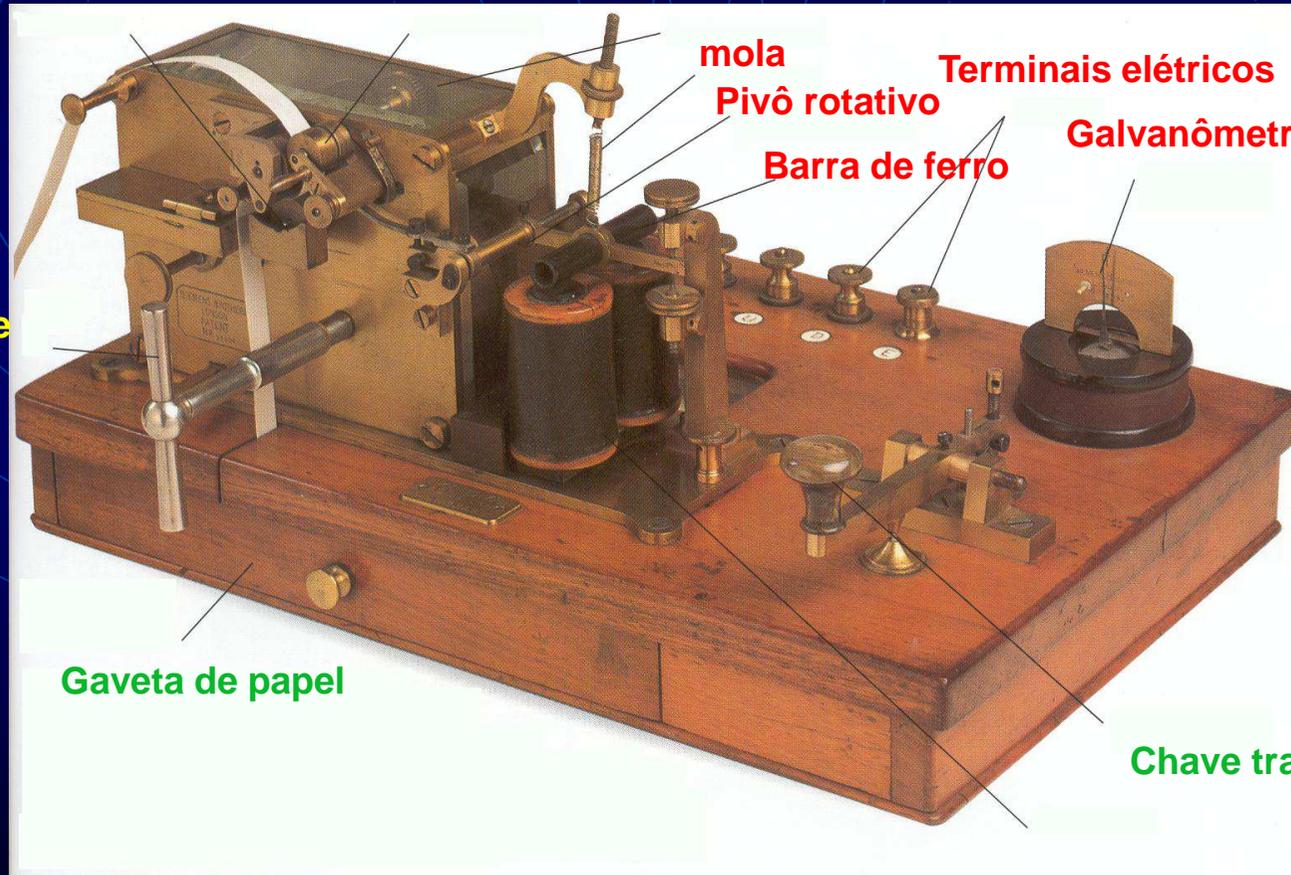
© 1992 Smithsonian Institution

Aparelho Receptor

Telégrafo a fio

Como funciona ?

Recipiente de tinta Rolamento da fita Motor de relógio



mola Terminais elétricos
Pivô rotativo Galvanômetro (teste)
Barra de ferro

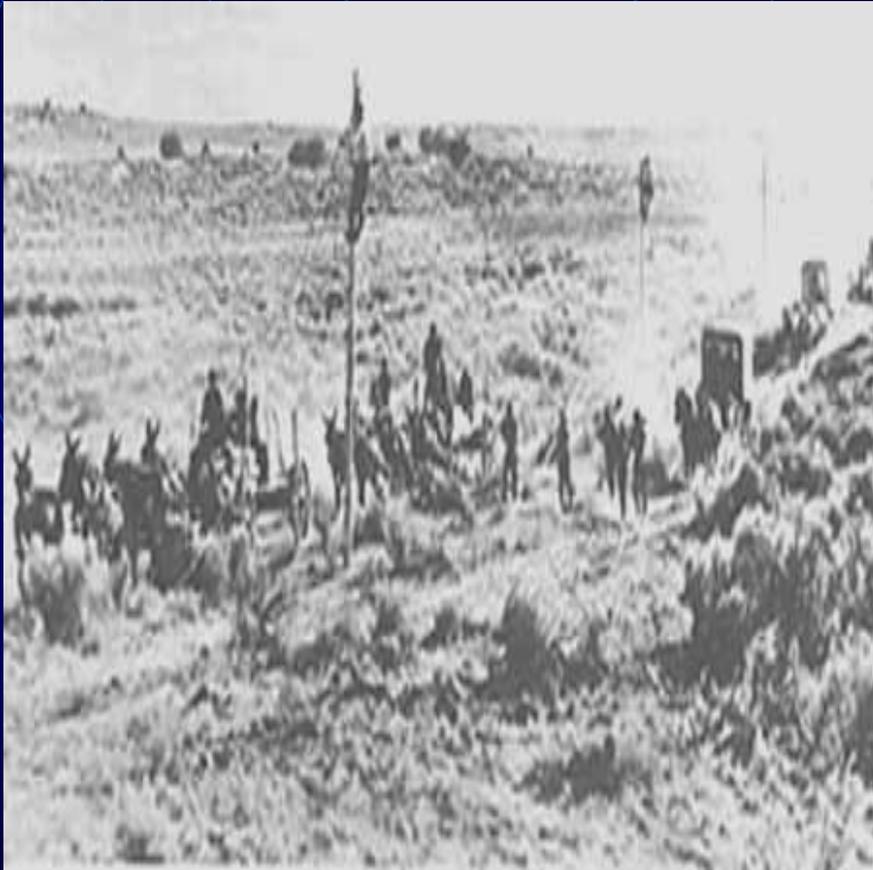
Chave de
corda

Gaveta de papel

Chave transmissora

Eletroimã de bobinas
gêmeas

Comunicação por fios e cabos



Construção de linha
telegráfica transcontinental
(1860)



O *Great Eastern* (Brunel, 1858)
cabo transatlântico (1854-1866)

Comunicação por fios e cabos

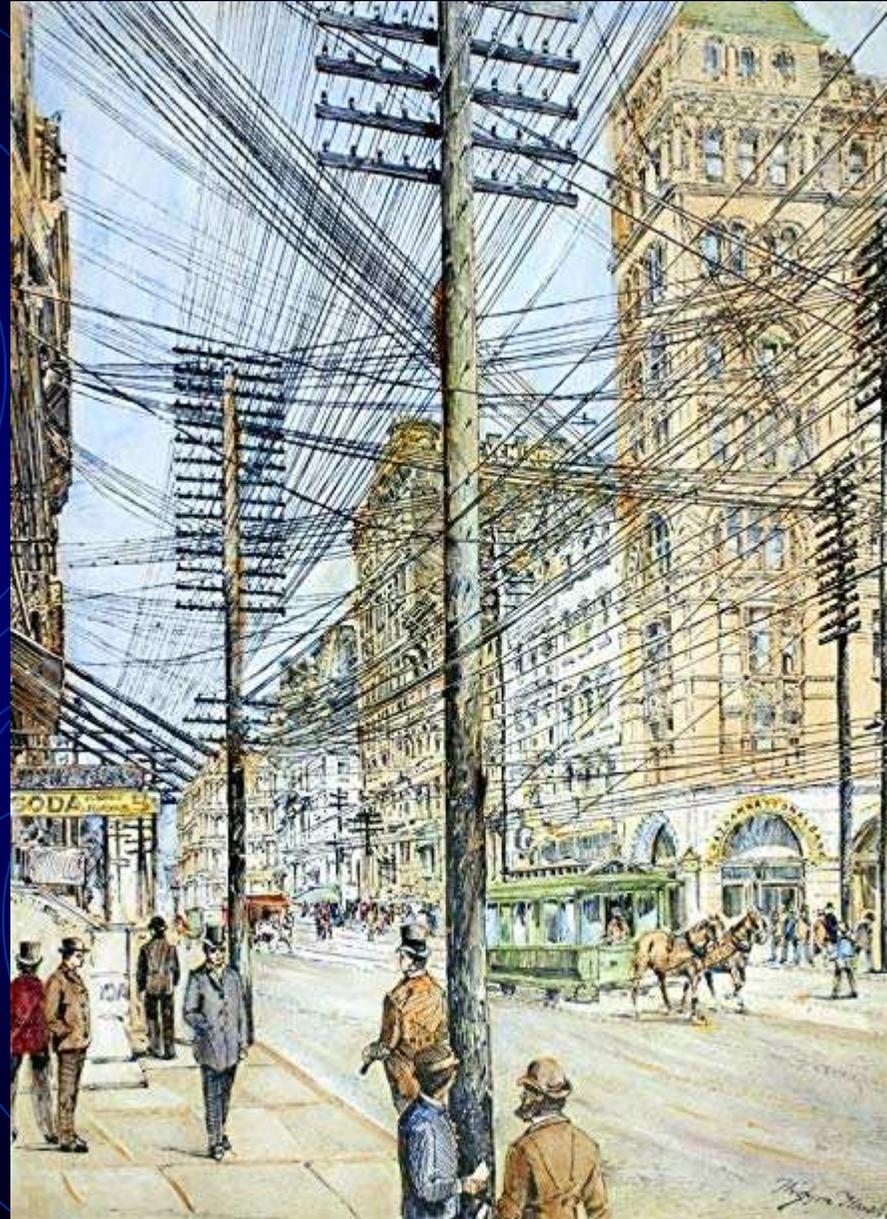


Pedaço de cabo do telégrafo transatlântico (1866)

Problemas com os cabos:

- Condutor (cobre ou ferro)
- Isolantes (*gutta-percha*)
- Máxima velocidade de transmissão
- Atrasos, atenuações e distorções

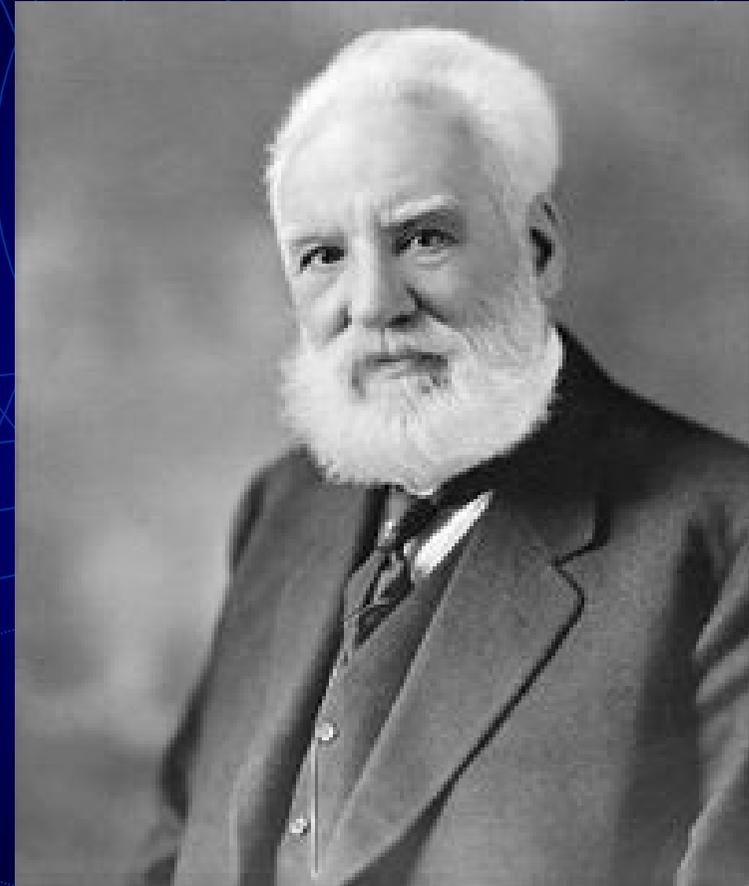
Imagem da
cidade de
New York
em 1889,
com cabos
telegráficos



O telefone

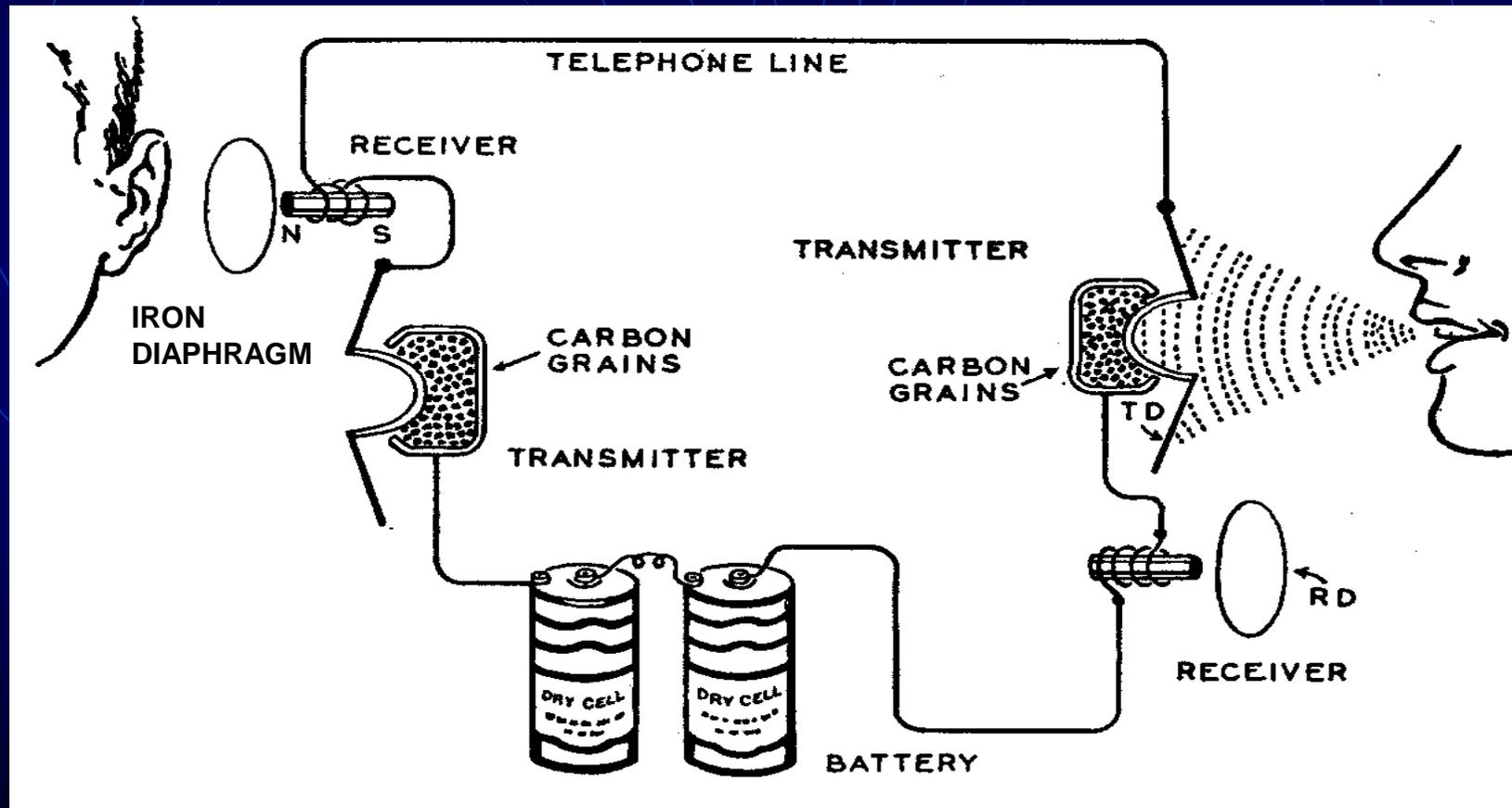
- Principal motivação: sistema telegráfico **multiplexado** (enviar várias mensagens em frequências diferentes)
- **Meucci**: primeiras ideias em Cuba, 1840
- **Reis**: transmissão de música a distância, 1861
- **Manzetti**: transmissão de voz a distância, 1865
- **Elisha Gray**: pedido de patente em 1876
- **Graham Bell**: obtém a patente em 1876

Antonio Meucci (Itália, 1808-EUA, 1896)

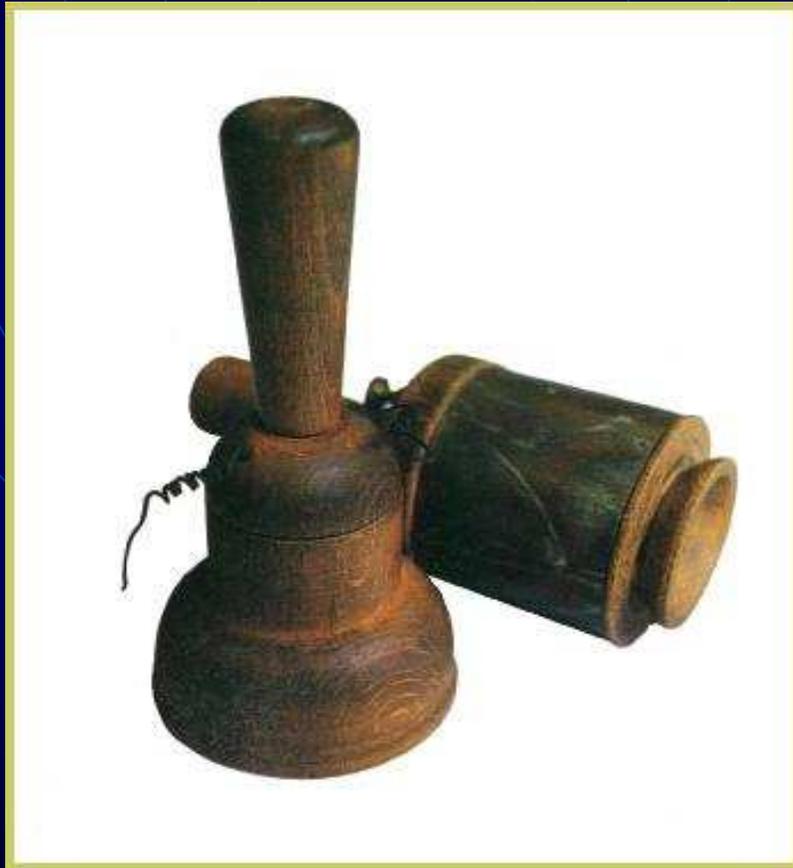


(Escócia, 1847-Canadá, 1922) A. Graham Bell

Como funciona ?



