



1



ORIGEM E EVOLUÇÃO DA ENGENHARIA ELÉTRICA

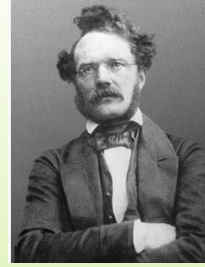
Ewaldo Luiz M Mehl
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Paraná
mehl@ufpr.br

2

1.^a parte:
A magia da eletricidade

2.^a parte:
Os Engenheiros

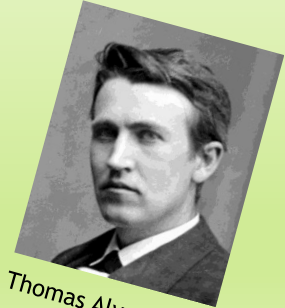
3.^a parte:
Brasil



Werner Von Siemens



Nikola Tesla



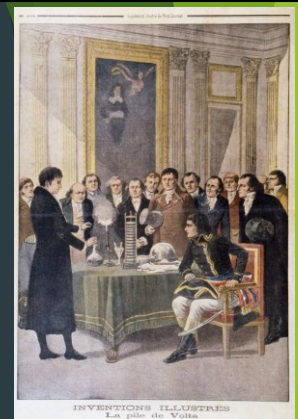
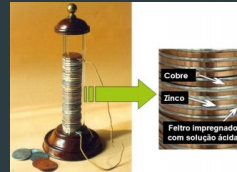
Thomas Alva Edison

3

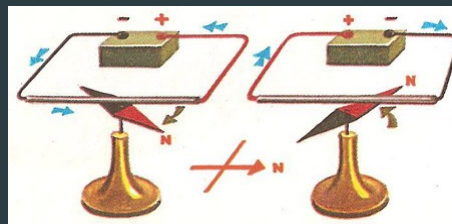
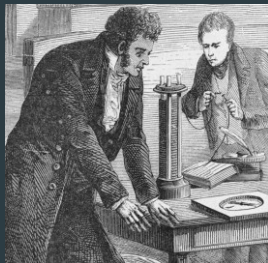
Origens...



- **Alessandro Volta (1745 – 1827)** (Bologna) desenvolveu a primeira bateria elétrica.



- **Hans Christian Oersted (1777 – 1851)** (Dinamarca) demonstrou a relação entre eletricidade e magnetismo.



4

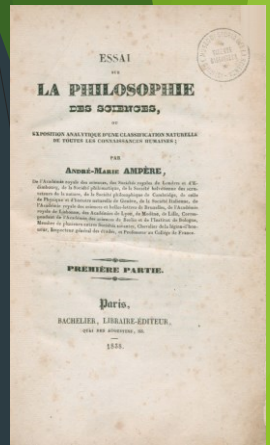
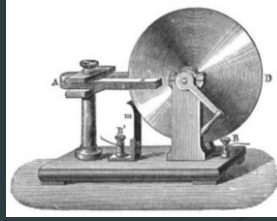
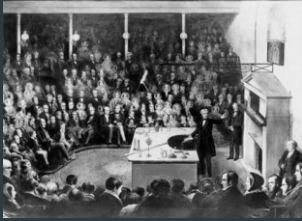
Origens...



- **André Marie Ampère (1775-1836)** (França) Tinha sólidos conhecimentos matemáticos e deduziu as leis que regem as atrações e repulsões das correntes elétricas entre si.

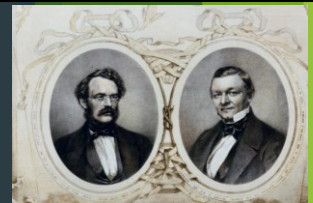


- **Michael Faraday (1791-1867)** (Inglaterra) Trabalhos experimentais sobre eletricidade e magnetismo, lança as bases dos futuros desenvolvimentos de máquinas elétricas.



5

[Ernst] Werner Von Siemens: 1816-1892
Telégrafo de ponteiro (Zeigertelegraf)



Werner von Siemens & Johann Georg Halske, 1855

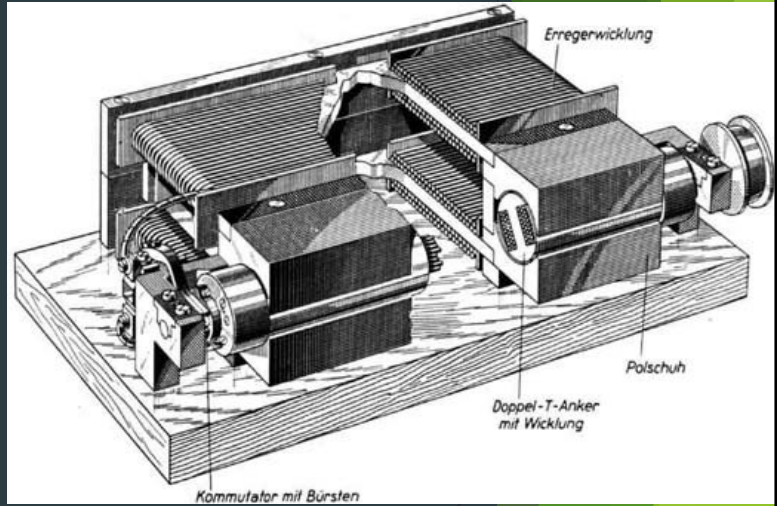


Siemens-Zeigertelegraf

6

Werner Siemens:

- 1847: fundação da *Telegraphen-Bauanstalt Siemens & Halske*
- 1866: Invenção do motor-dínamo
- 1879: trem elétrico
- 1879: funda a *Elektrotechnischer Verein*.
- Criador do termo *Elektrotechnik* (=Engenharia Elétrica)
- 1880: elevador elétrico
- 1882: bonde elétrico
- 1887: fundação do *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (atual *PTB-Physikalisch-Technische Bundesanstalt*) por sugestão de Siemens.
- 1888: Werner **von** Siemens

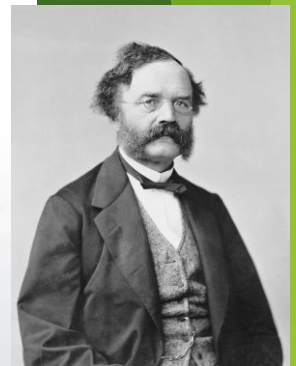
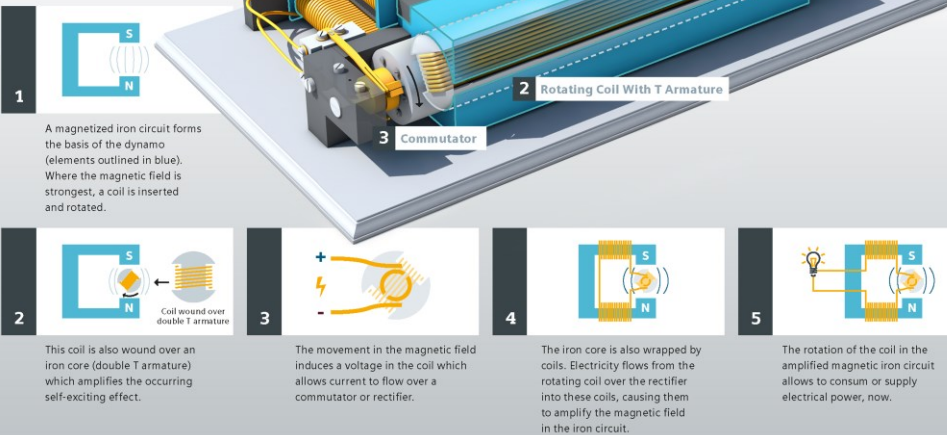


7

The dynamo-electric principle

A powerful driving force for 150 years

The discovery of the dynamo-electric principle by Werner von Siemens has brought about greater changes to the way our society lives than practically any other scientific breakthrough.



© Siemens AG 2016

8



1879 - Elektrolokomotive - Werner von Siemens
300 m, 150 V DC, Motor 2,2 kW, max. 7km/h

9

Organ. f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens.

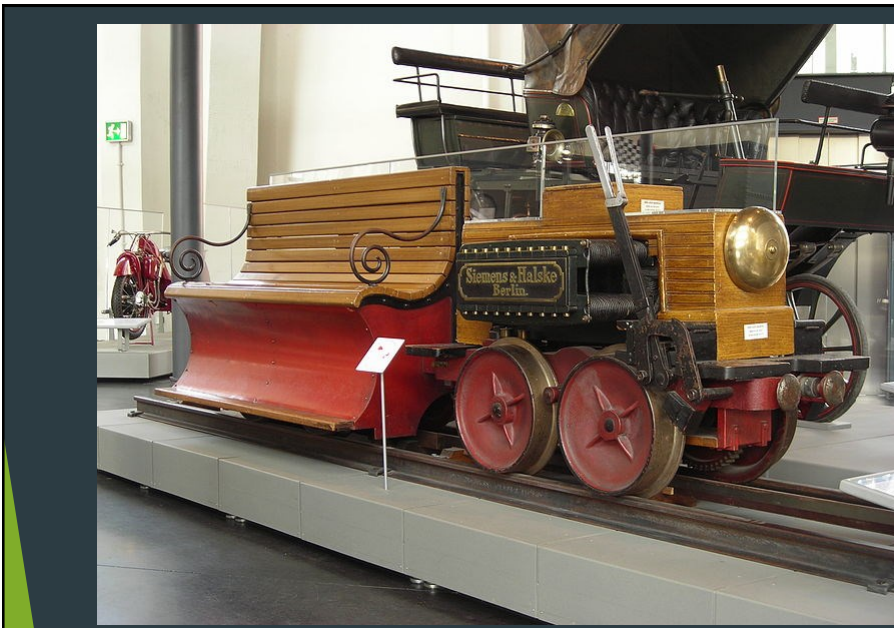
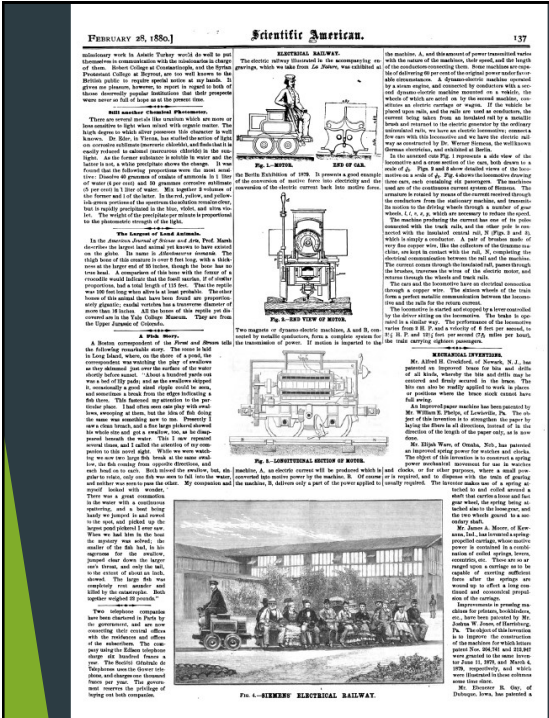
Versuchszug mit der electro-dynamischen Locomotive
in Betrieb in der Gewerbe-Ausstellung in Berlin 1879.
Fig 1 & 2 Maassstab 1:40.
Fig 1 Seitenansicht.

Fig 2.
Vordere Ansicht
der Wagen.

Dynamo-electrischer Inductor (Siemenscher.)
Fig 3 & 4 Maassstab 1:20 und Fig 5 & 6 Maassstab 1:10.
Fig 3 Vordere Ansicht. Fig 4 Querschnitt nach n. n.

1879 - Elektrolokomotive - Werner von Siemens
300 m, 150 V DC, Motor 2,2 kW, max. 7km/h

10



Deutsches Museum
VERKEHRZENTRUM

1879 - Elektrolokomotive - Werner von Siemens
300 m, 150 V DC, Motor 2,2 kW, max. 7km/h



Lichterfelde (Berlin) tram, 1882
2,4 km, 180 Volt DC, Motor 4 kW (5,4 hp)

13

Thomas Alva Edison

The Miracle of the 19th Century.

The Talking WONDER.

The Talking WONDER.

Edison's Phonograph.

THE DREAM OF THE INVENTOR REALIZED.
It will Talk, Sing, Laugh, Crow, Whistle, Repeat
Cornet Solos, imitating the Human Voice,
enunciating and pronouncing every word perfectly,
IN EVERY KNOWN LANGUAGE.

This wonderful machine, which has attracted the attention of thinking men all over the civilized world, and who have pronounced it without a dissenting voice, the most Marvellous Acoustical Phenomenon of the Century. Will be exhibited in Grand Rapids, at

FRIEDRICH'S MUSIC HALL,
NO. 83 CANAL STREET,
Commencing **WEDNESDAY, JULY 31,**
Exhibited Daily July 31, 4th 5th and 6th.

To accommodate those who desire not only to hear the Phonograph speak, but to inspect and examine it closely, it will be exhibited every day from 10 to 12 A. M., from 2 to 4 P. M., and from 8 to 10 evenings. The operator will fully explain the machine and test its powers at every entertainment.
—Special admission sold to Ladies and Children.

ADMISSION, only 25 Cents, Children, 10 Cents.

Saginaw 25th Street—W. C. Dentist & Co.

Photograph of Edison with his phonograph (2nd model), taken in Mathew Brady's Washington, D.C. studio in April 1878.

Levin C. Handy (<http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cwpbh.04326>) - Brady-Handy Photograph Collection (Library of Congress) - <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cwpbh.04044>, Dominio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1550649>

14

T. A. EDISON.
Electric-Lamp.
No. 223,898. Patented Jan. 27, 1880.

Inventor
Thomas A. Edison
for Samuel N. P. Farrell

1879 T.A. Edison: Lâmpada Elétrica

J. Walter Thompson/AP

http://www.classstudio.com/scaltagi/img/Internship/sightseeing_day2/edison_bulb.jpg

15

Joseph Swan

- ▶ 1850: Pesquisas sobre uso de filamento de papel carbonizado para produzir luz
- ▶ 1860: desenvolvimento de uma bomba de vácuo usando mercúrio (o mesmo tipo de bomba foi usado por Thomas Edison)
- ▶ 18/Dezembro/1878: Primeira demonstração pública da lâmpada elétrica (filamento de algodão carbonizado) - A lâmpada queimou em poucos minutos
- ▶ 3/Fevereiro/1879: Palestra para mais de 700 pessoas. A lâmpada permaneceu acesa por aproximadamente uma hora sem queimar
- ▶ 1881: Swan descobre um método para produzir "fios sintéticos", soprando nitrocelulose através de pequenos orifícios. O filamento obtido, após ser carbonizado, mostrou ótimos resultados nas lâmpadas
- ▶ 1881: *The Swan Electric Light Company*
- ▶ 1881: Fornecimento de lâmpadas Swan para os navios *The City of Richmond* (Inman Line) e *HMS Inflexible* (Marinha Britânica)
- ▶ 28/Dezembro/1881: O Teatro Savoy em Londres é inaugurado com 1200 lâmpadas Swan

**THE FIRST
PRACTICAL INCANDESCENT ELECTRIC LAMP**
MADE BY SIR JOSEPH WILSON SWAN FRS; AND EXHIBITED AT NEWCASTLE, ENGLAND, IN
1878