Os primeiros telefones



Telefone de Meucci, 1850



Telefone de Bell, 1876

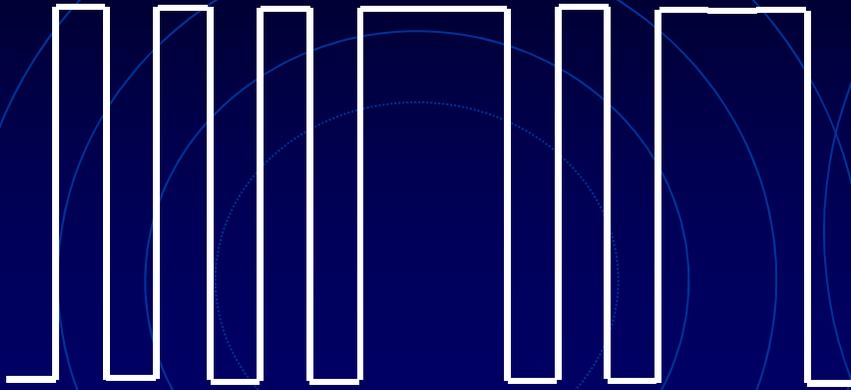
Antonio Meucci

- Motivação: Telefone para comunicação em casa, com sua esposa (inválida, artrite)
- Amigo de Garibaldi
- Reconhecido como **inventor do telefone** pelo Congresso Americano em **2002**

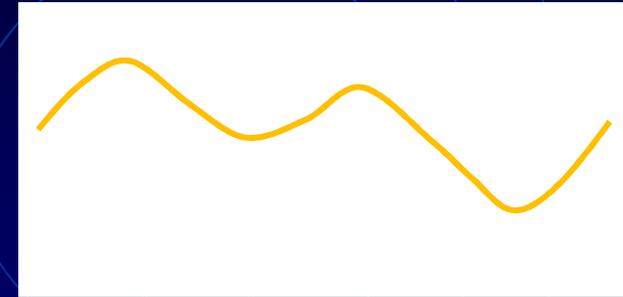
Alexander Graham Bell

- Especialista na **ciência da fala** (professor em escola de surdos-mudos). Esposa era surda-muda.
- Objetivo: transformar técnicas pulsadas (telégrafo) em **corrente ondulatória** (adequada para transmissão de voz)
- Contato com D. Pedro II (Exposição em 1876)
- Inventou também o **fotofone** (precursor das comunicações óticas)

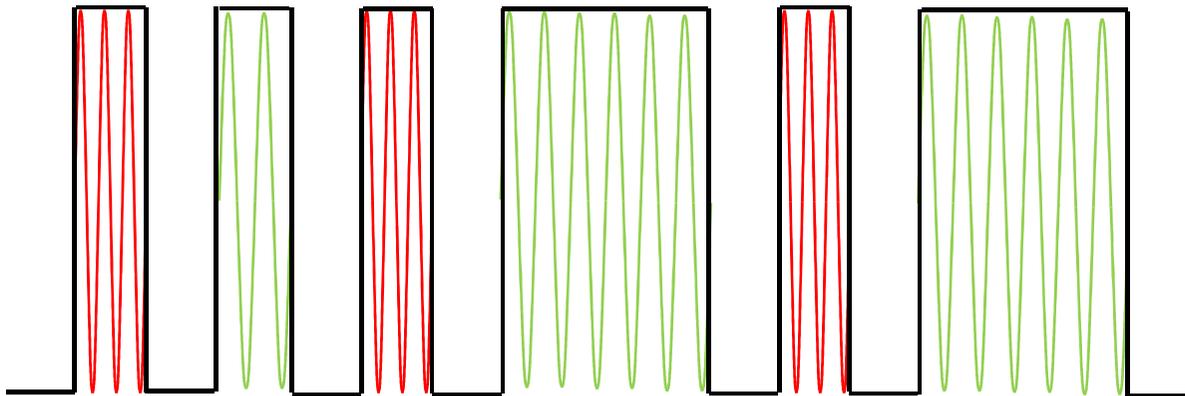
Sinais – Comunicações por fio



Telégrafo- Código Morse



Telefone (áudio)



Telégrafo Harmônico

2 mensagens/
2 frequências:
 f_1 e f_2

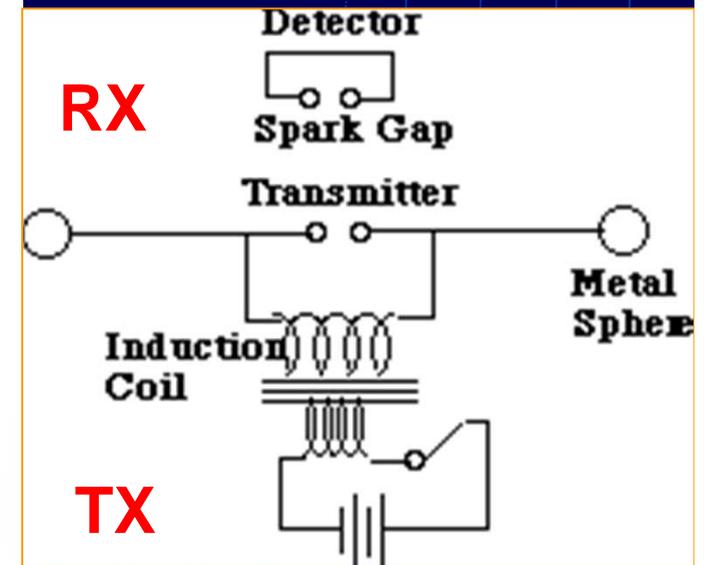
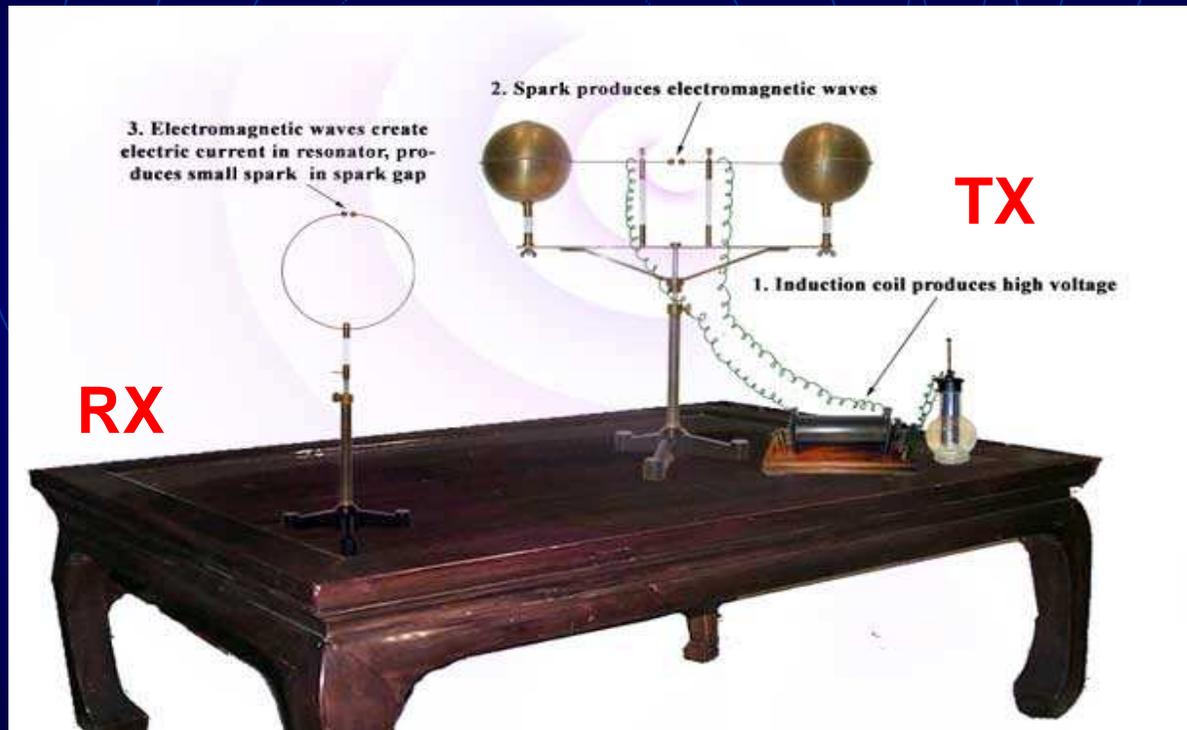
Heinrich Rudolf Hertz

(Alemanha, 1857-1894)



- **Objetivo:** demonstrar Teoria de Maxwell
- **Problemas:**
 - Gerar ondas EM
 - Conseguir detectá-las
 - Provar sua existência
- **Demonstrou:**
 - Propagação, Refração e Polarização de ondas EM
 - Corrente de deslocamento

Aparato experimental de Hertz

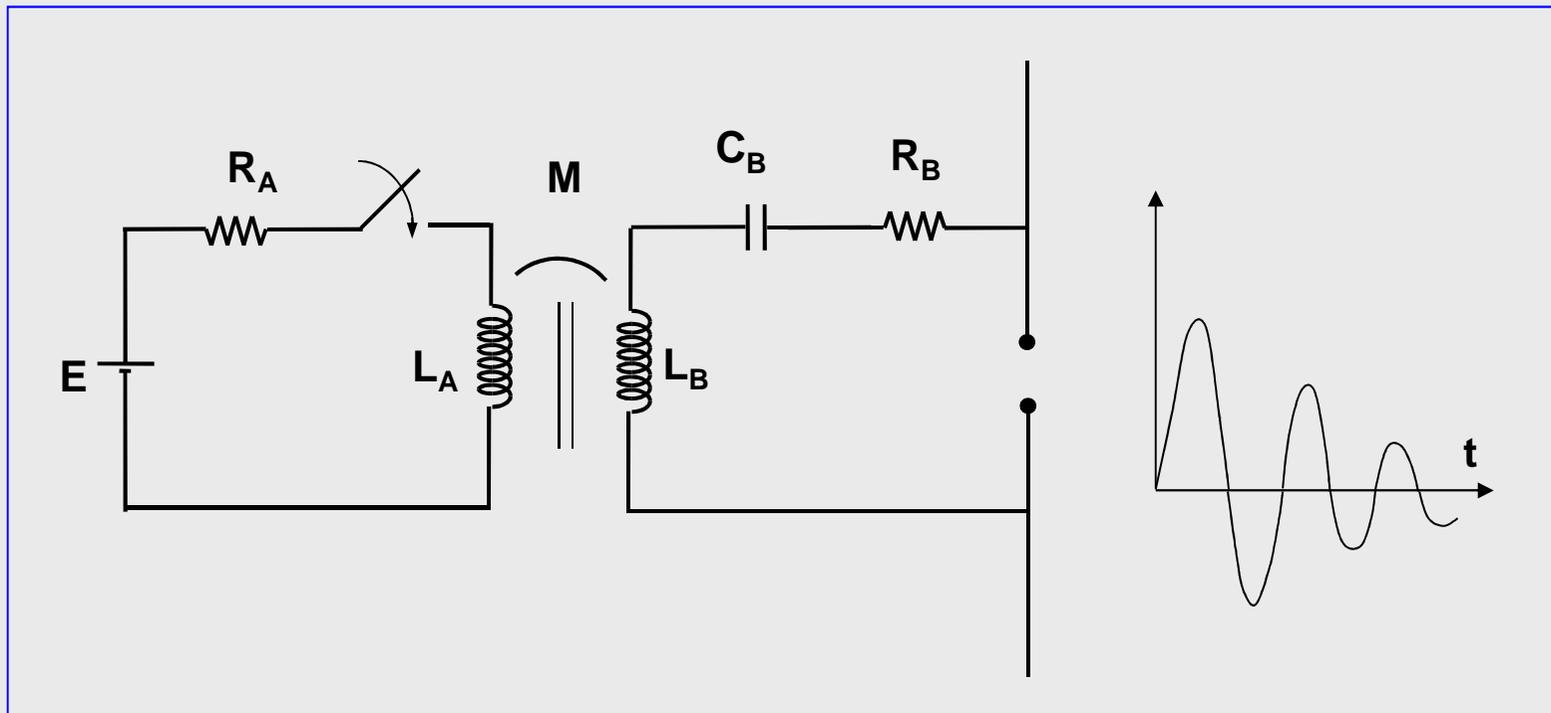


Frequências de 50 a 500 MHz – 1888

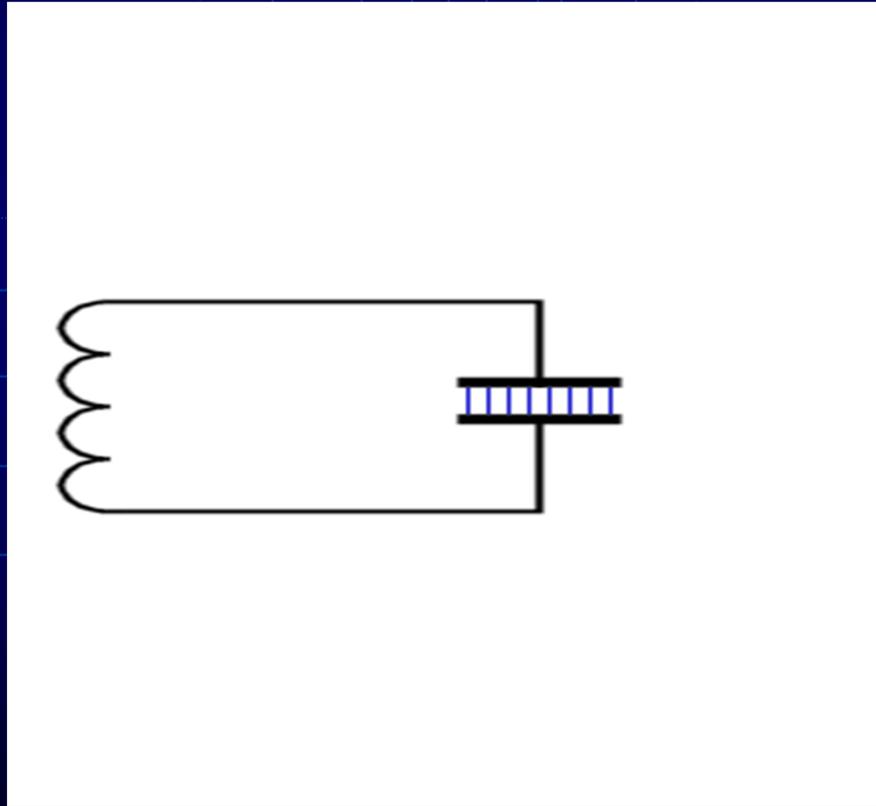
Detector pouco sensível

Transmissor de Hertz

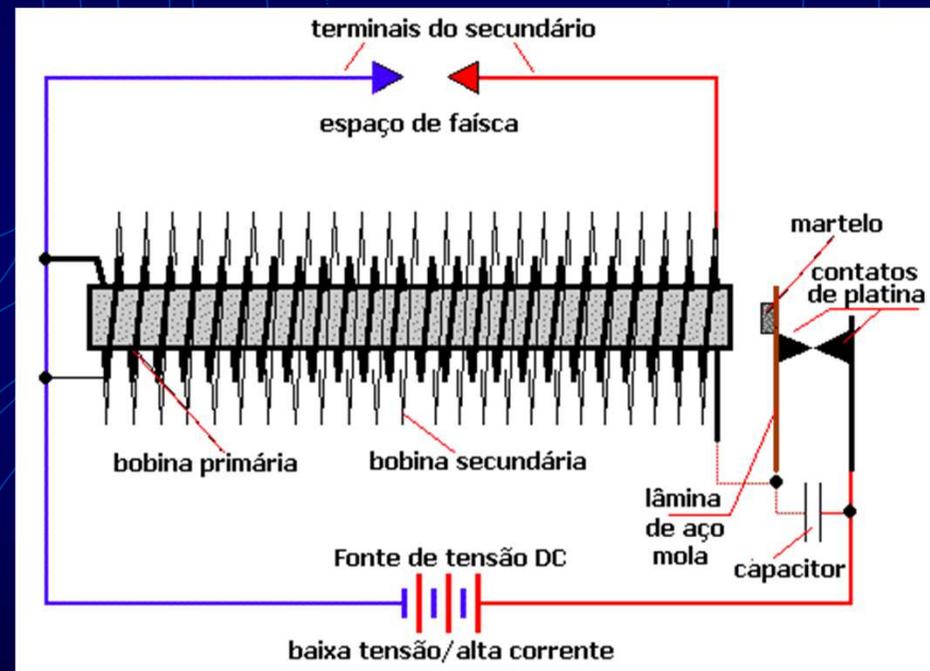
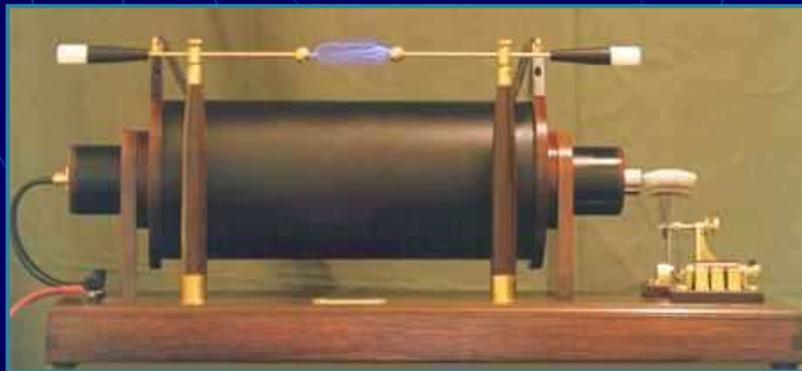
Circuito equivalente