16

Lâmpada de Edison

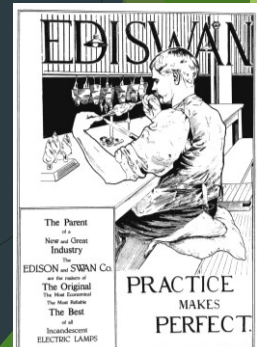
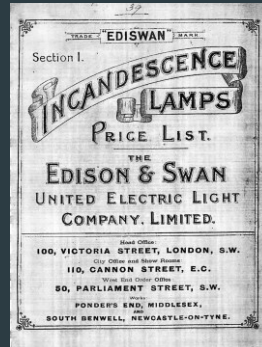
- Patenteada nos EUA em janeiro de 1880
- Filamento de bambu carbonizado
- Filamento de alta resistência permitia ligar várias lâmpadas em paralelo
- Baixa eficiência e baixa duração do filamento

Lâmpada de Swan

- Patenteada em UK em 1878
- Filamento de algodão carbonizado de baixa duração
- Filamento de baixa resistência exigia ligação em série de várias lâmpadas
- 1881: Filamento de celulose carbonizado = melhoria na eficiência e na durabilidade das lâmpadas

Edison & Swan United Electric Light Company

- Fundada em 1883 para encerrar as disputas judiciais entre Swan e Edison



17

- Bulbo: Edison
- Filamento de celulose carbonizado: Swan
- Encaixe tipo baioneta: Swan



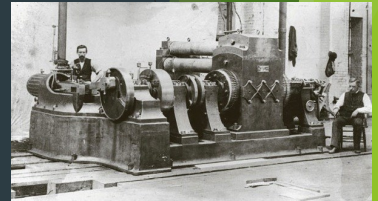
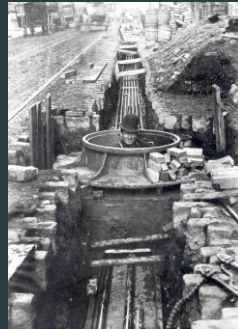
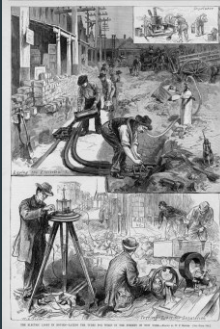
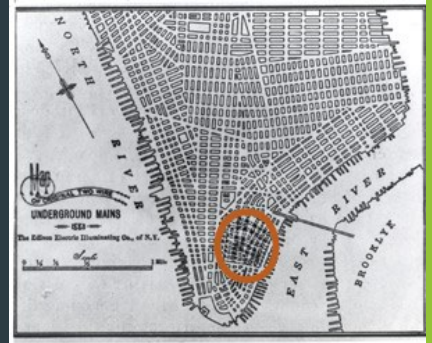
- Somente a partir da Segunda Guerra Mundial passou a ser usual no Reino Unido usar lâmpadas com a "rosca Edison", mas com 27 mm de diâmetro (E27) em vez do padrão de 26mm de diâmetro usado nos EUA (E26).
- Lâmpadas E26 encaixam sem problemas em soquetes E27. Lâmpadas E27 podem ter problemas para serem usadas em soquetes E26
- Luminárias com soquete tipo baioneta ainda são comuns de serem encontradas no Reino Unido e em antigas colônias britânicas (Índia, Paquistão, Austrália etc.)
- No Brasil a norma NBR-IEC-60238 de 10/2005 adota a rosca Edison E-27



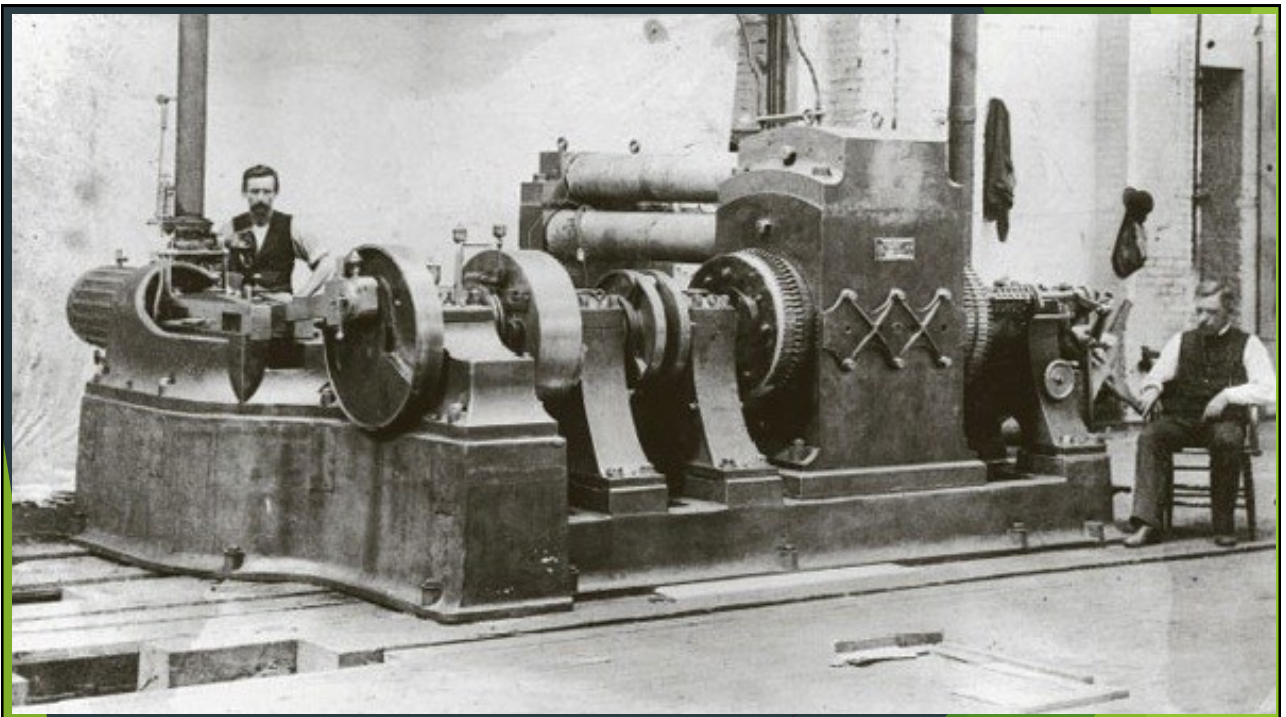
18

Dez. 1880 – Nova York, EUA
Edison Illuminating Company
T.A.Edison & J.P.Morgan

- Fonte da energia: carvão (caldeira para produção de vapor) + 6 dínamos + 6 Porter-Allen
- Sistema de Distribuição em **Corrente Contínua**
- Tensão = 110 V
- “Cabos” subterrâneos (canos de cobre)
- Inspirada nos teares de algodão



19



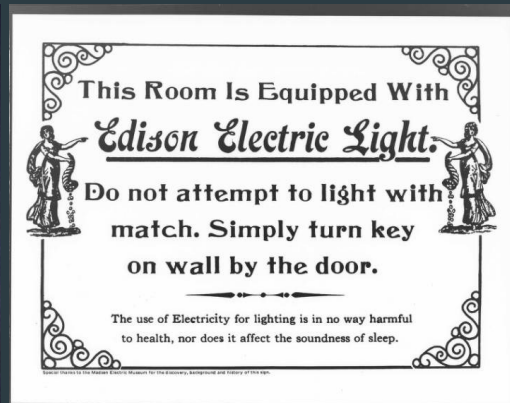
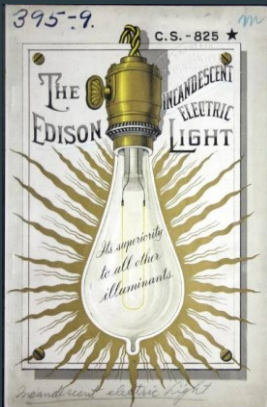
20



21

Set.. 1882

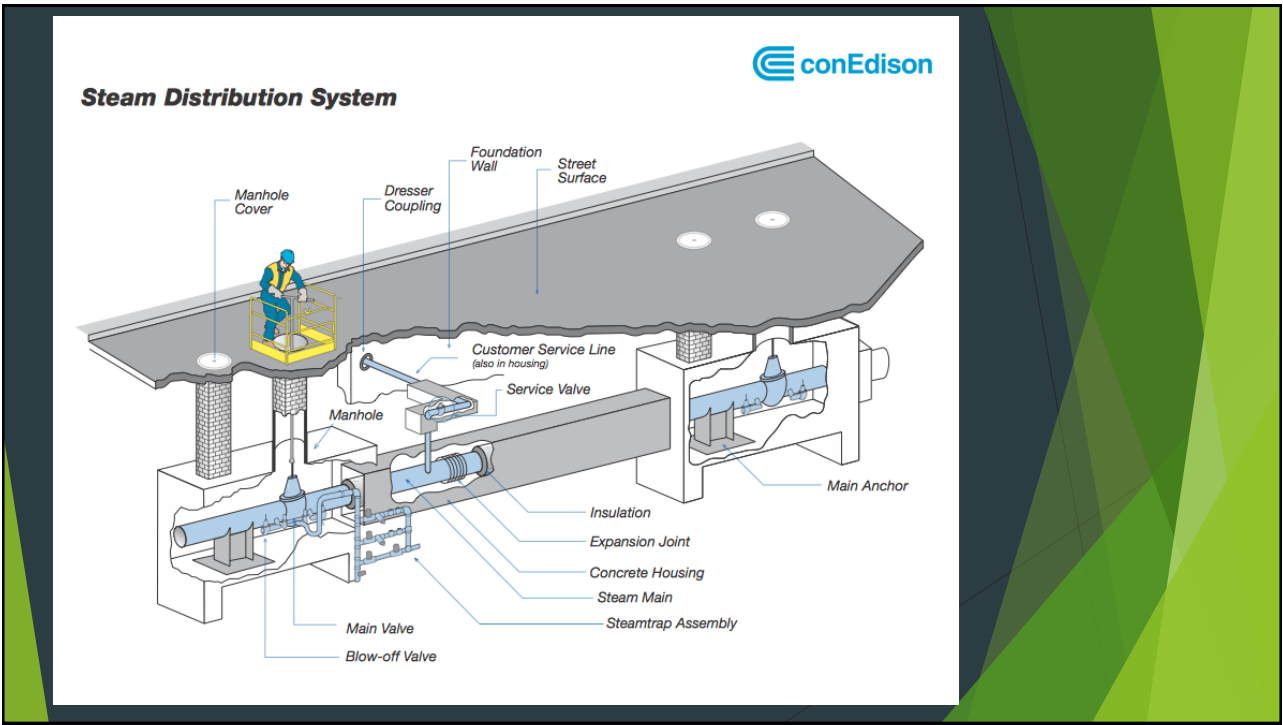
- Início: 59 casas e escritórios em Manhattan, aprox. 200 lâmpadas (1ª: Escritório de J.P.Morgan)
- Subproduto: vapor



22



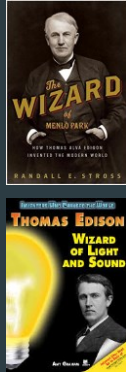
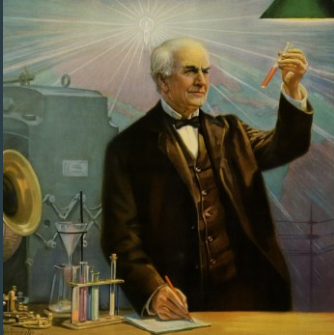
23



24

Análise do Projeto da *Edison Illuminating Company*

- ▶ Visibilidade mundial
- ▶ Símbolo de modernidade
- ▶ Elevado *Status* social dos consumidores
- ▶ Multiplicação em outras cidades: Boston, Philadelphia, Londres
- ▶ Exaltação da figura de Thomas Edison



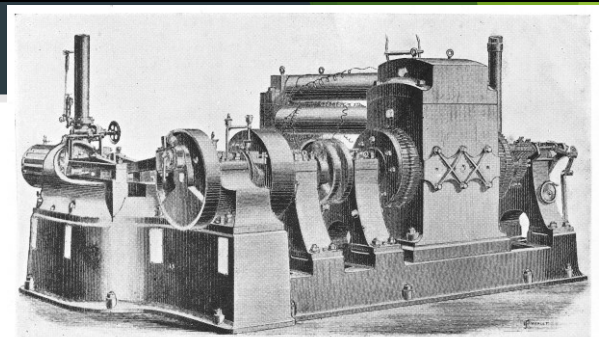
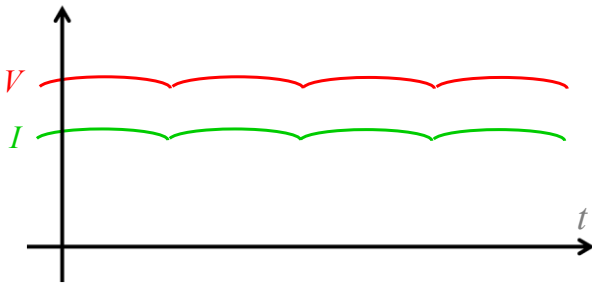
- ▶ Lâmpadas pouco eficientes (1,7 lm/W - atual VSAP = 100 lm/W)



- ▶ Necessidade de fabricar TUDO: lâmpadas, cabos, interruptores
- ▶ Perdas elevadas: Geração: 110V Extremidades da rede: 90V
- ▶ Alto preço do COBRE (e falta de alternativas...)
- ▶ Local para a instalação dos dínamos
- ▶ Motores caros, de baixa potência e pouco eficientes
- ▶ Combustível: carvão → Transporte e fumaça!
- ▶ Somente viável em cidades com ALTA DENSIDADE POPULACIONAL: New York + ?
- ▶ \$\$\$

25

Corrente Contínua

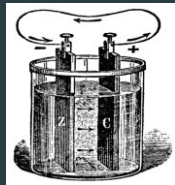
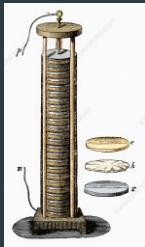


The Edison 1,500-light 110-volt Steam Dynamo called the "Jumbo." Installed in 1882 at Holborn Viaduct Station, London, at Milan, in Italy, and at Pearl Street Station, New York City, U.S.A., the first Edison Public Electric Supply Stations. The dynamo armature was coupled direct to the shaft of a 150 h.p. Porter-Allen engine. Note the multiple legs of the field electromagnets.

[To face page 224.]