O sistema radiante de Hertz: A primeira antena

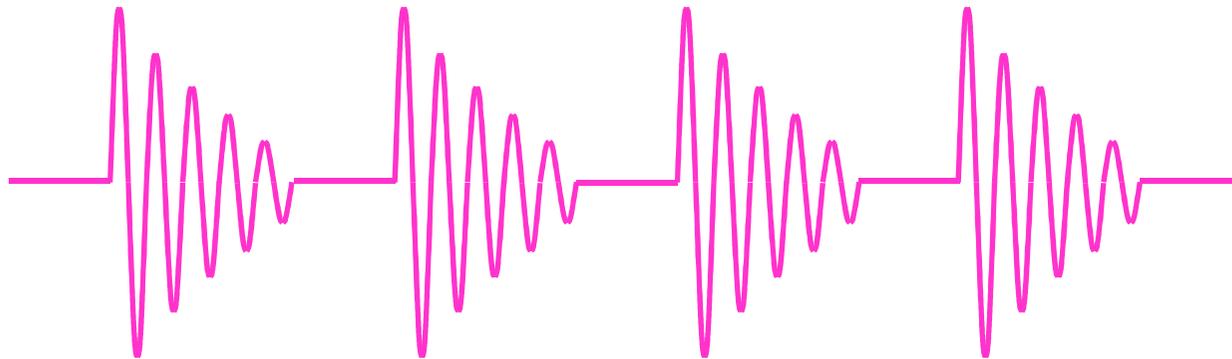


Bobina de Indução



Bobina de Rühmkorff e seu esquema elétrico equivalente

Sinais produzidos por Hertz



Trem de pulsos de senóides
exponencialmente amortecidas

Aparato experimental de Hertz



TX

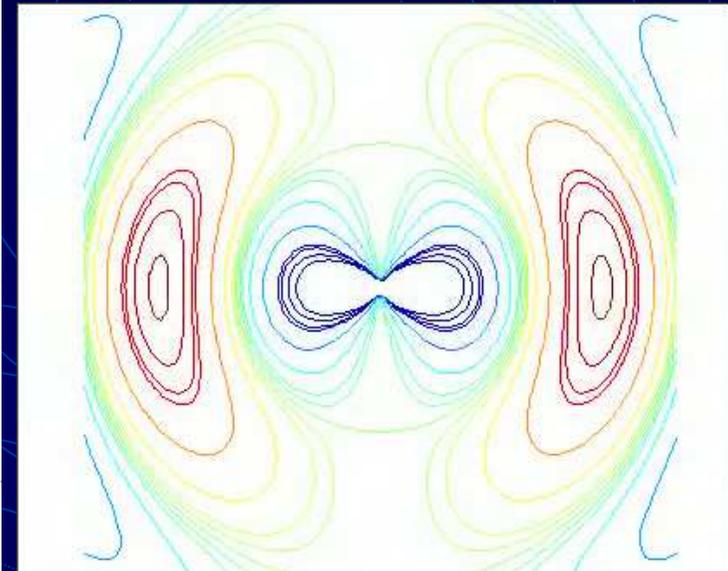
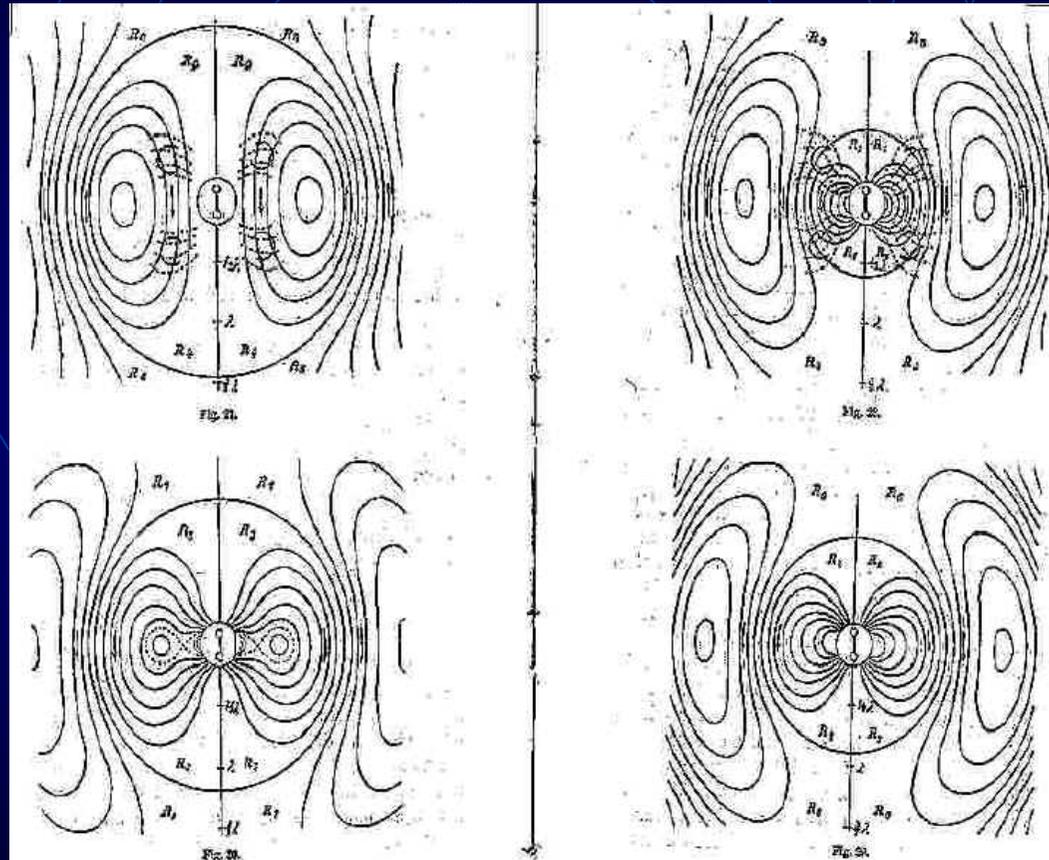
RX

Refletor

Polarizador

Dipolo

Oscilações EM produzidas por um dipolo hertziano



MATLAB[®] demo, 2002

(Prof. Jin Au Kong, MIT,

ocw.mit.edu/)

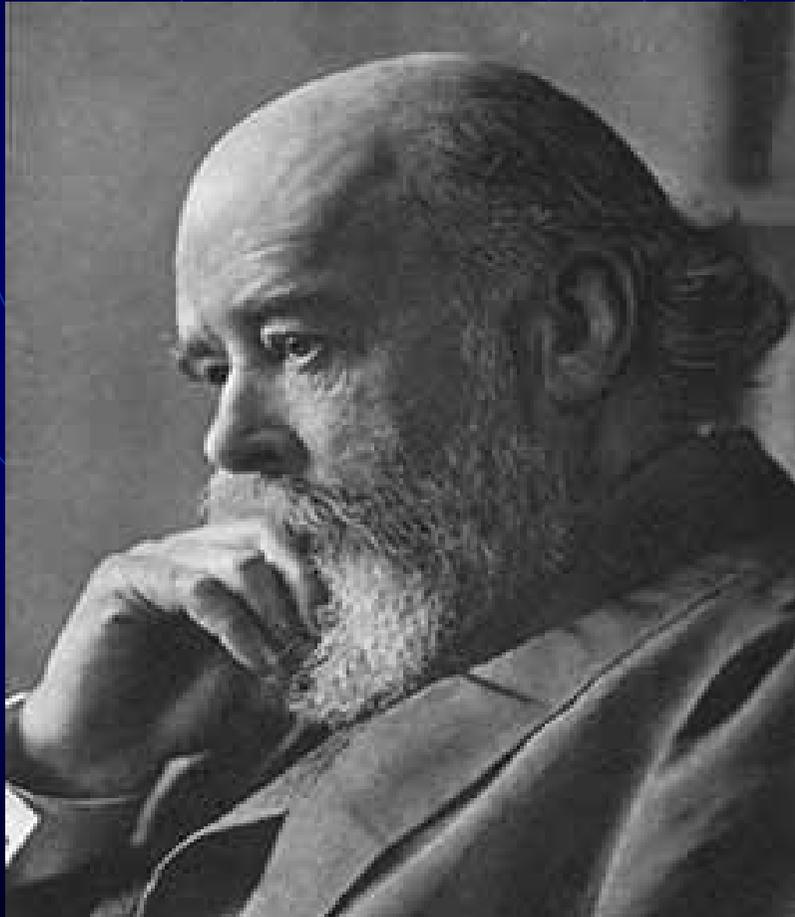
(Hertz, 1889)

Hertz

Cotidiano de herói

- Teve muitas dúvidas entre Engenharia Civil e a carreira científica
- Queria ter vivido em época anterior para poder **contribuir com a Ciência**
- Não previu **nenhuma aplicação prática** para suas descobertas
- Morreu com apenas **36 anos** (doença nos ossos)

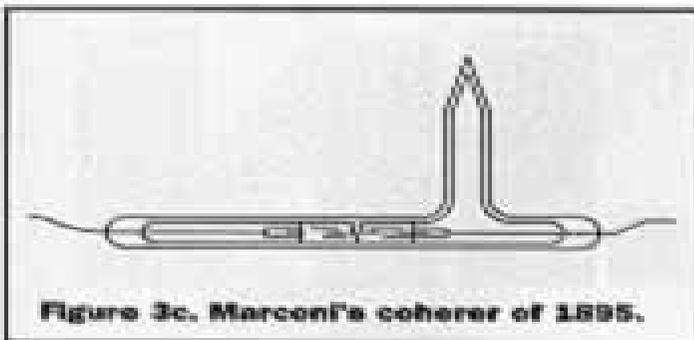
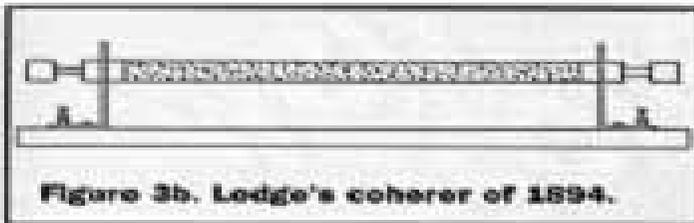
Oliver Joseph Lodge (Inglaterra, 1851-1940)



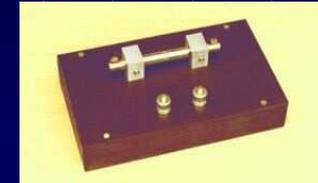
- Base para o trabalho de Marconi
- Produção de ondas estacionárias em fios
- Aperfeiçoou o **coesor**
- Importância da **sintonia** entre TX e RX e da **ressonância**
- Vendeu todas suas patentes a Marconi
- Acreditava no éter
- Espiritualista

O Coesor

variação da resistência elétrica de filmes e grãos metálicos na presença de faísca elétrica



- **Branly (1890)** – tubo de vidro contendo pó metálico (“rádiocondutor”)



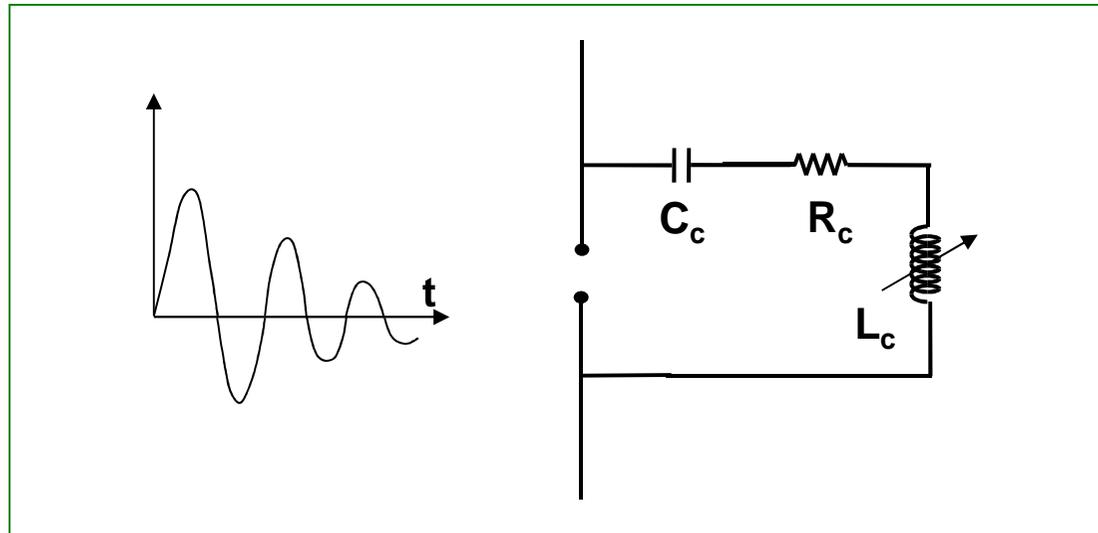
- **Lodge (1894)** – tubo de vidro com pó metálico oxidado – adicionou um “agitador”.

- **Marconi (1895)** – Prata/níquel/mercúrio
Vácuo no tubo de vidro
Martelo de campainha



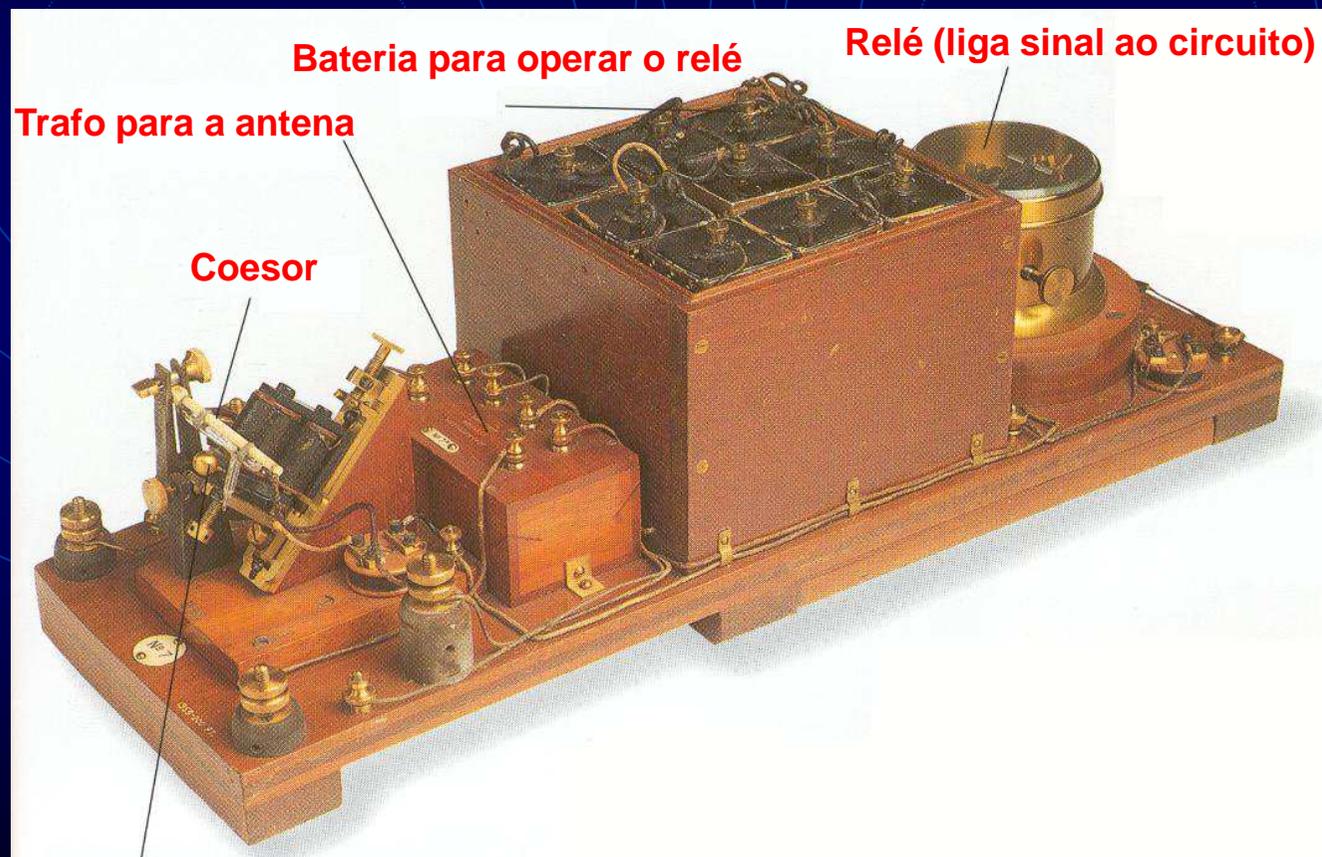
- **Popov (1895)**
Eletrodos de platina
Limalha de ferro
Relé e campainha

Receptor de Lodge Circuito equivalente



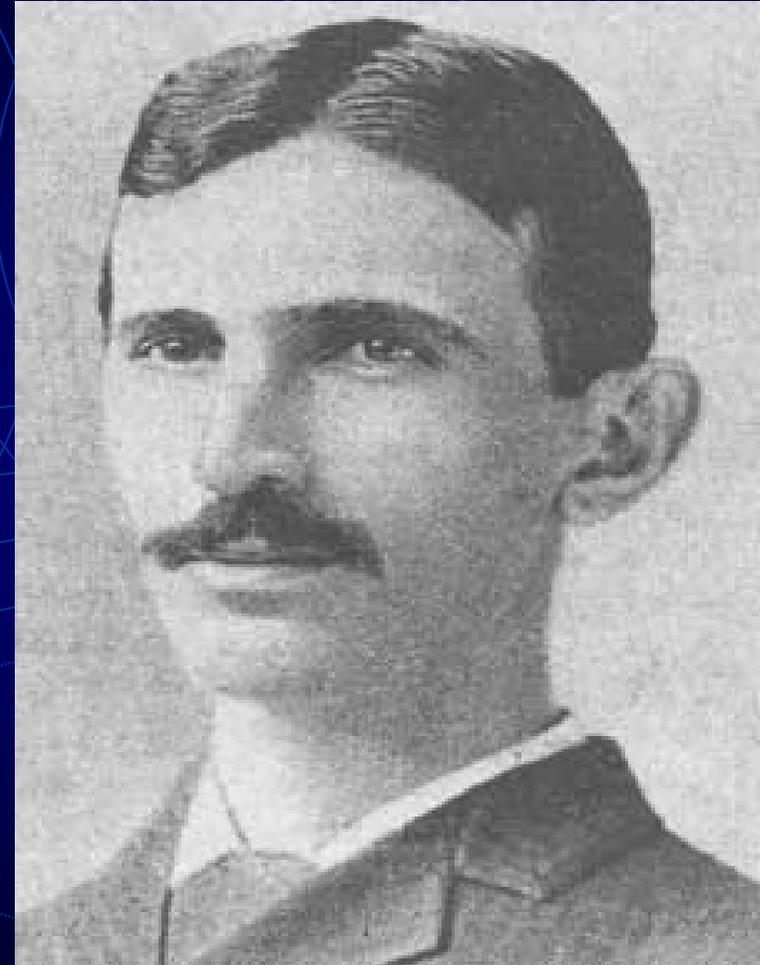
Telégrafo sem fio

Como funciona ?