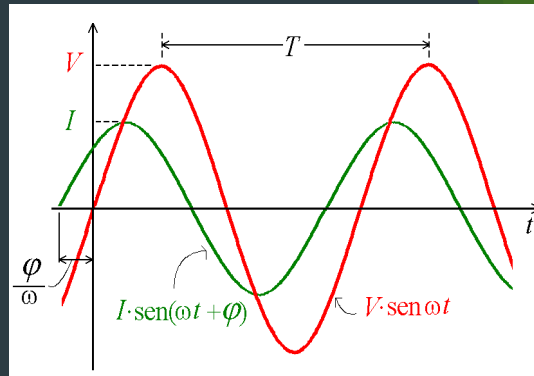
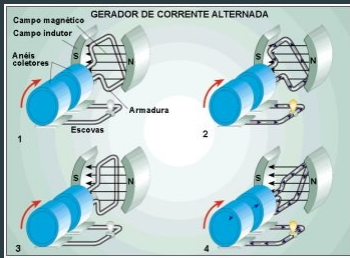
$$v(t) \approx V$$

$$i(t) \approx I$$



26

Corrente Alternada



$$v(t) = V \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$$

$$i(t) = I \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \varphi)$$

27

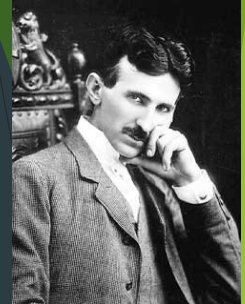
Nikola Tesla

Nikola Tesla (10/Julho/1856 – 7/Janeiro/1943):

- 1881-82: Manutenção de telégrafos, Budapest.
- 1882: *Edison's Continental Company*, Paris.
- 1884: Mudou-se para Nova York, para trabalhar com Thomas Edison na empresa *Edison Machine Works*.

Na carta de recomendação de Tesla para Thomas Edison, Charles Batchelor, gerente da *Edison's Continental Company* em Paris, escreveu: "I know two great men and you are one of them; the other is this young man."

- 1885: Solicitou demissão e fundou a sua própria empresa: "*Tesla Arc & Light Co.*"
- 1888: *A new system of motors and transformers of alternate currents* – *American Institute of Electrical Engineers (AIEE)*.
- 1888: A empresa Westinghouse compra, por US\$ 60 mil, os direitos de 40 patentes de Tesla sobre geradores e motores + *royalties* de US\$ 1.00/HP.
- Tesla é contratado como Consultor na Westinghouse com um salário mensal de US\$ 2 mil (valor atual: US\$ 56,9 mil)



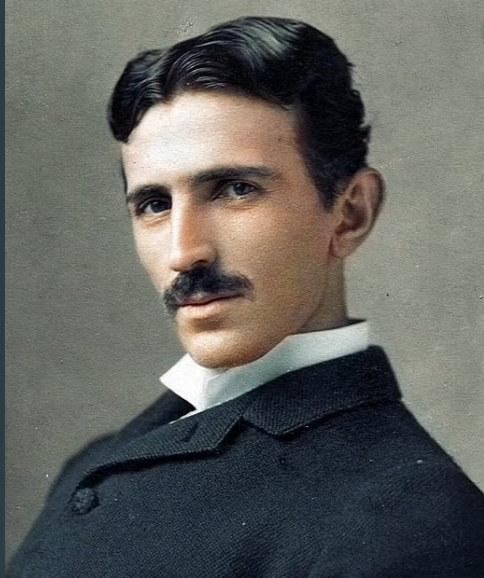
28

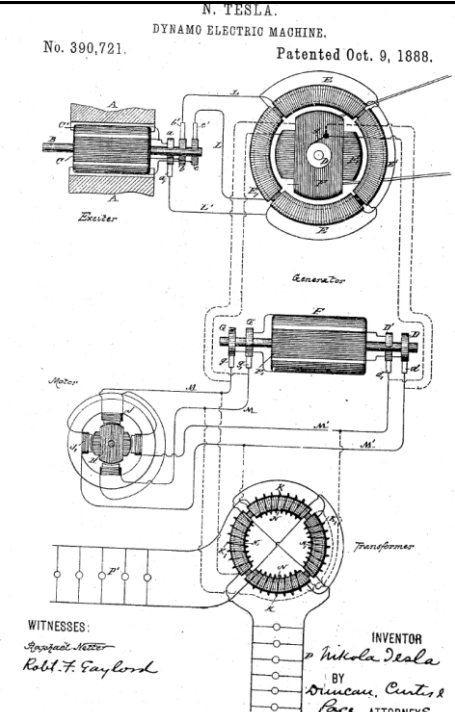


O "ovo de Colombo", de Tesla

29

Nikola Tesla



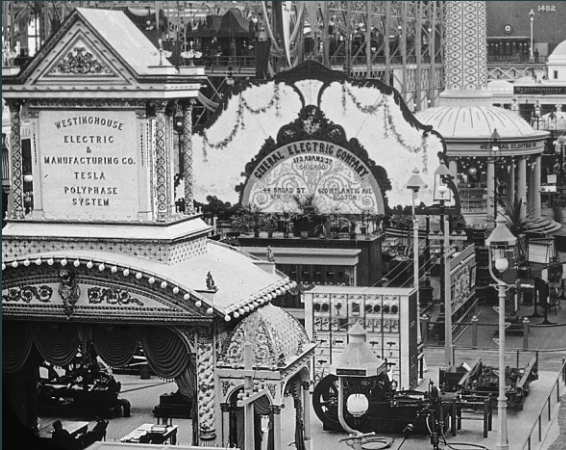


30

Nikola Tesla e George Westinghouse Jr.

1893

Exposição Mundial em Chicago

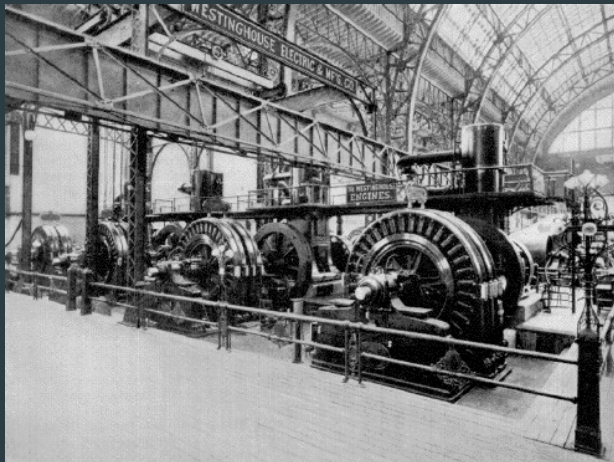


31

Nikola Tesla e George Westinghouse Jr.