Restaurador do coesor

Guglielmo Marconi (Itália, 1874-1937)



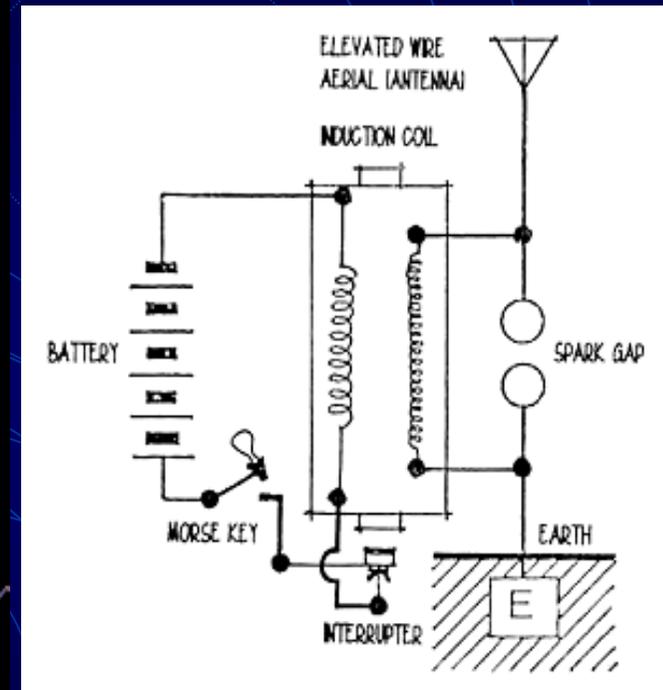
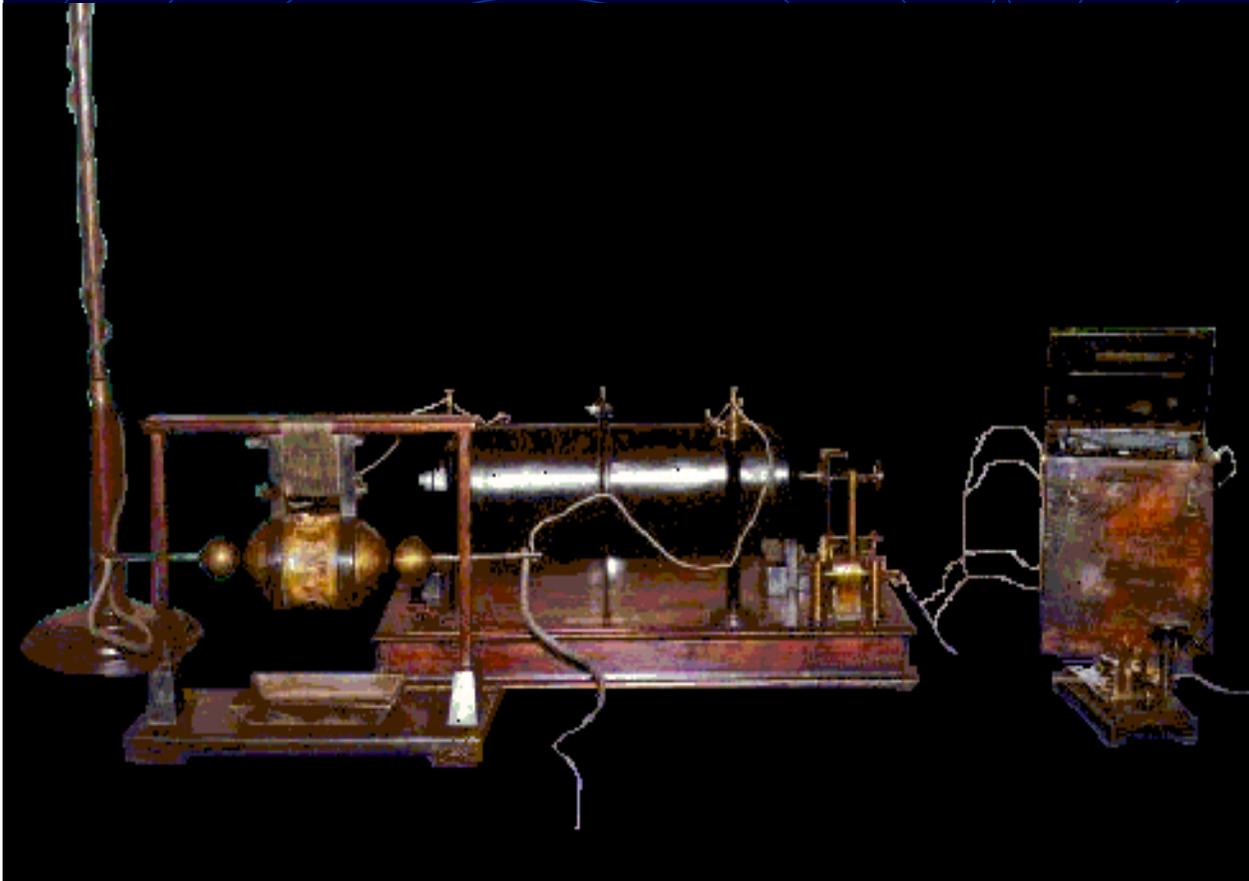
Nikola Tesla (Croácia, 1856-EUA, 1943)

Marconi

Herança e Contribuições

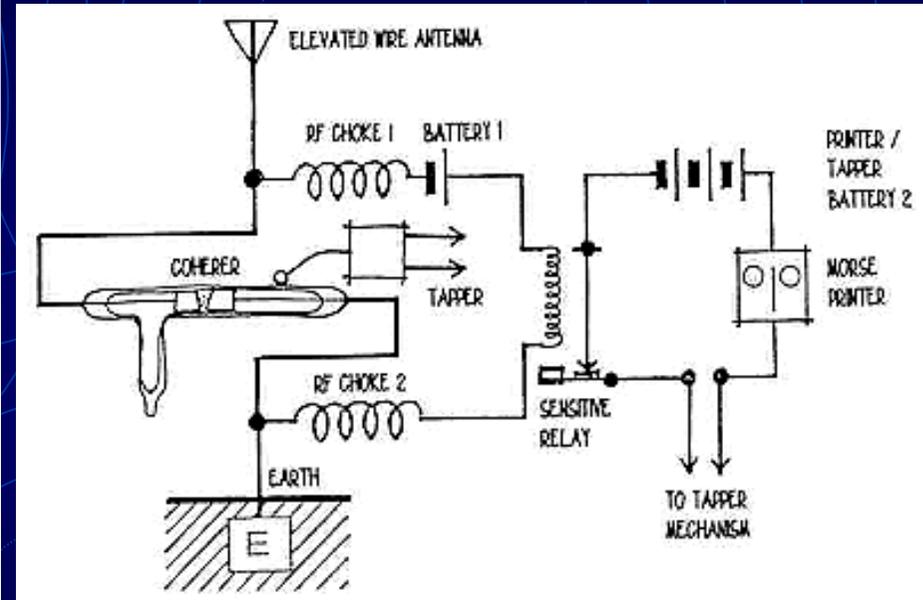
- Integração do trabalho de várias pessoas: Righi, Branly, Lodge
- Contribuições:
 - Melhoria do **receptor** (coesor)
 - Sintonia do TX com o RX (**circuitos ressonantes LC**) : Patente **7777** (1900)
 - Uso de **refletores** para concentração da energia
 - Aumento da **potência**
 - Aumento da **frequência**

Transmissor de Marconi (1896)



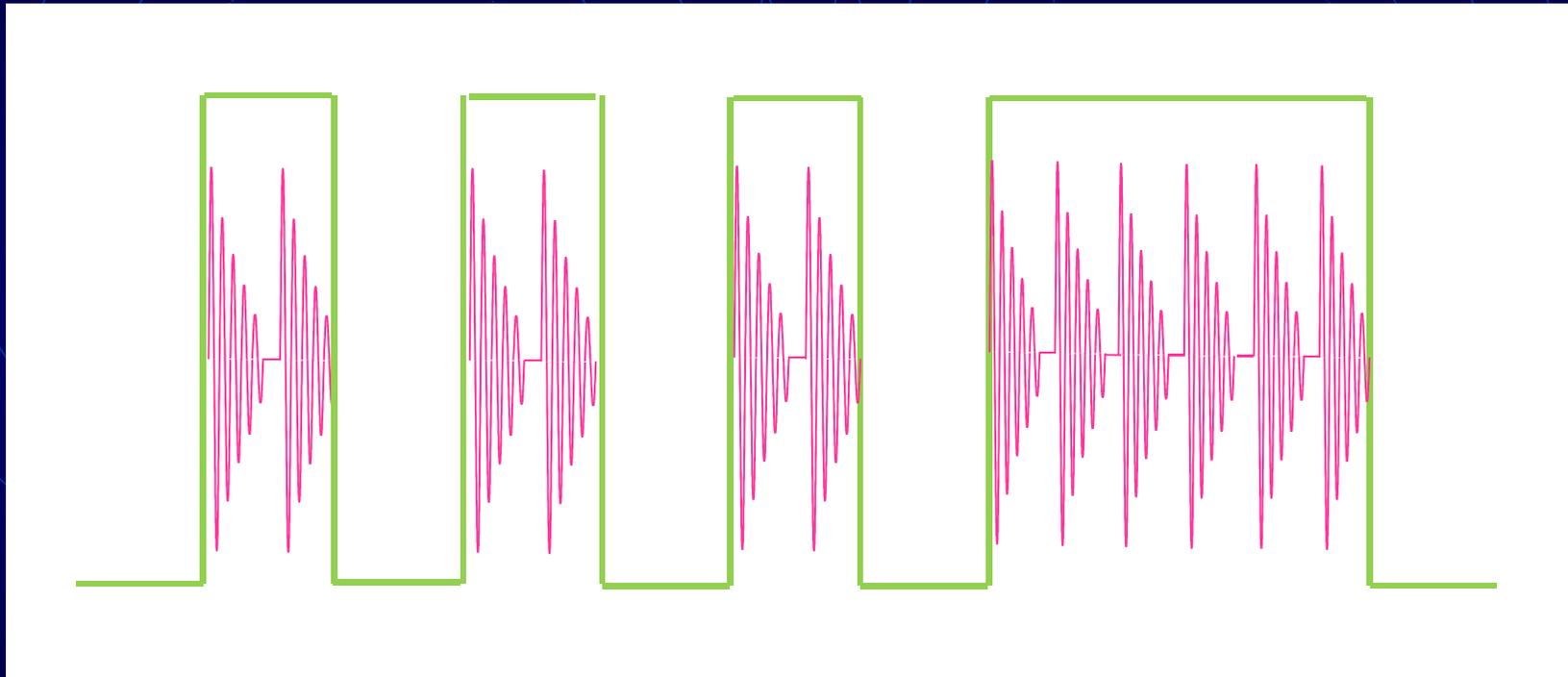
Principais componentes: Antena aterrada (monopolo $\lambda/4$), Bobina de Ruhmkorff, Oscilador Righi, bateria e chave Morse

Receptor de Marconi (1896)



Principais componentes: Antena aterrada, Coesor, Baterias, relê telegráfico, campainha, impressora Morse

Sinais – Telégrafo sem fio



Código Morse e senóides amortecidas produzidas pelo circuito RLC da antena, energizado através da bobina de indução, com o sinal modulado pela chave do transmissor.

Fases do trabalho de Marconi

- 1896 a 1906 – Sistema radiotelegráfico
- 1906 a 1916 - Aperfeiçoamento da válvula termiônica de Fleming
- Após 1916 – Sistemas de ondas curtas e microondas
- 1909: Nobel em Física (com Braun)

Conquistas de Marconi

- Comercialização de **sistemas práticos de comunicações**
- Equipamento de **navios** com sistemas de comunicações
- Primeiro **serviço transatlântico de rádio**
- Primeiras estações de **ondas curtas e microondas**

Marconi - Outras peças



Transmissor sintonizado
(1899)



Fone de ouvido usado para
receber 1a. Mensagem
transatlântica ("S") (1901)

Marconi – Outras peças

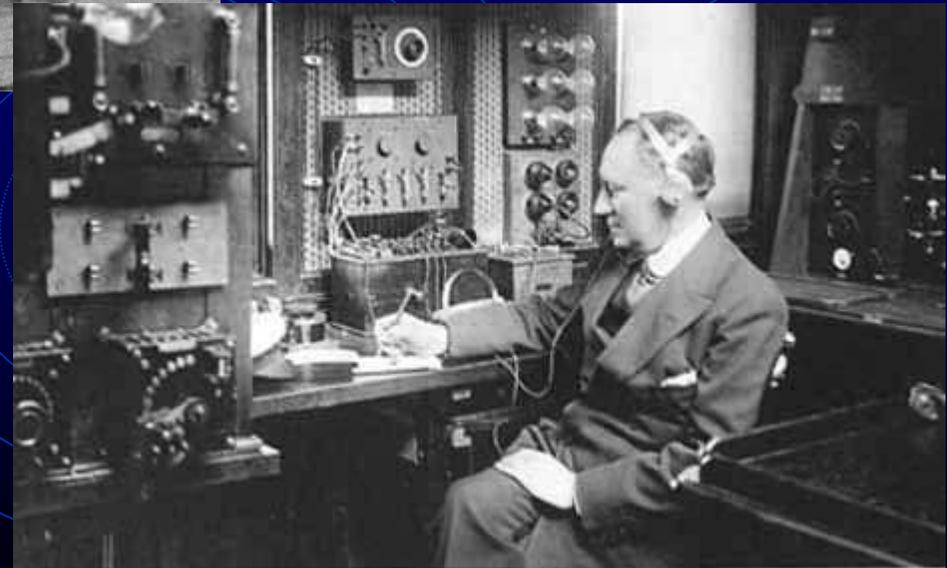
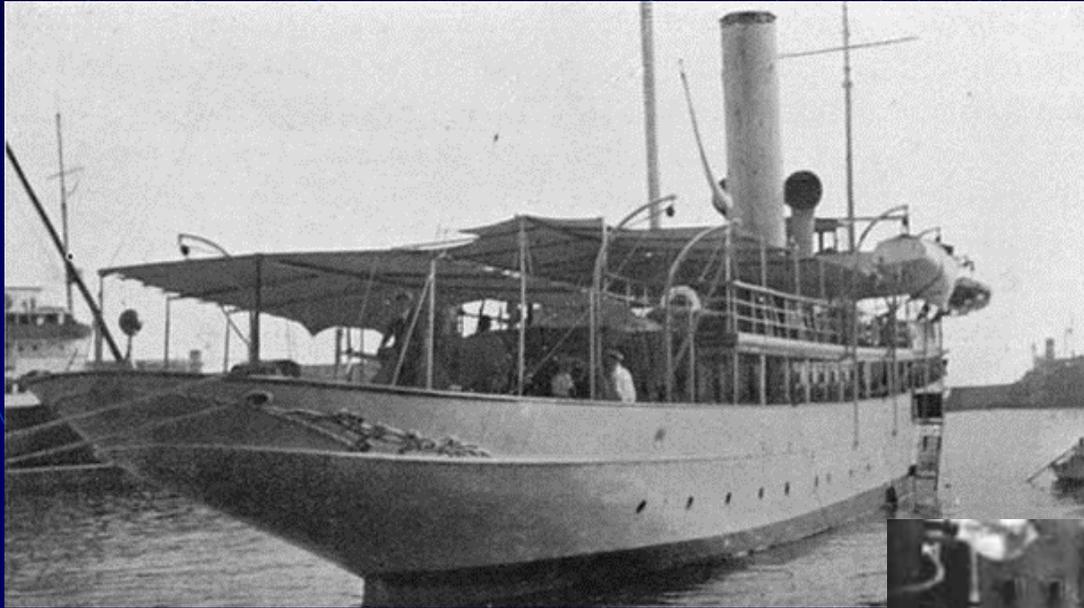


George Kemp com estrutura para alçar as antenas, 1901



Receptor de rádio, usando a válvula de Fleming (1908)

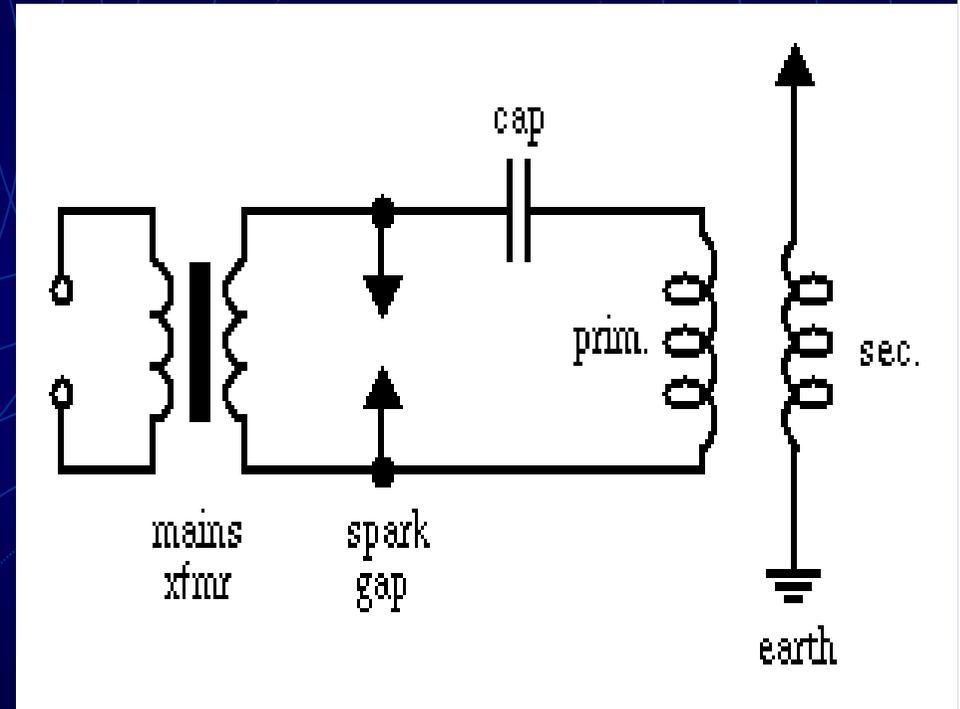
late Elettra – O laboratório de Marconi



Contribuições de Tesla para as comunicações sem fio

- Em 1893: demonstra a **transmissão e recepção** de ondas EM
- Início de 1895: sistema com alcance de **50 milhas** (Marconi: 1 milha)
- Pedido de patente: 1897
- Propôs sistema sintonizado: “**four tuned circuits**” (com Lodge)
- Descobriu importância do aterramento das antenas
- 1900: previu o radar

A Bobina de Tesla

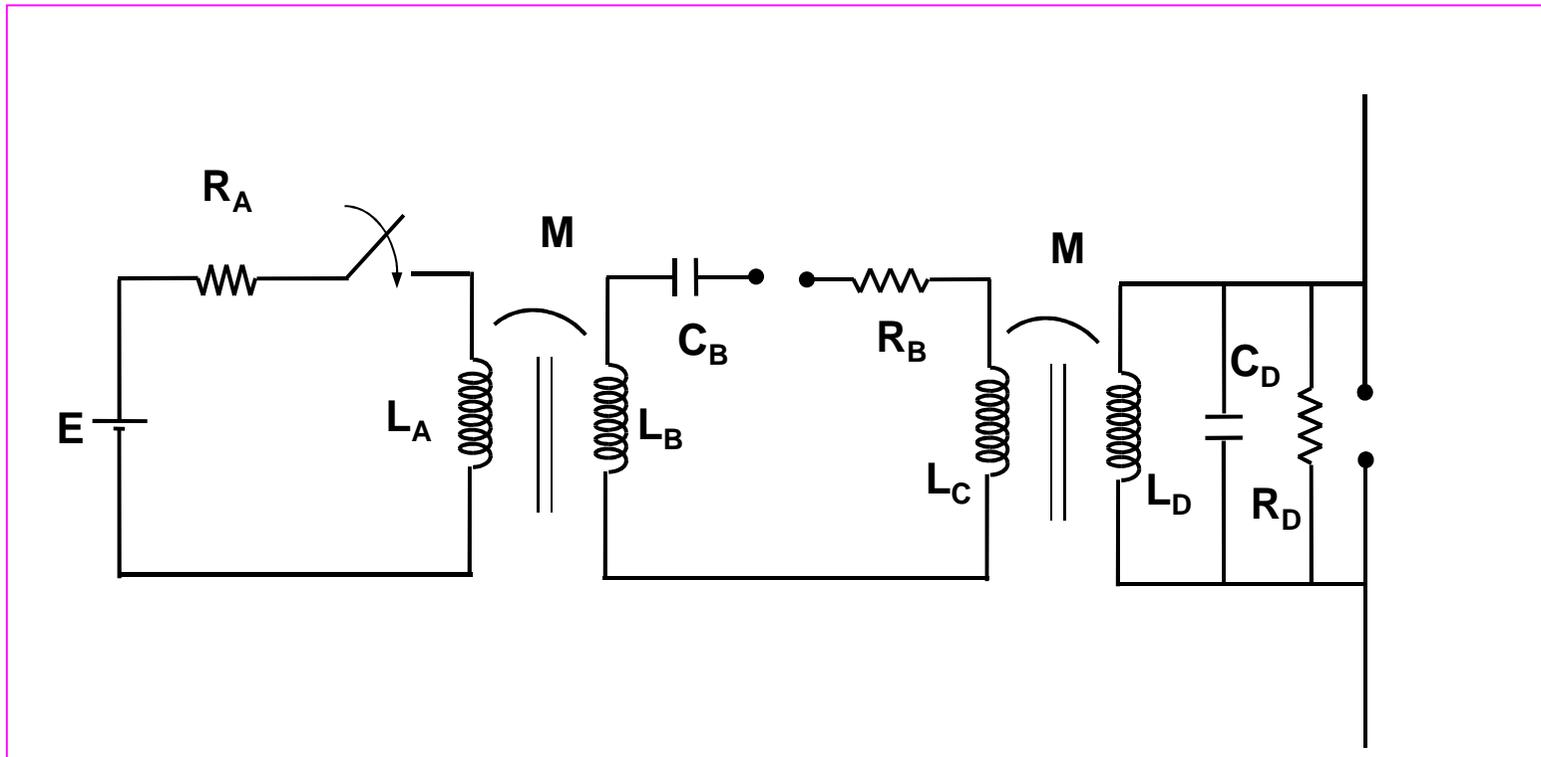


Núcleo de ar

Inventada para produzir **alta tensão** e **alta frequência**

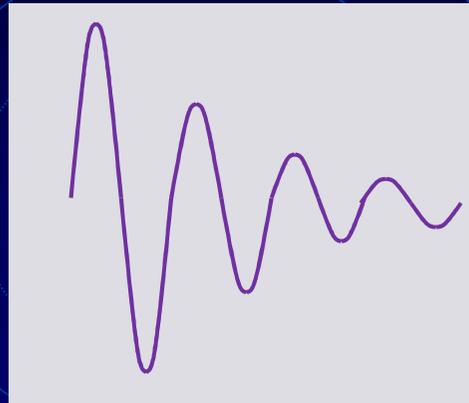
Bobina de Tesla

Circuito equivalente

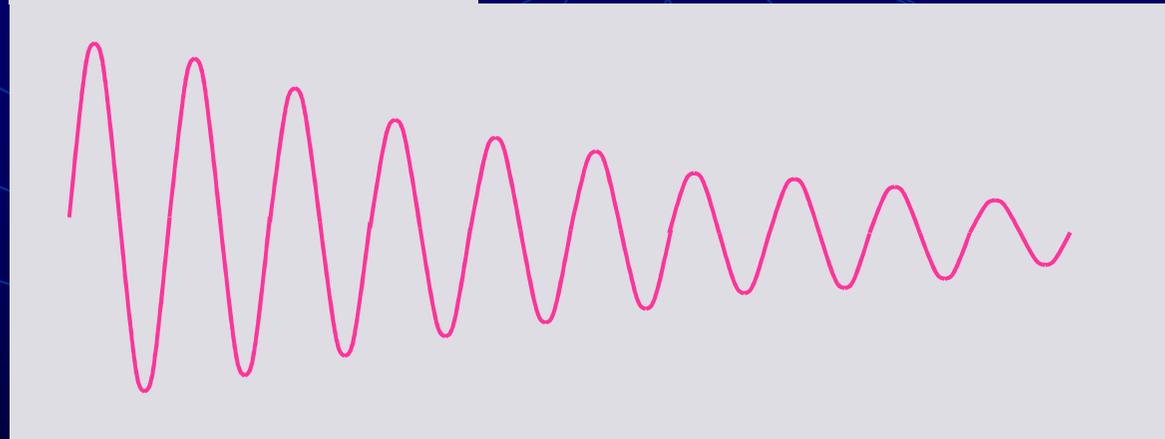


Faísca gerada no primário (circuito “tanque”) e antena conectada no último secundário → oscilações mais duradouras