1893

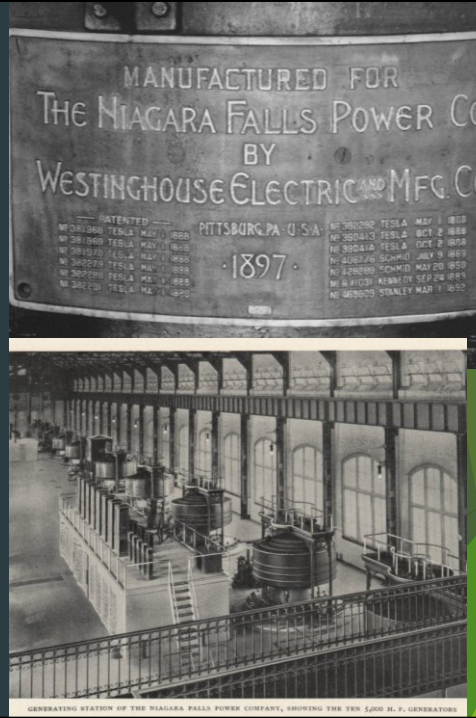
Exposição Mundial em Chicago



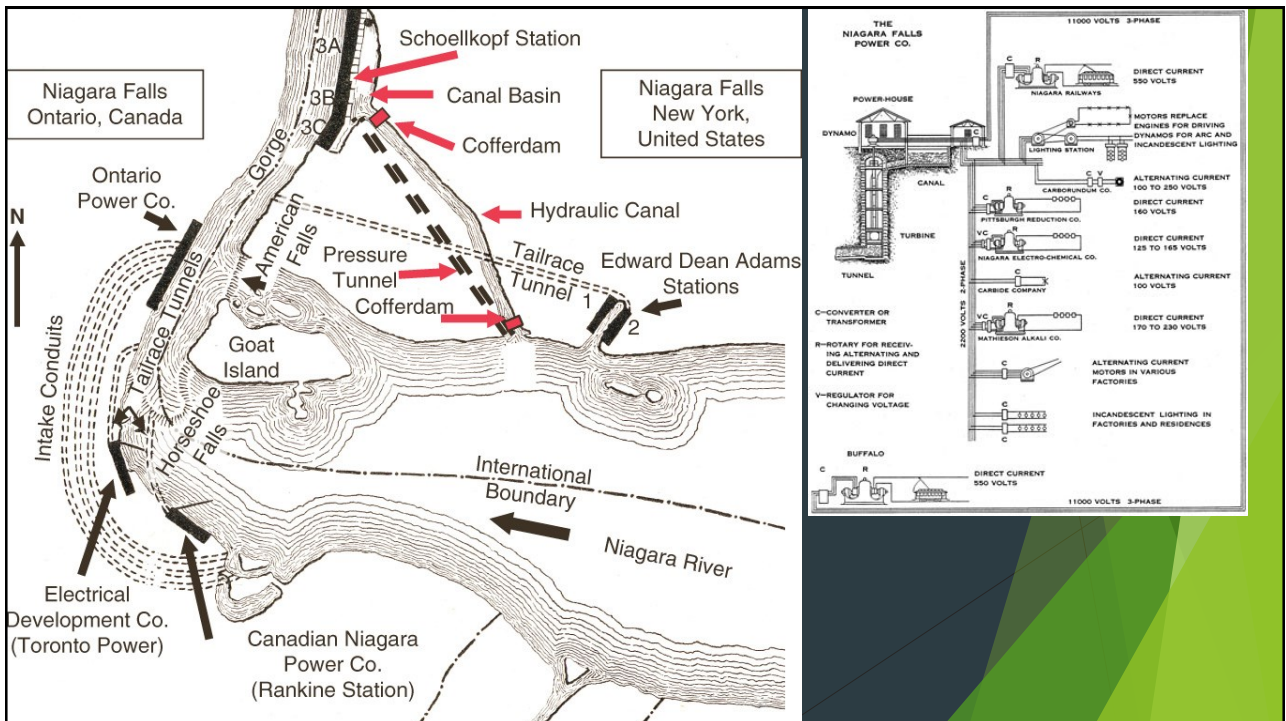
32

Nikola Tesla e George Westinghouse Jr.

- ▶ 1896-97
- ▶ Metrô de Nova York
- ▶ Central Hidrelétrica em Niagara Falls
- ▶ Corrente alterada: 25Hz
- ▶ Transformadores Elevadores
- ▶ Transmissão em alta-tensão até NY



33



34

Nikola Tesla e George Westinghouse Jr.

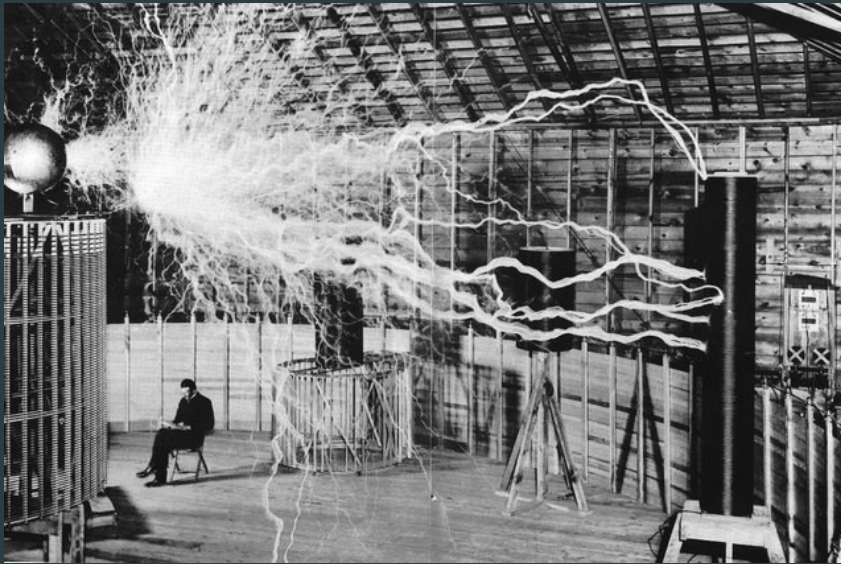


Assembling a Generator, Westinghouse Works

© May 10, 1904
American Mutoscope & Biograph Company

35

A Guerra das Correntes



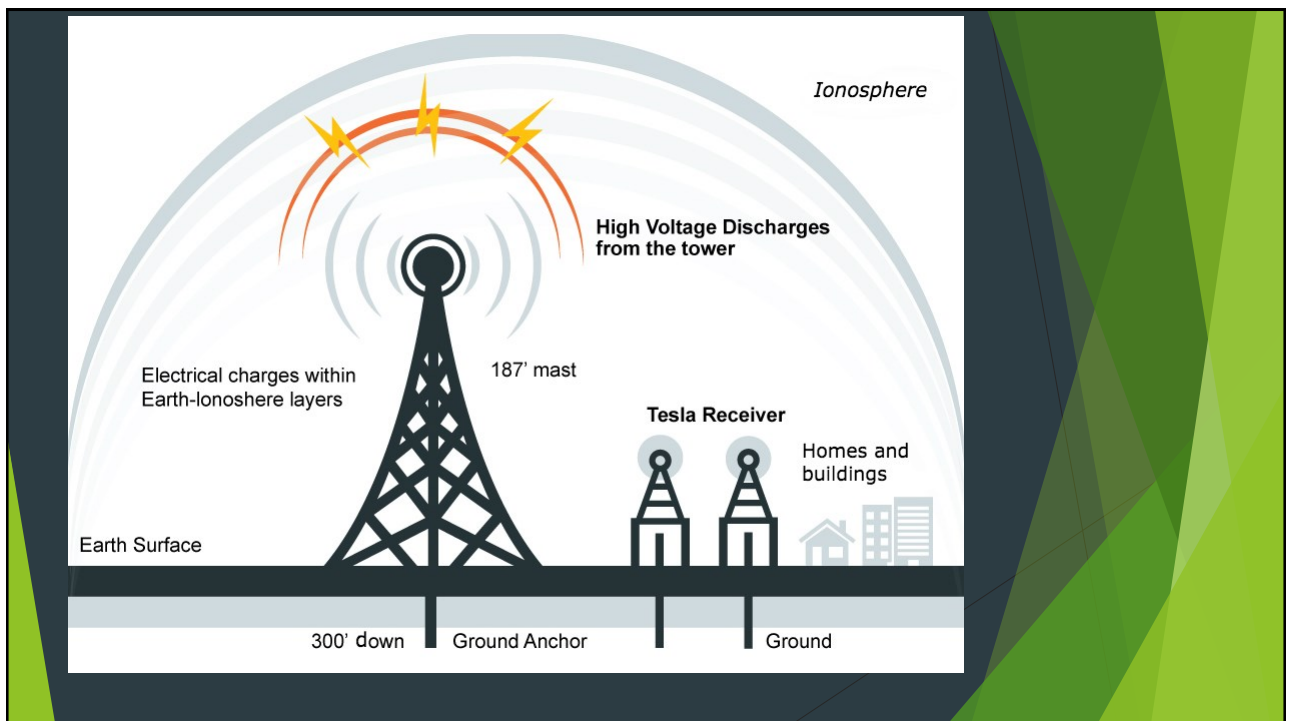
36

Nikola Tesla e J.P.Morgan

- ▶ 1901-02
- ▶ Wardenclyffe Tower
- ▶ Aprox. 4 mi. US\$ (atuais)
- ▶ Resultados: NADA!
- ▶ Desistência de J.P.Morgan
- ▶ Projeto abandonado
- ▶ 1906: Tesla é obrigado a hipotecar a propriedade Wardenclyffe para pagar a conta pendente que tinha no Hotel Waldorf-Astoria, que chegava a aproximadamente US\$ 20 mil (mais de US\$ 500 mil atualmente)