Sinais - Transmissores a faísca



Sinal produzido quando a faísca é gerada no secundário (em série com a antena)



Sinal produzido quando a faísca é gerada no primário (em paralelo com a antena)

A Torre Wardenclyffe

(Long Island, 1901-1917)

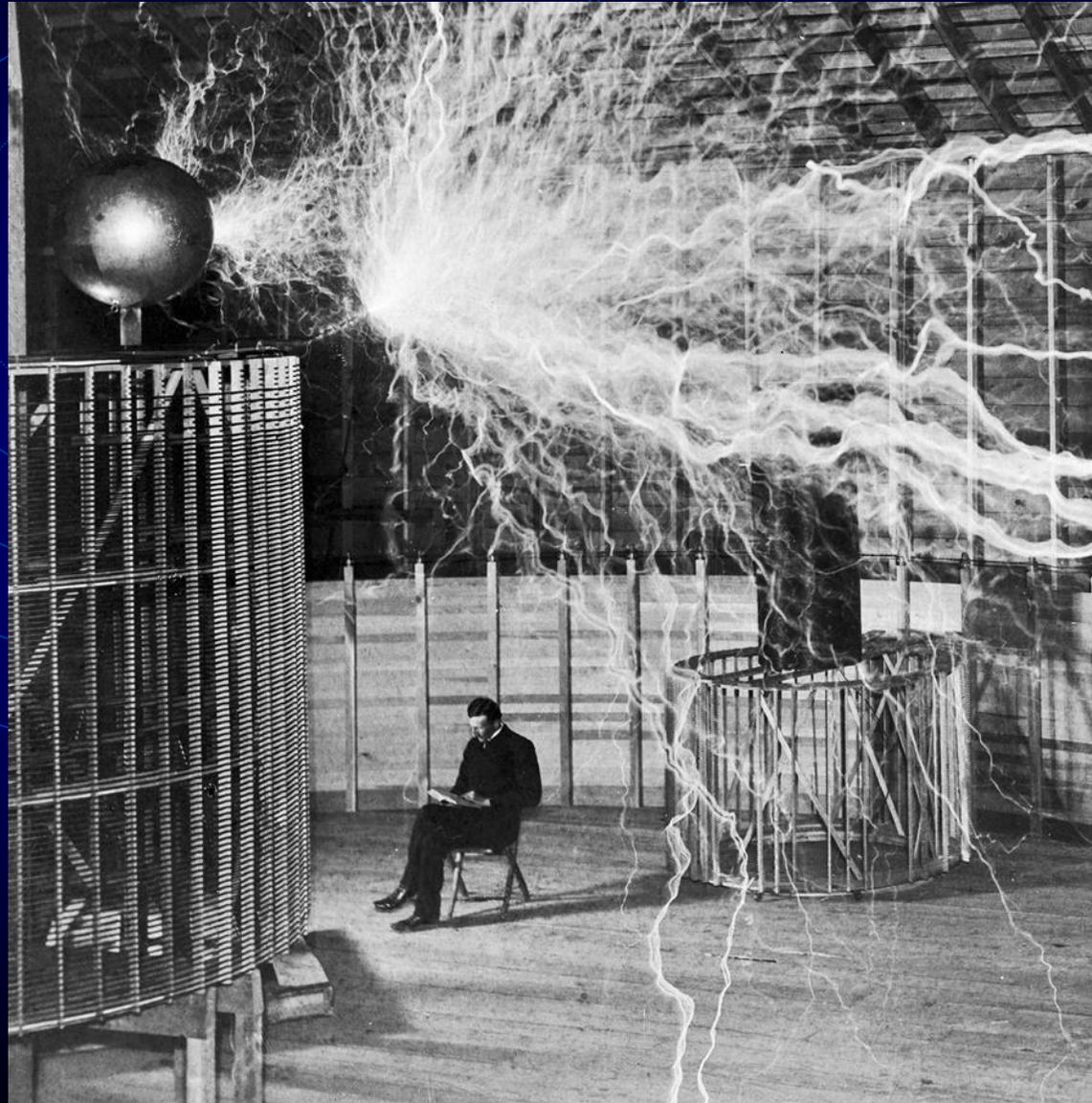


- Torre de antenas, projetada para ser o primeiro sistema de transmissão de energia elétrica sem fios
- Idéia: produção de ondas de superfície
- (ressonância da Terra)
- Antena esférica aterrada; sinais até 100kHz
- Nunca funcionou: falta de recursos

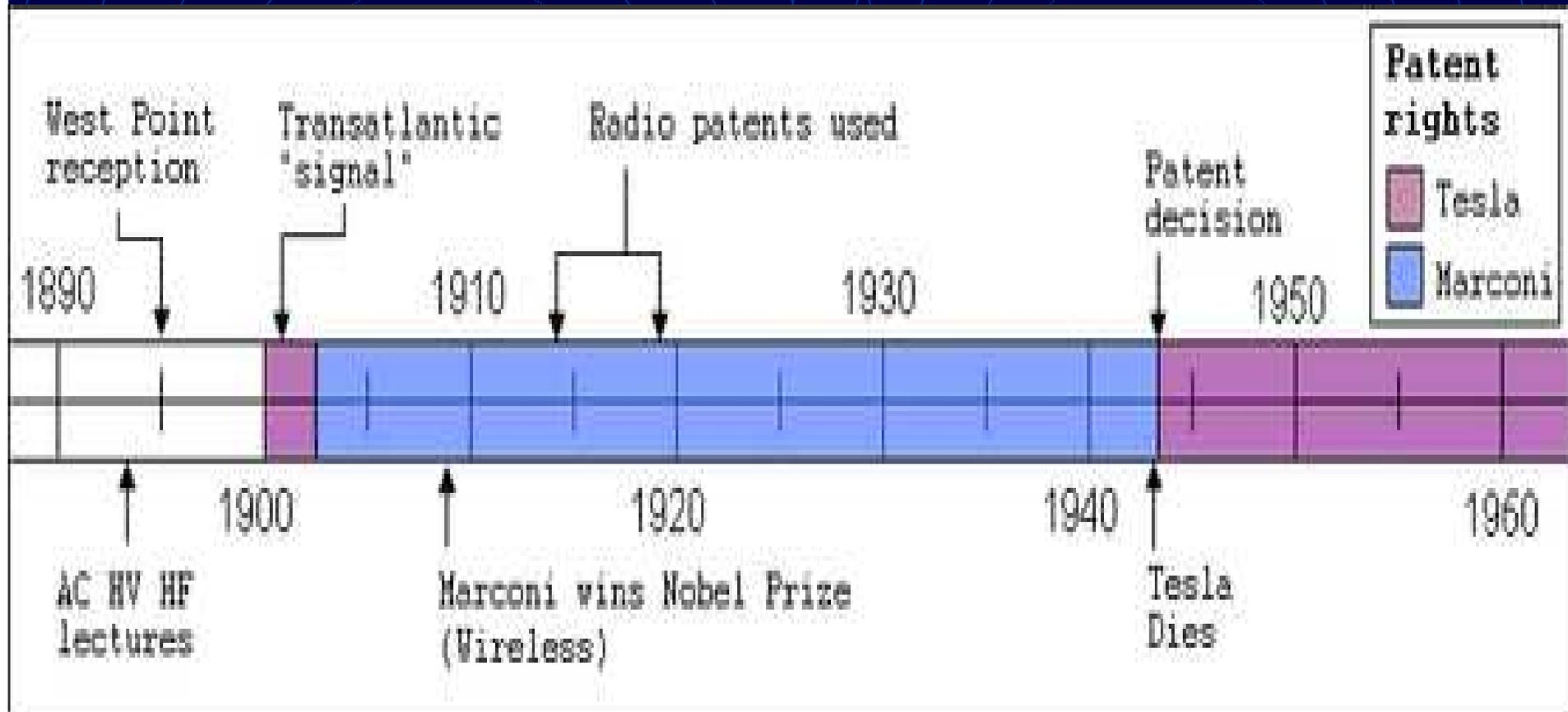
Tesla – Cotidiano de herói

- **O homem que inventou o século XX:** mais de 700 patentes
- 1895 e 1911: depressão devido a incêndio no laboratório e ao fracasso da Torre
- Aos 24 anos: tinha memorizado livros inteiros
- Visão e audição intensificadas acima do normal
- Dormia apenas 4 horas por noite
- Últimos anos: previsões sobre possíveis desenvolvimentos científicos
- **2006:** Ano de Nikola Tesla (150 anos do nascimento)

Tesla em seu laboratório



A guerra das patentes



Marconi usava 17 patentes de Tesla !

Landell de Moura (Brasil, 1861-1928)



Alexander S. Popov (Rússia, 1859-1906)

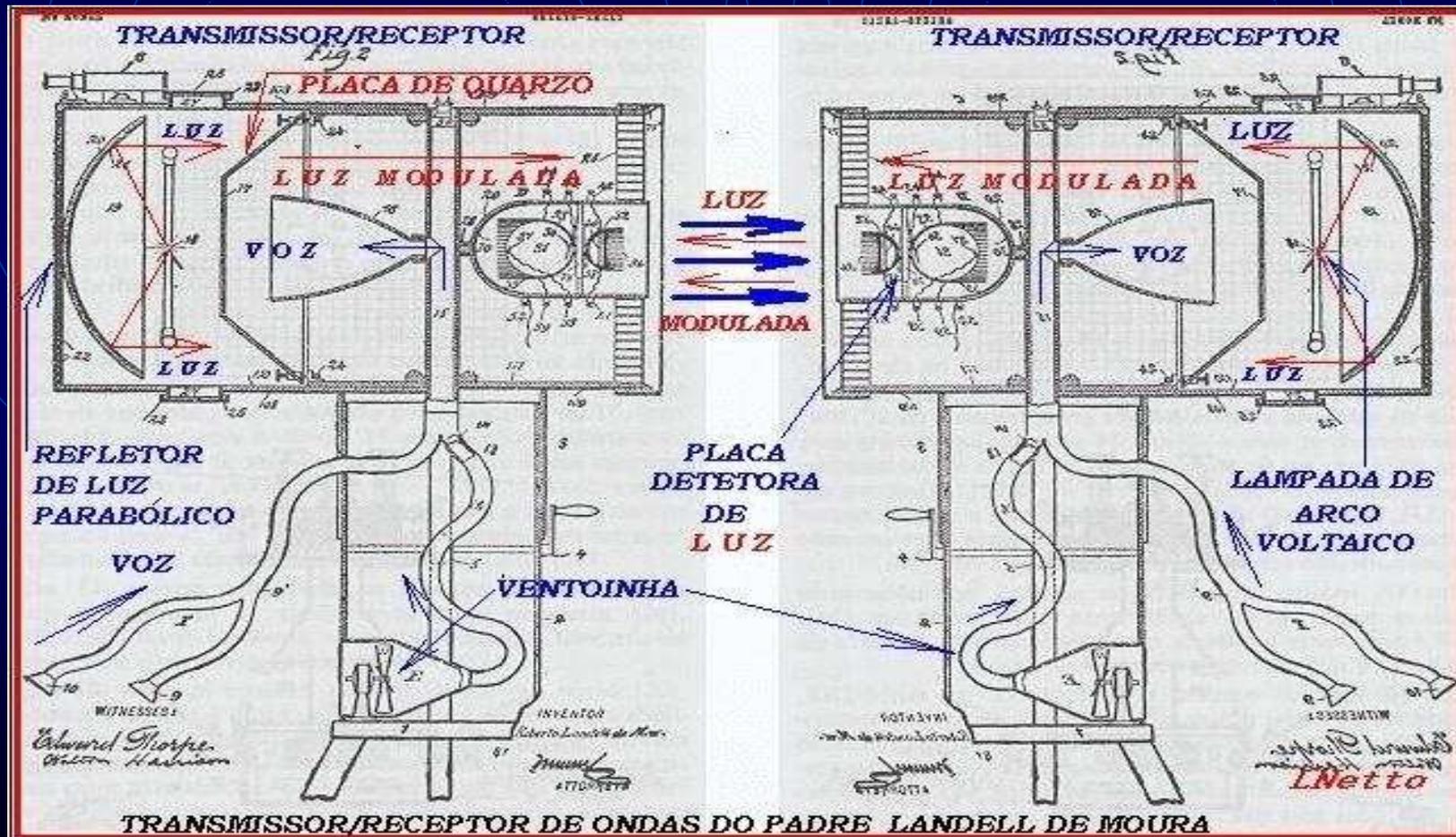
Roberto Landell de Moura

- Transmissão de sinais **de voz** via rádio: 1900, 8km, entre Santana e Av. Paulista (SP)
- Várias patentes (Brasil e EUA): transmissor de ondas, telefone sem fio (portadora:luz), telégrafo sem fio, **telephotorama** (precursor da TV): 1904
- Provável inventor da **válvula triodo**
- Pesquisas sobre halos de energia luminosa ao redor dos corpos: 1907
- Patrono dos radio-amadores brasileiros

TX/RX de ondas do Padre Landell

Transmissão de som através da luz

http://paginas.terra.com.br/arte/landell_de_moura/



RÉPLICA DO TRANSMISSOR DE ONDAS DE LANDELL DE MOURA

<http://www.aminharadio.com/radio/replica>



Popov

- Usou coesor conectado em pára-raios para registrar ocorrência de **tempestades** (1896)
- Desde 1945: reconhecido pelas autoridades soviéticas como **inventor do rádio**

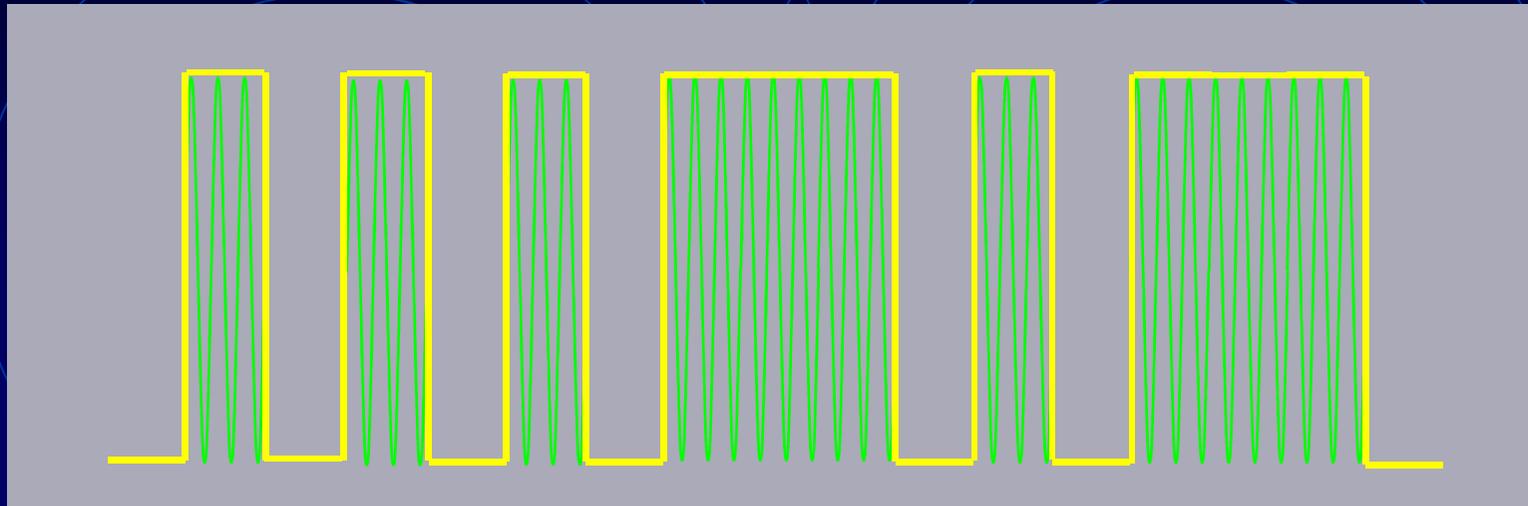
Reginald Fessenden

(Canadá, 1866-Bermuda, 1932)