37



38

Nikola Tesla

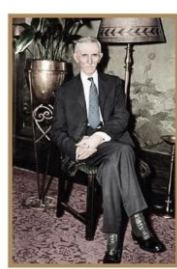
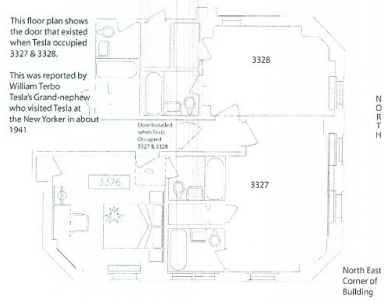
- ▶ No período pós-Wardencllyffe, Tesla vive de royalties de seus inventos e consultorias esporádicas
 - Allis-Chalmers: Turbina a gás e Válvula *one-way* para Gás
 - Telefunken (Alemanha): uso de Patentes de Guillermo Marconi
- ▶ 1915: Processo junto ao Departamento de patentes dos EUA sobre as Patentes do Rádio, dadas a Guillermo Marconi. O caso só foi encerrado em 1943 após a morte de Tesla, reconhecido como co-inventor do Rádio
- ▶ 2 de janeiro de 1934: passa a receber uma pensão vitalícia da Westinghouse Corporation - US\$ 125/mês (US 2,4 mil hoje)
- ▶ mudança para o Hotel New Yorker, quartos 3327+3328, 33º andar (Tesla tinha obsessão pelo número 3, mas o Hotel não tinha o quarto 3333) - A Westinghouse Corporation paga as diárias do hotel.

The New York Times May 19, 1917

Edison Medal Goes to Nikola Tesla

Nikola Tesla, inventor, was last night adjudged by the American Institute of Electrical Engineers to have contributed the greatest progress to electrical science and electrical engineering during the year 1916. The Edison medal which is awarded each year to the person deemed foremost in this field was presented to him at the annual meeting of the Institute, in the Engineering Societies Building, No. 33 West Thirty-ninth street.

The medal is a gold plaque, with the bust of Mr. Edison raised upon one surface. It was presented by H. W. Buck, president of the Institute.



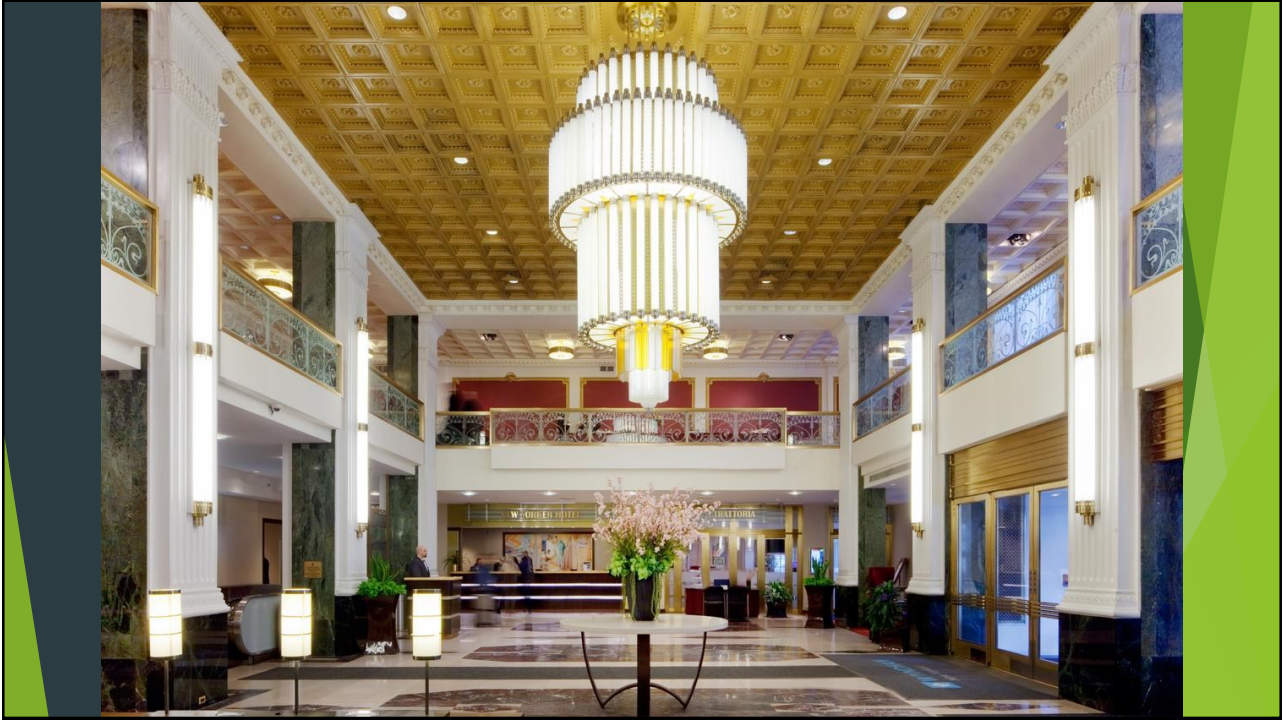
Nikola Tesla sitting in the New Yorker Hotel, ca.1940 in New York City



39



40



41

Nikola Tesla

► Ao contrário do que se propaga, Tesla teve uma vida confortável nos anos em que viveu no Hotel New Yorker.

- Central Geradora no subsolo do Hotel: Isso era comum na época em Nova York.
- Antena de Rádio na cobertura do Hotel: Destinava-se a transmitir música ambiente através de um canal de rádio AM para receptores instalados nos apartamentos

► 1934: Entrevista aos jornais no seu aniversário de 78 anos → “arma secreta capaz de terminar com a Guerra”

► 1935: Oposição á Teoria da Relatividade, de Einstein
Nikola Tesla, sobre a Teoria da Relatividade: “uma massa de erros e ideias enganosas, violentamente opostas aos ensinamentos dos grandes homens de ciência do passado e até mesmo ao senso comum. A teoria envolve todos esses erros e falácias, e veste-os em magníficos trajes matemáticos que fascinam, deslumbram, e deixam as pessoas cegas aos erros subjacentes. A teoria é como um mendigo vestido de púrpura a quem pessoas ignorantes tomam por um rei. Os seus expoentes são homens brilhantes, mas são mais metafísicos do que cientistas. Nem uma única das proposições da relatividade foi provada”.

Fonte: Jornal *The New York Times*, 11 de Julho de 1935.

► 1937: atropelado por um Taxi → lesões na coluna e fratura em 3 costelas → recusa-se em ir a um hospital, ocasionando dificuldades para andar pelo resto da vida

TESLA, AT 78, BARES NEW 'DEATH-BEAM'

Invention Powerful Enough to
Destroy 10,000 Planes 250
Miles Away, He Asserts.

DEFENSIVE WEAPON ONLY

Scientist, in Interview, Tells
of Apparatus That He Says
Will Kill Without Trace.

Nikola Tesla, father of modern methods of generation and distribution of electrical energy, who was 78 years old yesterday, announced a new invention, or inventions, which he said, he considered the most important of the 700 made by him so far.

He has perfected a method and apparatus, Dr. Tesla said yesterday in an interview at the Hotel New Yorker, which will send concentrated beams of particles through the free air, of such tremendous energy that they will bring down a fleet of 10,000 enemy airplanes at a distance of 250 miles from a defending nation's border and will cause armies of millions to drop dead in their tracks.