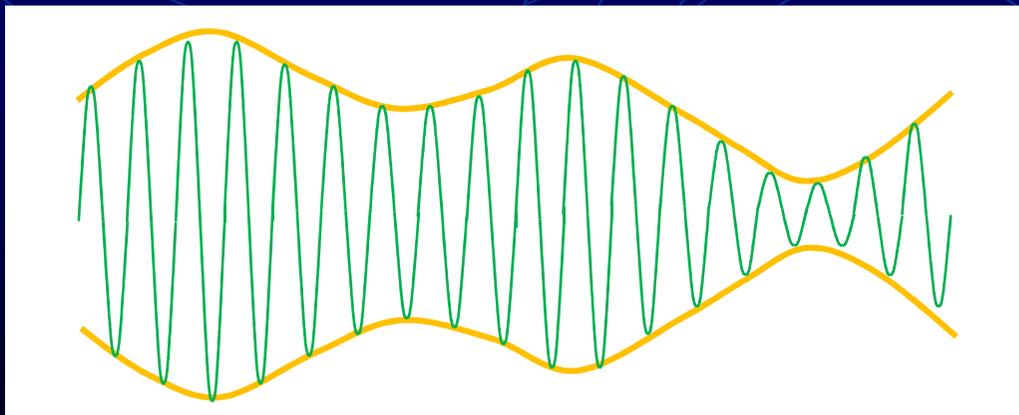


- Detetores mais rápidos e sensíveis que o coesor
- 1906: transmitiu o primeiro programa de **radiodifusão** (voz e música) na noite de Natal: **transmissão CW**
- Sistema de telefonia via rádio
- Propôs o princípio do **receptor heteródino**
- Invenção do sinal **AM**: mais de uma estação podia enviar sinais

Sinais de Fessenden



Código Morse e sinal CW

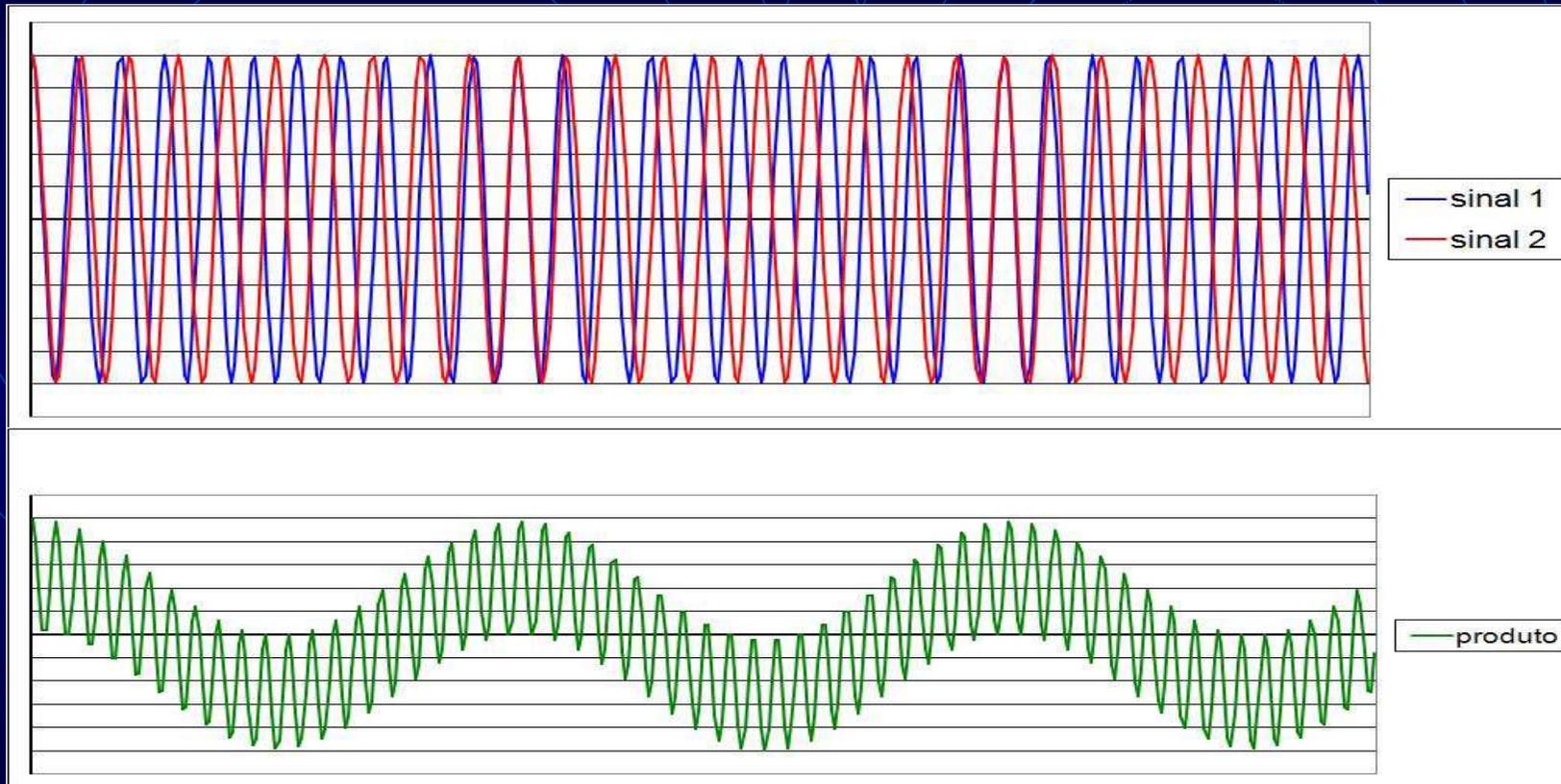


Sinal de áudio e portadora CW

Receptor heteródino

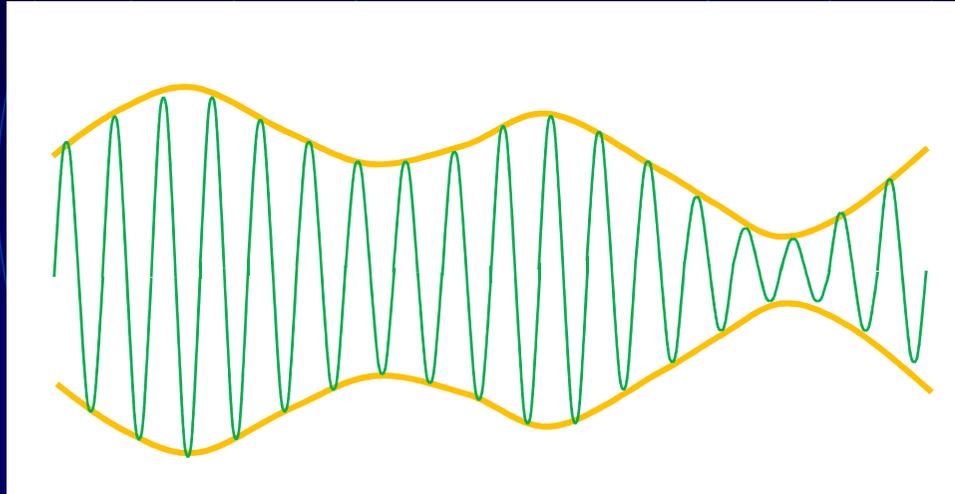
Princípio de funcionamento

heteros (diferente) dynamis (força)



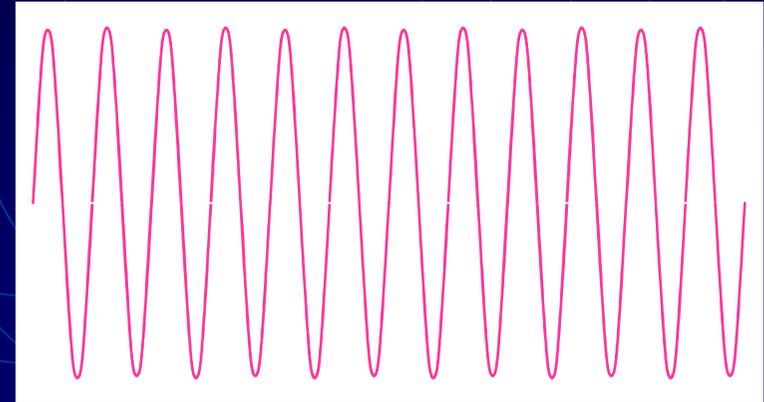
$$A \cdot \cos(2\pi f_1 t) \times B \cdot \cos(2\pi f_2 t) = \frac{AB}{2} [\cos(2\pi(f_1 - f_2)t) + \cos(2\pi(f_1 + f_2)t)]$$

Recuperação do sinal de áudio ("batimento")



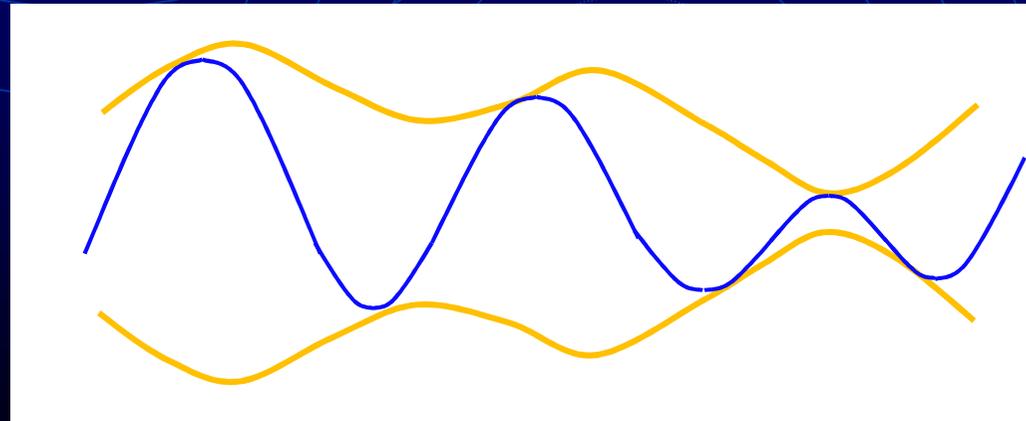
Sinal Recebido

X



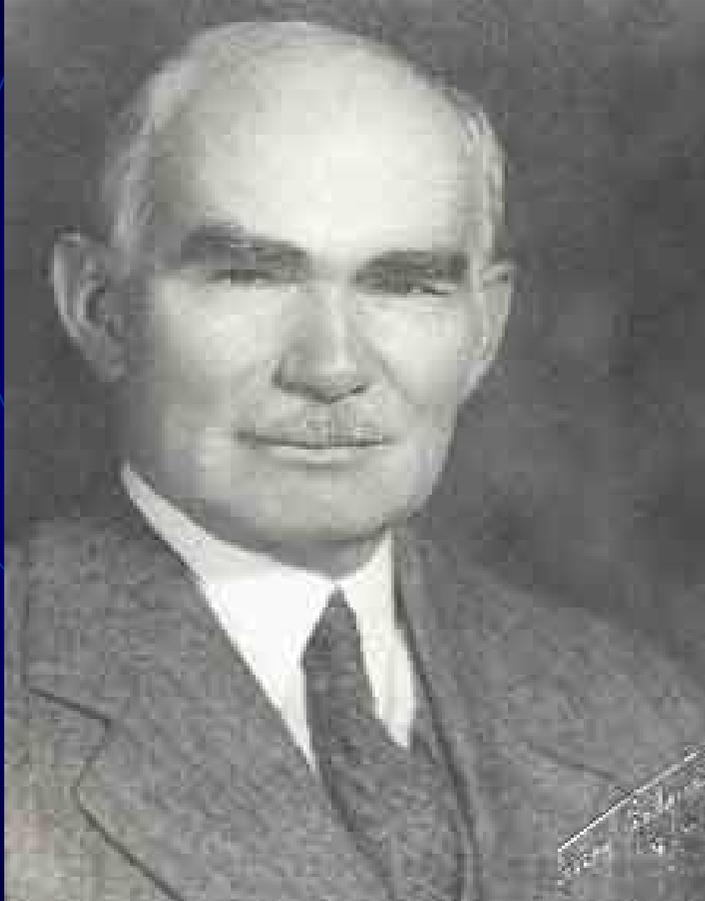
Oscilador Local

=

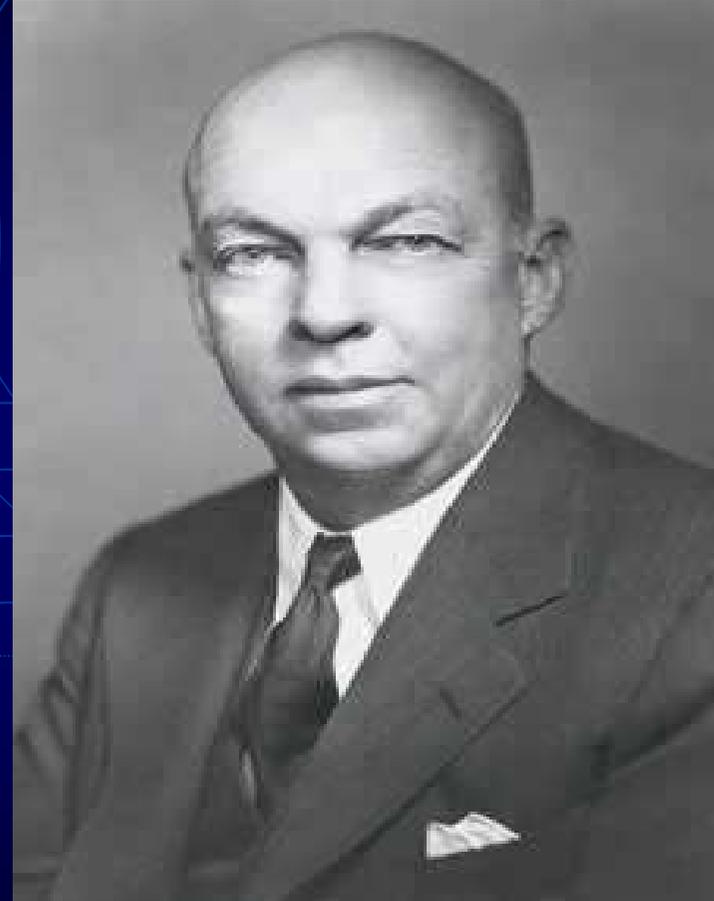


Sinal de áudio

Lee De Forest (EUA, 1873-1961)



X



Edwin Armstrong (EUA, 1890-1954)

As Primeiras Válvulas

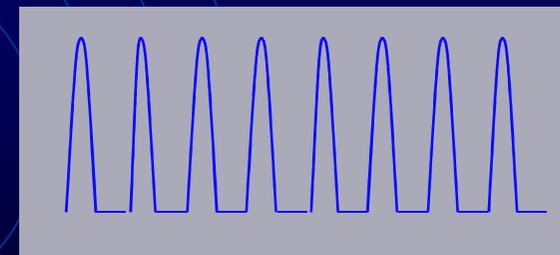
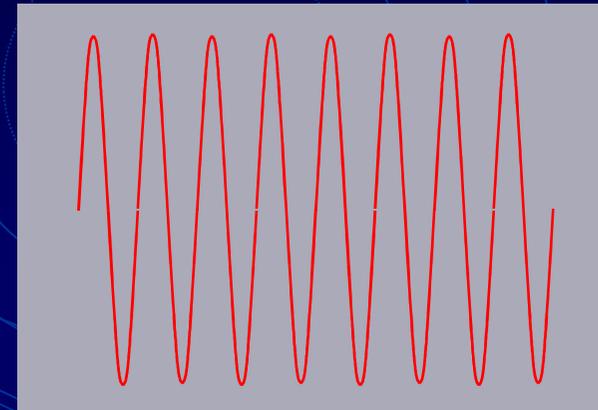
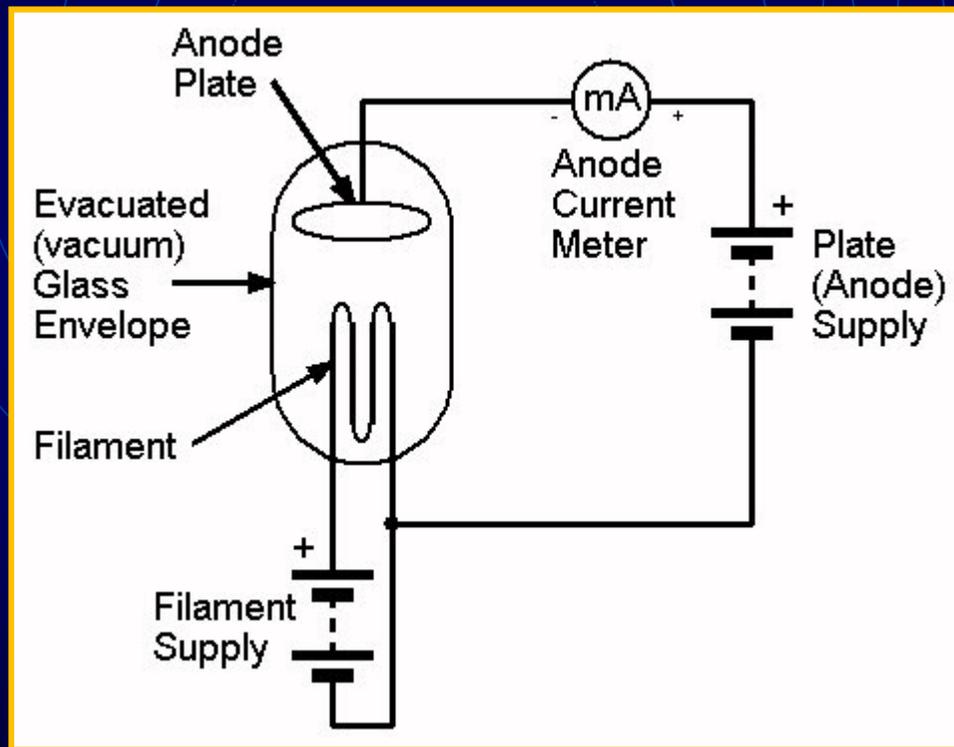


Válvula Diodo de Fleming
1904 (receptor)



Audion (triódo) de De Forest
1906 (detetor e amplificador)

O Efeito Edison



Retificação do sinal →
valor médio → detecção

Lee de Forest

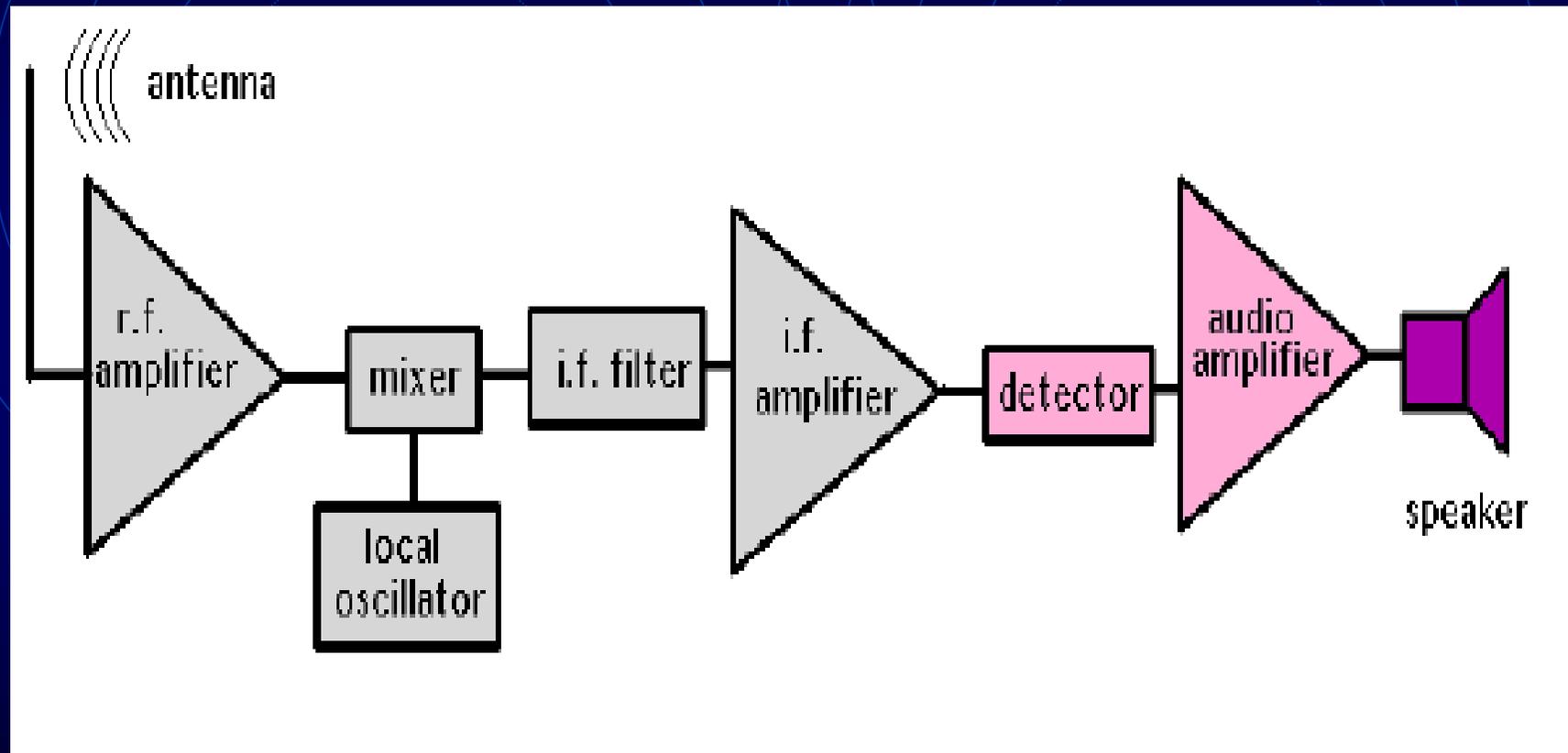
- Contribuições para a **radiodifusão**, a **televisão** e o **cinema** (inventou o “**Phonofilm**”)
- Mais de 180 patentes
- Mal sucedido nos negócios e na vida particular (4 casamentos)
- Várias suspeitas de fraude, pouca base científica
- Nunca conseguiu o título de “**Pai do Rádio**”

Armstrong

A moderna era do rádio

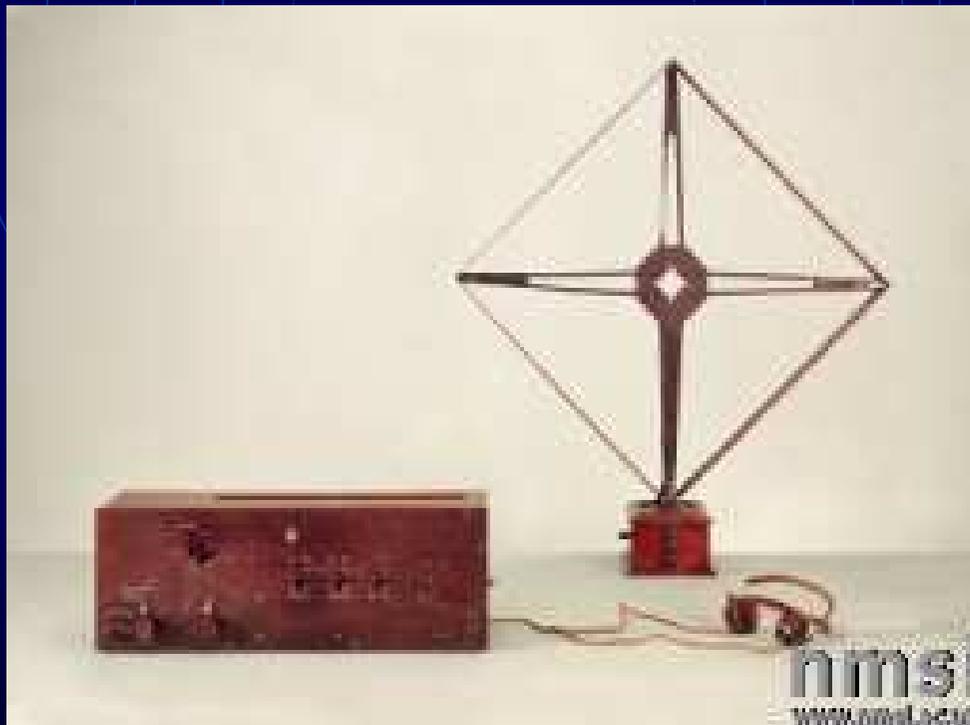
- 1913: Circuito **regenerativo** (amplificador e gerador de sinais de rádio)
- 1918: Receptor **super-heteródino**
- 1924: Circuito super-regenerativo
- 1930: FM (iniciou a era da **high-fidelity**)
- 1954: atormentado (várias batalhas de patentes), suicida-se

O receptor super-heteródino



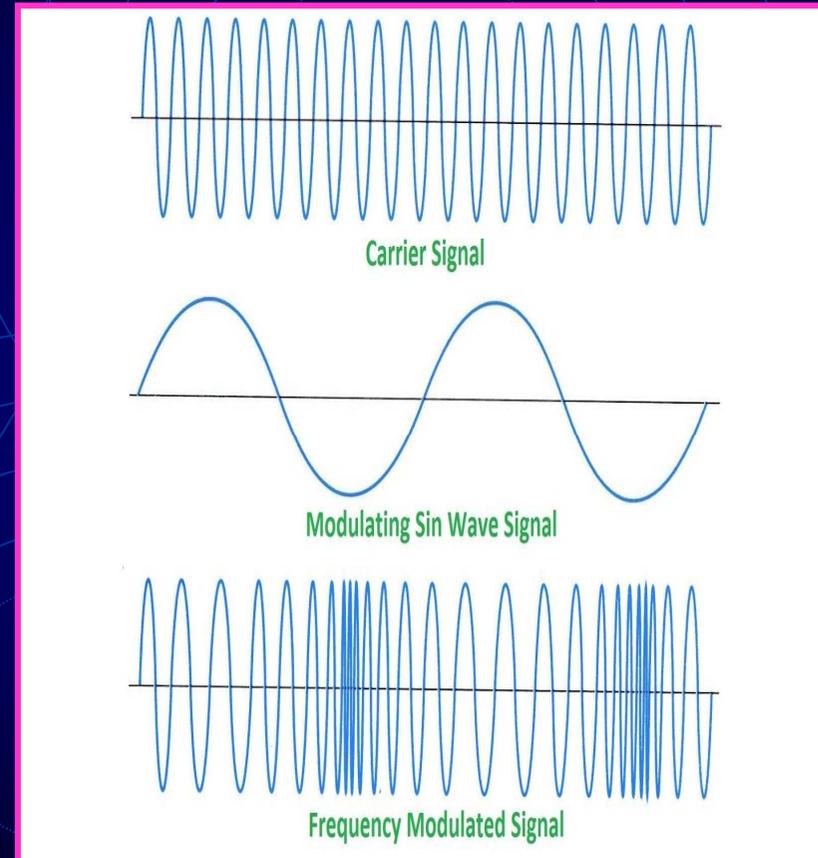
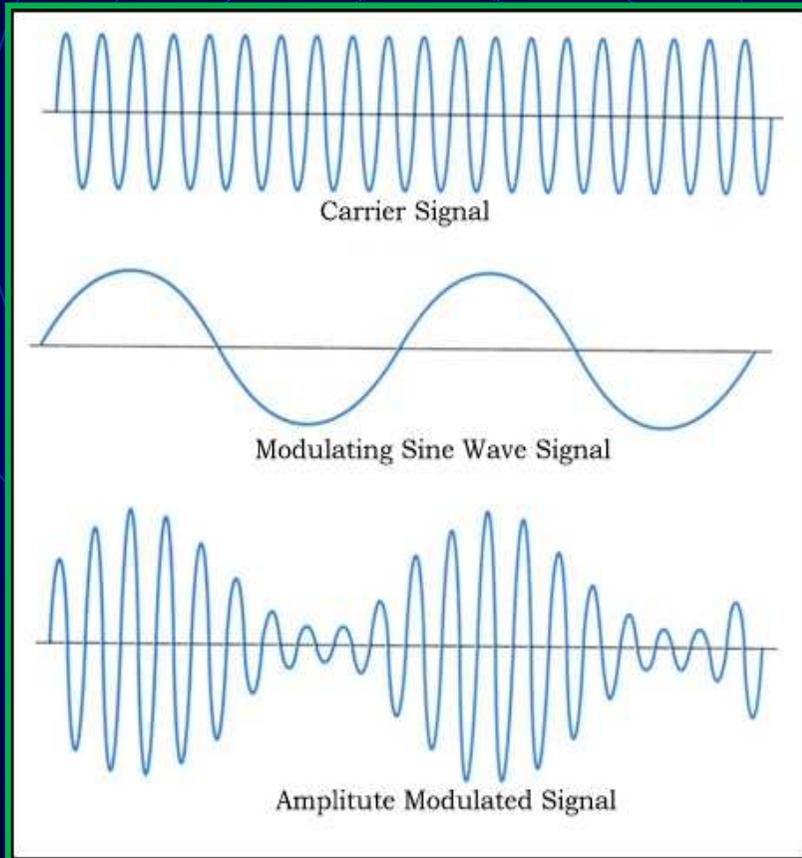
IF = Frequência intermediária (não audível),
alto nível de amplificação

Receptor super-heteródino, 1924



- Principais componentes: válvulas, bateria, antena, fone de ouvido
- Maior **sensibilidade** e **seletividade** – ampla faixa de frequências

Sistemas de Modulação

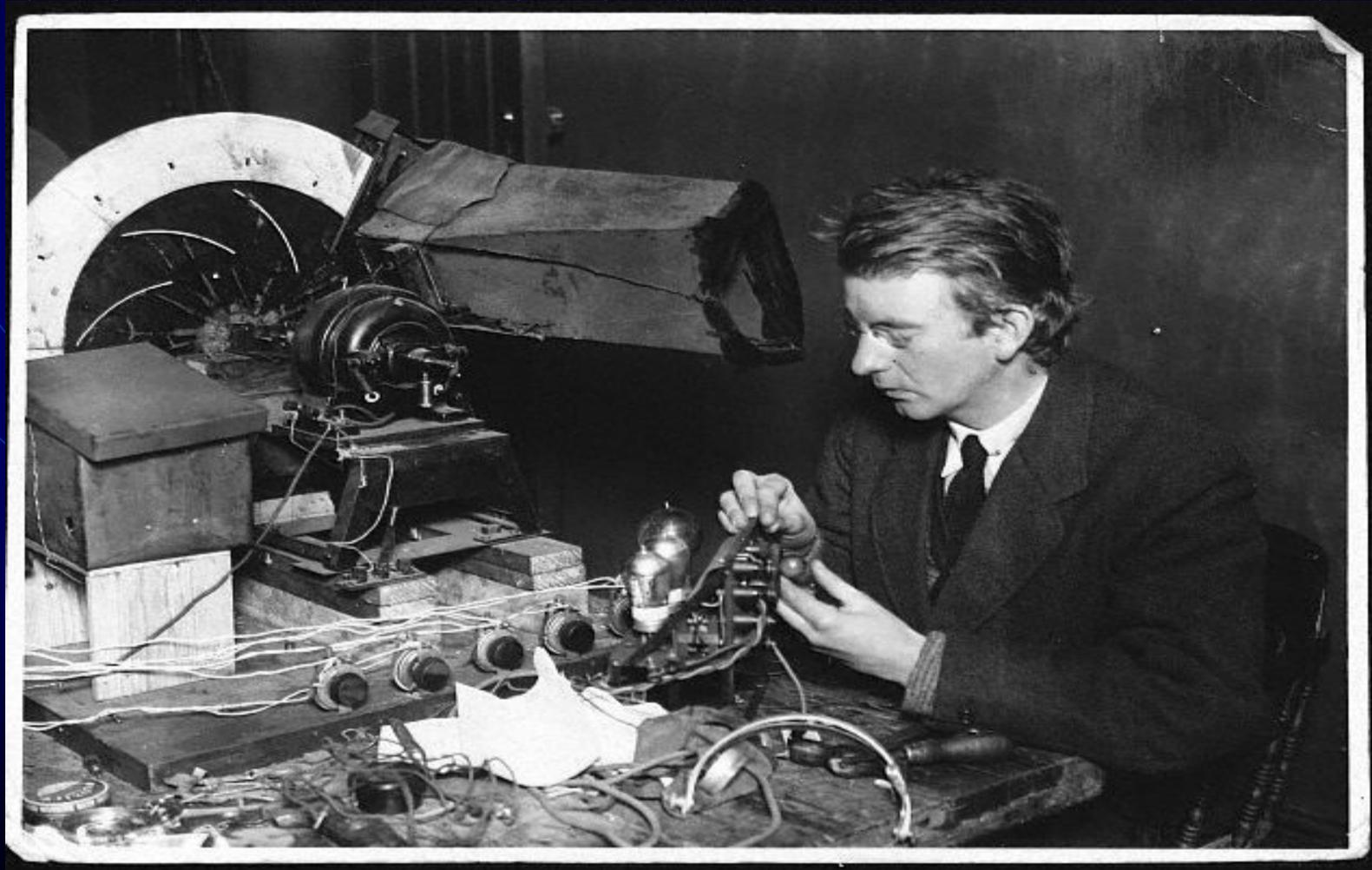


AM : menor banda, maior ruído

FM : maior banda, menor ruído

John Logie Baird

(Escócia, 1888-Inglaterra, 1946)



Baird

- Várias invenções mal sucedidas antes da TV
- 1925: Demonstração de sistema de TV na loja Selfridges, Londres

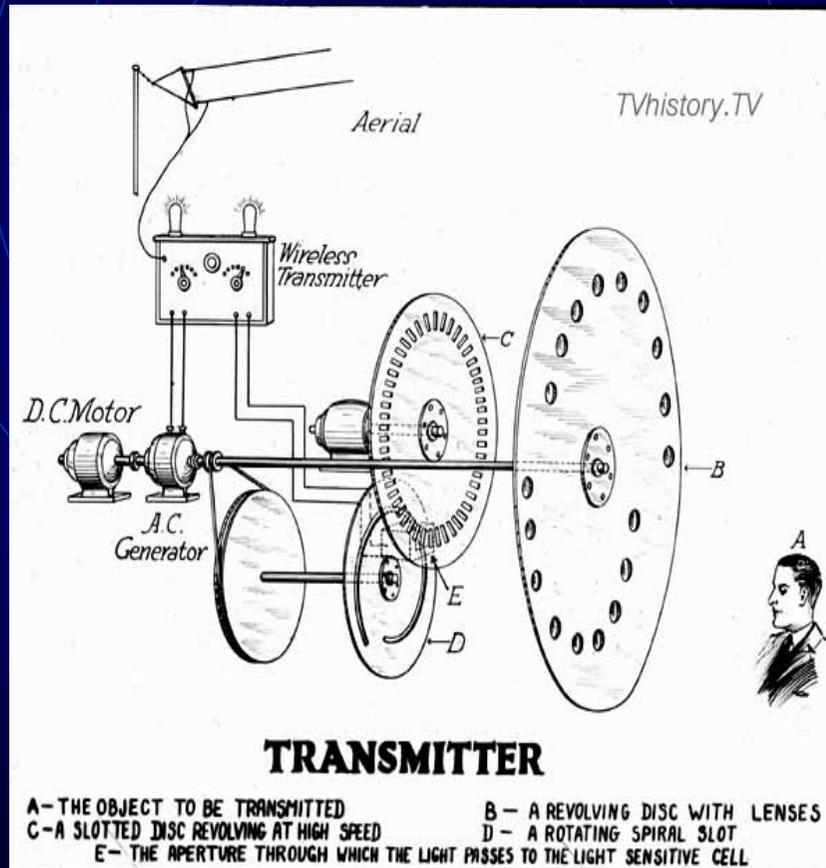
Sistema eletromecânico. Principais componentes: disco de Nipkow e célula fotoelétrica

- 1928: transmite imagens a cores
- 1935: TV elétrica substitui TV mecânica

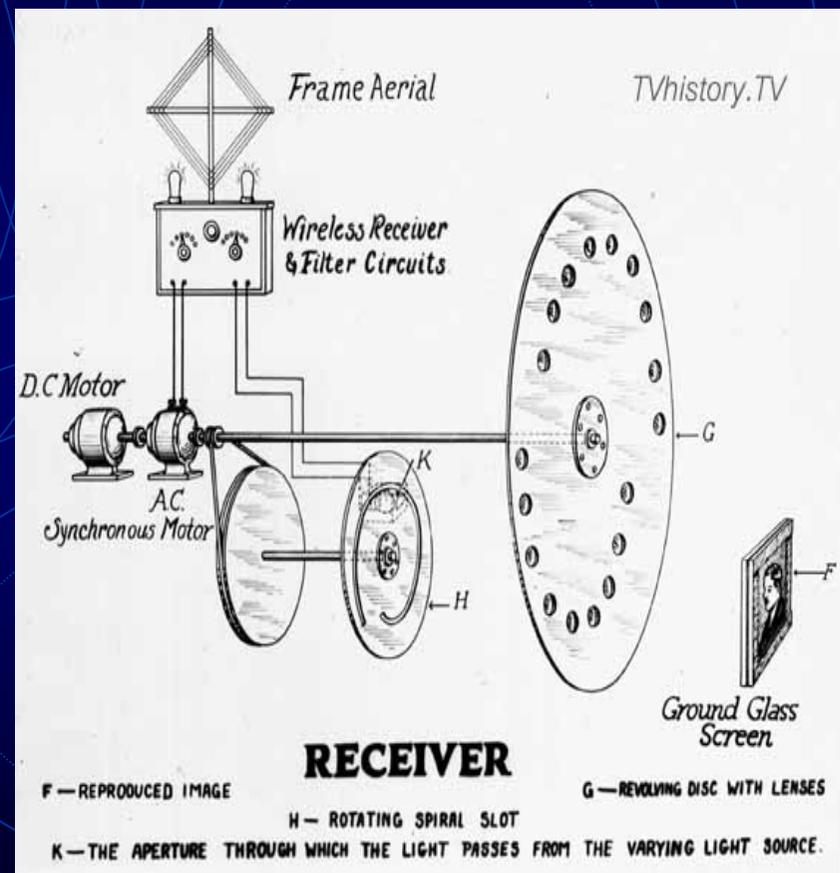
A TV Mecânica de Baird (1926)



A TV Mecânica de Baird (1926)