Times Wide World Photo.
NOTED INVENTOR 78.
Nikola Tesla.

TAXI LAW REVISION ORDERED BY BOARD

**Aldermen Call for Ordinance
Based on Report to Mayor
—Action Due in Fall.**

As representatives of taxicab operators and drivers criticized the

42

Nikola Tesla - Morte

- ▶ Nikola Tesla morreu em 7 de janeiro de 1943, com 86 anos, no Hotel New Yorker. Missa solene e enterro luxuoso (discurso do Prefeito de NY Fiorello La Guardia)
- ▶ Todos os bens de Tesla existentes no Hotel New Yorker foram apreendidos pelas autoridades federais norte-americanas (FBI), em procedimento conforme o *Alien Property Custody act*). Este era o procedimento da época com qualquer estrangeiro que viesse a morrer em território norte-americano.

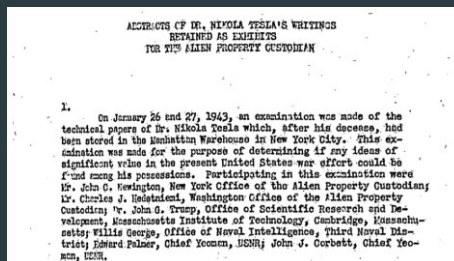


43

Nikola Tesla - Os “arquivos secretos”

<https://www.muckrock.com/news/archives/2018/mar/19/fbi-tesla-ii/>

- ▶ Dr. John George Trump, filho do Presidente Donald Trump (engenheiro eletricitista, professor no *Massachusetts Institute of Technology*) examina em 1943 os pertences de Tesla e faz um relatório afirmado não ter encontrado nada de útil sob o ponto de vista científico ou militar.
- ▶ Os bens de Tesla são liberados para única herdeira legal residente nos EUA, Sava Kosanović, sobrinha de Tesla que era funcionária da Embaixada da Iugoslávia.
- ▶ Sava Kosanović despachou “a maioria” dos pertences de Tesla para a Iugoslávia em 1951. Em 1952 o Governo da Iugoslávia fundou o Museu Tesla em Belgrado, atual República da Sérvia.
- ▶ Em janeiro de 2017 o Presidente Barack Obama liberou o acesso a vários documentos até então classificados da CIA e do FBI, incluindo os relacionados com a investigação sobre os pertences de Tesla feita por John George Trump. Confirmou-se a informação de que nada havia de útil.

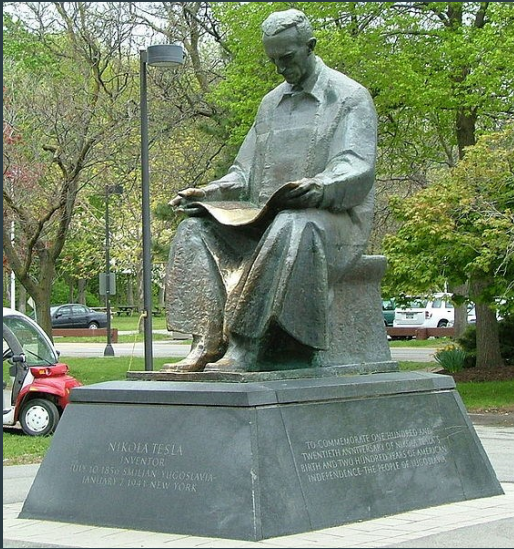


It should be no discredit to this distinguished engineer and scientist whose solid contributions to the electrical art were made at the beginning of the present century to report that his thoughts and efforts during at least the past fifteen years were primarily of a speculative, philosophical, and somewhat promotional character—often concerned with the production and wireless transmission of power—but did not include new sound, workable principles or methods for realizing such results.

Very truly yours,

JOHN G. TRUMP,
Technical Aide,
Division 14, NRC.

44



Niagara Falls State Park
Goat Island, New York, EUA



Queen Victoria Park
Niagara Falls, Ontário, Canadá

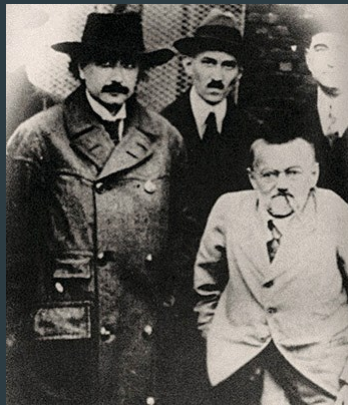
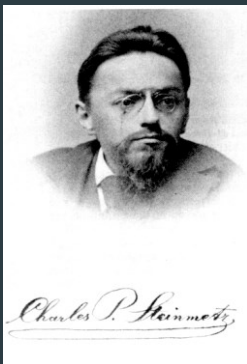
45

Corrente Alternada

Karl August Rudolf Steinmetz
(ou **Charles Proteus Steinmetz**)

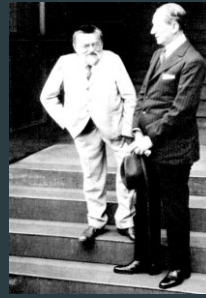
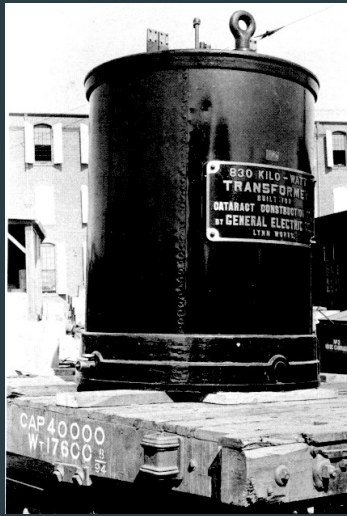
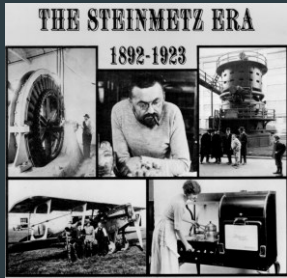
• Descrição dos Circuitos de Corrente Alternada utilizando Números Complexos

$$j = \sqrt{-1}$$



46

Domínio da Corrente Alternada



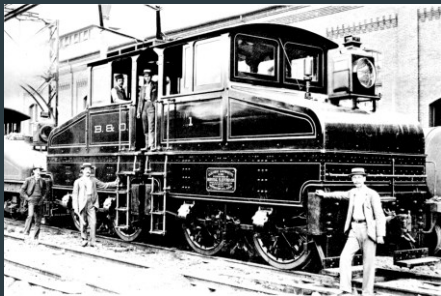
1920: Steinmetz & Marconi



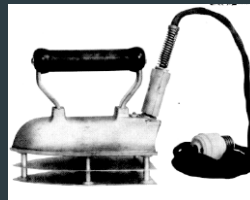
1921: Steinmetz & Einstein

47

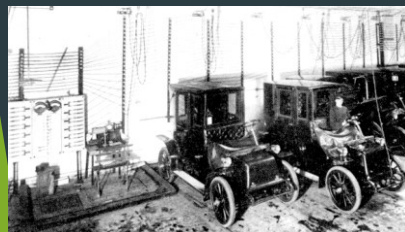
Popularização da Eletricidade



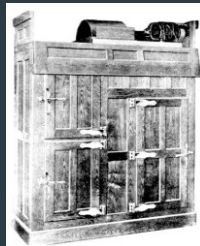
1895: Locomotiva Elétrica



1905: Ferro de Passar Roupas



1909: Automóveis Elétricos



1910: Refrigerador



1904: Máquina de Costura

48

1.^a parte:
A magia da eletricidade

2.^a parte:
Os Engenheiros

3.^a parte:
Brasil