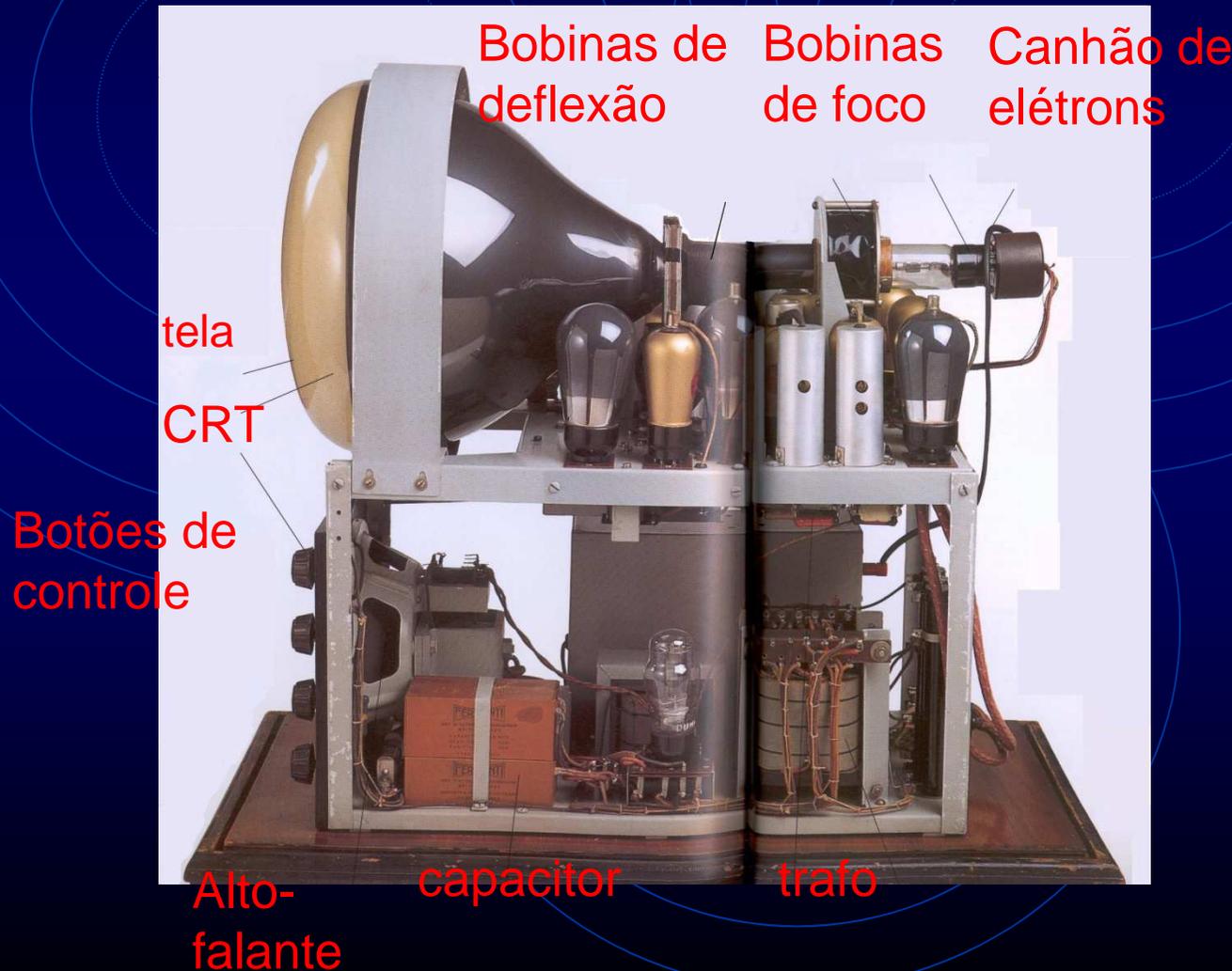


Transmissor



Receptor

Aparelho de TV elétrico (1930)



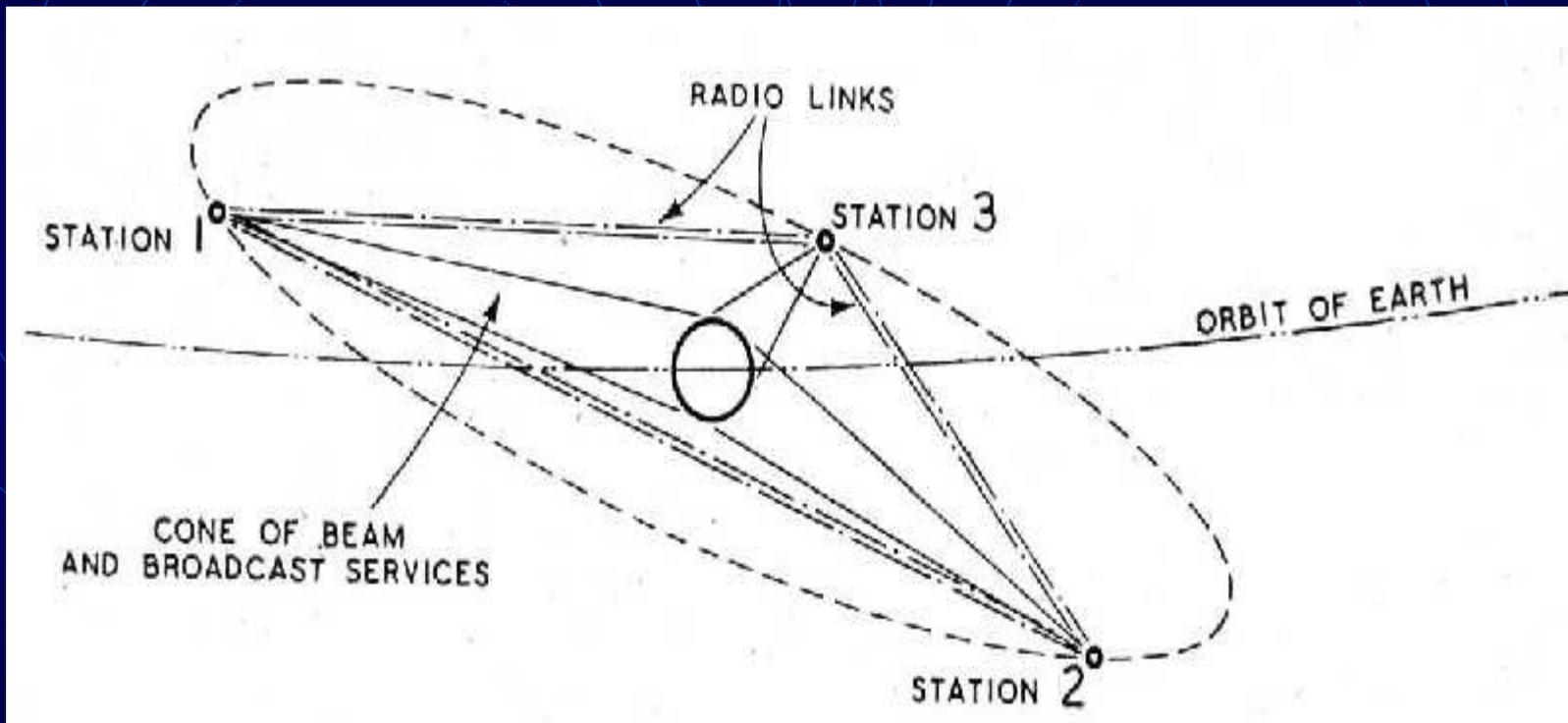
Arthur C. Clarke

(Inglaterra, 1917- Sri Lanka, 2008)



- Escritor de ficção científica
- **1945**: Artigo “Extra-Terrestrial Relays”: sistema de comunicações de sinais de rádio e TV através de **satélites geoestacionários** (órbita síncrona com a Terra – altura de 36.000 km)
- **3 satélites** para cobrir a superfície da Terra.

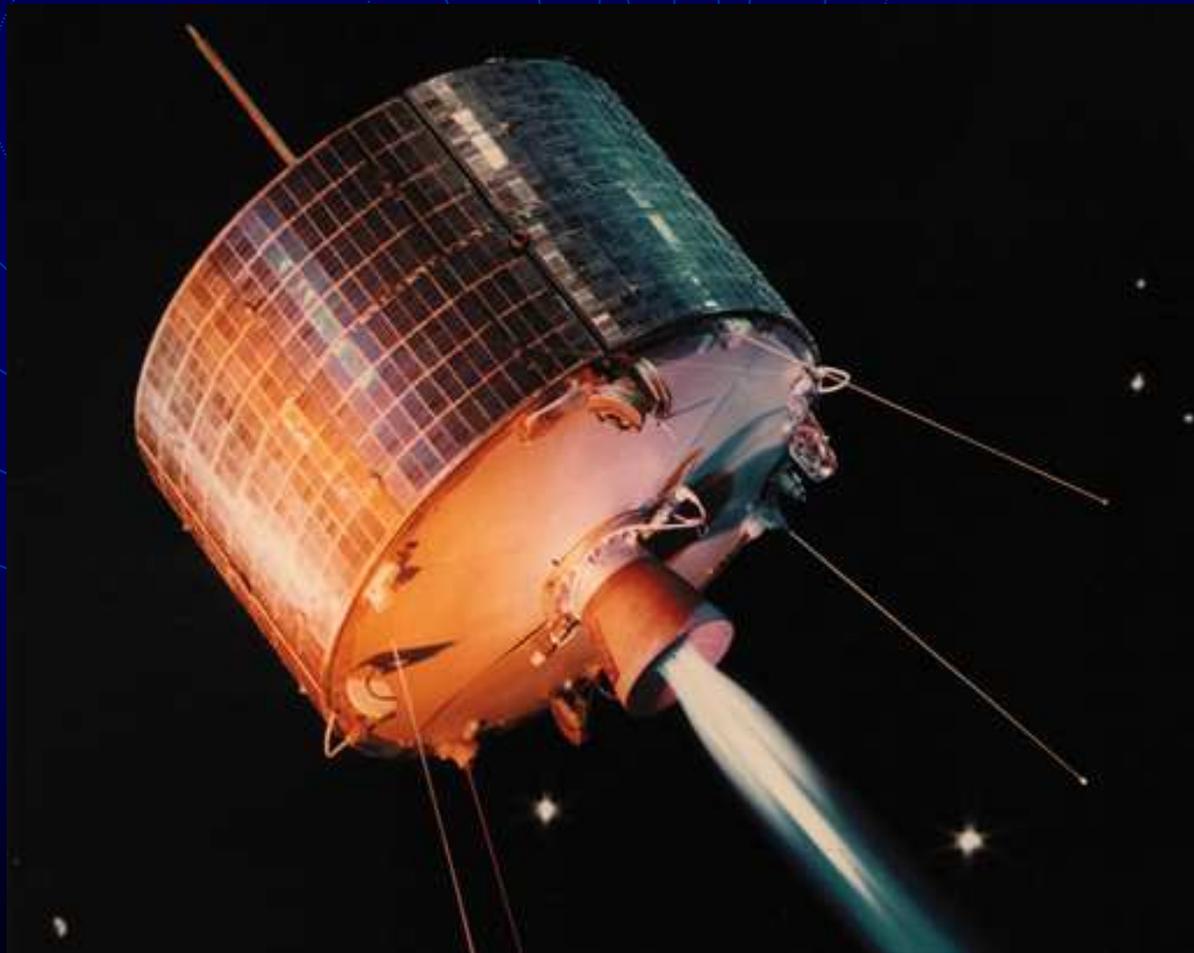
Arthur C. Clarke



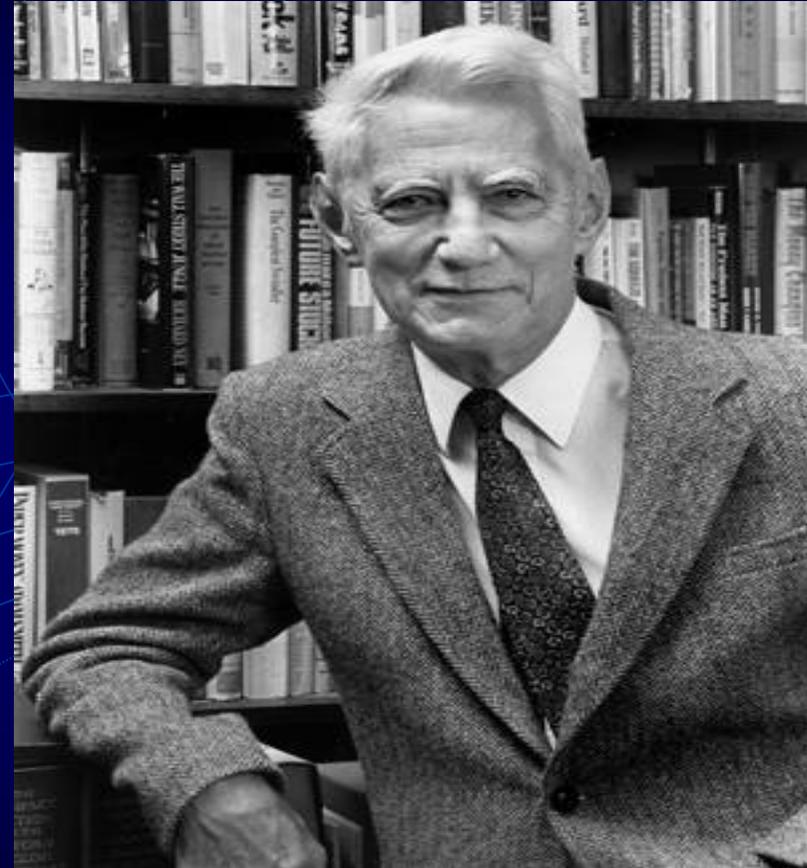
Desenho original de Arthur Clarke propondo o posicionamento dos três satélites

SYNCOM

O primeiro satélite geoestacionário
(NASA, 1963)



Jean-Baptiste Joseph Fourier (França, 1768-1830)

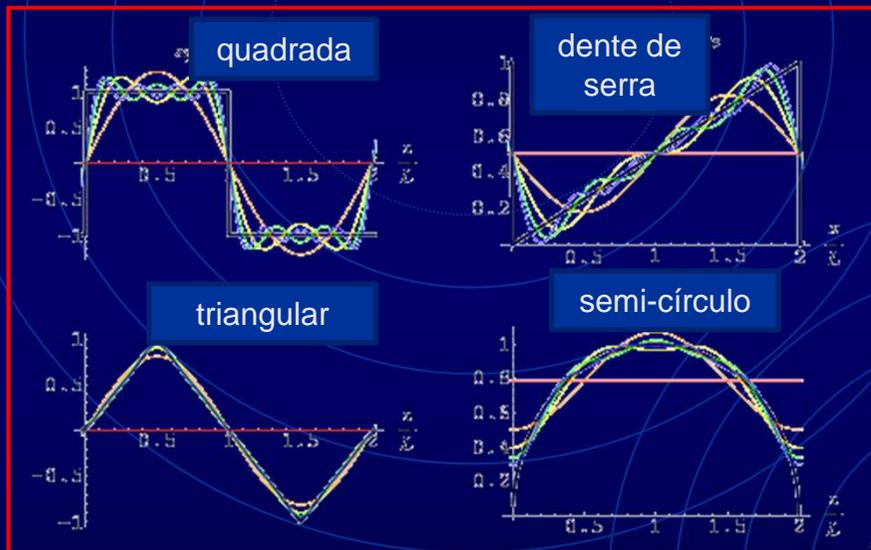


Claude E. Shannon (EUA, 1916-2001)

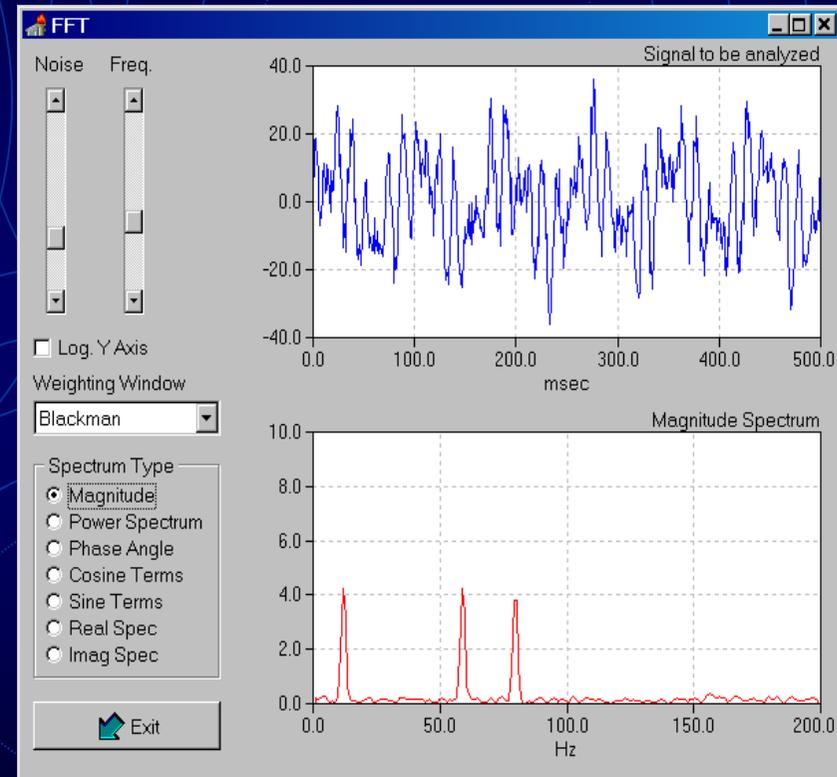
Fourier

- 1822: “Teoria Analítica do Calor”: expansão de funções em séries trigonométricas
- Séries e Integral de Fourier: espectro dos sinais elétricos
- Digitalização dos sinais de comunicação: Transformada Discreta de Fourier
- Processamento de sinais e imagens (DSP)

A Teoria de Fourier



As séries de Fourier



O espectro dos sinais

Shannon

- **Pai da Teoria da Informação**
- 1937 (MSc no M.I.T.): projeto de circuitos elétricos chaveados, usando Álgebra Booleana
- 1948: **“A Mathematical Theory of Communications”**: compressão, criptografia e correção de dados digitais

Conclusões

- **Destino dos humanos**: descobrir e entender o mundo; inventar novos sistemas
- Descobertas e invenções ocorrem de forma **sequencial, combinatória** e às vezes de forma **independente**
- Exigem muito **tempo**, muito **trabalho** e vários **“fracassos”**
- Desenvolvimento “natural” (trabalho, inteligência) às vezes alterado pela **genialidade** de alguns e pela sorte de outros (**serendipidade**)

Conclusões

- São afetadas por **Fatores Humanos**: arrecadação de recursos, aspectos políticos, patentes, vaidades, ambições, doenças, infelicidades
- Heróis foram **seres humanos** \Rightarrow cada um de nós pode também ser **herói**

Conclusões

- Entender a **História da Ciência** é entender a própria **Ciência**
- **Sistema de Educação** pode ser falho (base: ensino do estágio atual do conhecimento).
 - Há truncamento da evolução das ideias
 - Mostra apenas resultados finais
 - Inibe contestação de “verdades” aceitas

Conclusões

- Para **entender com clareza** um fenômeno ou uma invenção, resolver um problema ou realizar um projeto/ outra invenção: **cada ser humano deve percorrer as etapas que já foram percorridas pela Humanidade.**
- **Inovação** pode ser a aplicação de antigas soluções a novos problemas!

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)
- “What hath God wrought?” (Morse, 1844)
- “Mr. Watson, come here. I want you” (Bell, 1876)
- “Santo Deus! Isto fala...” (D.Pedro II, 1876)
- “Can you hear anything, Mr. Kemp?” (Marconi, 1901)
- “The present is theirs ; the future, for which I really work , is mine.” (Tesla)

Frases Fantásticas

- “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)

Frases Fantásticas

- "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)

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
- P.J.Nahin, *The Science of Radio*, Springer, 2001

Bibliografia

- <http://en.wikipedia.org/>
- www.ifi.unicamp.br/
- www.scienceandsociety.co.uk/
- www.cedmagic.com/history/
- muse.jhu.edu/
- <http://www.rigb.org/>
- www.beardsleetelegraph.org/
- dibinst.mit.edu/
- http://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna

Bibliografia

- 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.freeseerve.co.uk
- www.mhs.ox.ac.uk/
- www.tvhistory.tv/
- www.ifi.unicamp.br/~ghtc/

Agradecimentos

- Prof. José Roberto Cardoso
- Prof. José Edimar Barbosa Oliveira
- Profa. Elenice B. Consonni
- Profa. Elizabete Galleazo



Somos parte da História !

Rio de Janeiro, 1995

Centenário Marconi

Princesa Elettra Marconi