

# 1.1

## Introdução à Tracção Eléctrica

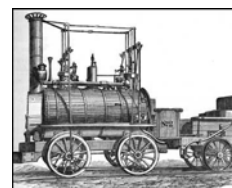
### Elementos de História da Tracção Eléctrica



#### 1.1 História da Tracção Eléctrica

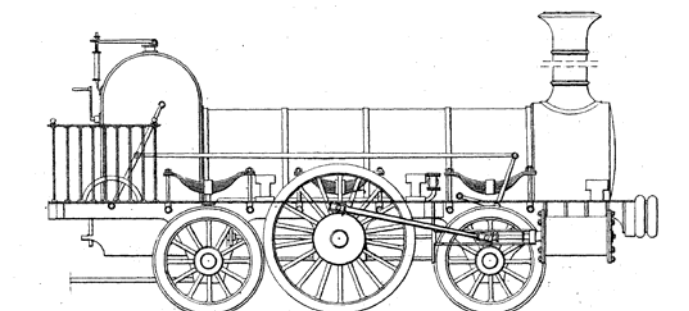
Um momento primordial para a História da Tracção Eléctrica surgiu em 1820 quando H. C. Oersted descobriu experimentalmente a interacção entre um íman permanente e uma corrente eléctrica — *descoberta do electromagnetismo*. Esta descoberta, que foi importante para o conhecimento da Electricidade e para o desenvolvimento da Física, ocorreu numa época em que a Humanidade já utilizava a máquina a vapor na produção de força motriz.

No campo da movimentação útil dos veículos já eram utilizadas locomotivas a vapor nas minas particulares para rebocar vagões de carvão sobre carris de ferro fundido, como uma locomotiva com biela de ligação (1815) desenvolvida por George Stephenson. Também tinham surgido alguns modelos de carruagens, accionadas por um motor a vapor e destinadas a circular sobre a calçada em ruas e caminhos.



A descoberta por H. C. Oersted da interacção entre um íman permanente e uma corrente eléctrica iniciou um década em que da observação experimental de Ampère, de Arago e de Faraday surgiu o conhecimento dos fenómenos físicos e das leis que regem as acções electromecânicas, além de pequenas máquinas capazes de criarem movimento a partir de uma pilha eléctrica.

Enquanto prosseguia o estudo da Electricidade e o desenvolvimento das suas aplicações no telégrafo e na iluminação, continuava o desenvolvimento do transporte público com tracção a vapor. Surgem as primeiras linhas de transporte de passageiros (Stockon–Darlington UK, 1825; Liverpool–Manchester UK, 1830; Baltimore Ohio, USA, 1830; Lyon–St. Etienne, Fr, 1832), e para estas linhas são desenvolvidas novas locomotivas.



Stephenson (1845)

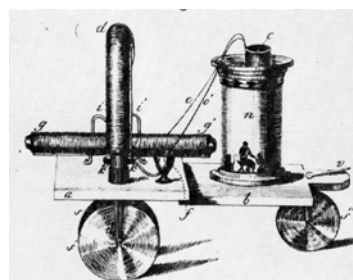
A descoberta por H. C. Oersted da interacção entre um íman permanente e uma corrente eléctrica iniciou um década em que da observação experimental de Ampère, de Arago, de J. Henry e de Faraday surgiu o conhecimento dos fenómenos físicos e das leis que regem as acções electromecânicas, além da construção de pequenas máquinas capazes de criarem movimento a partir de uma pilha eléctrica. Mas irão passar muitos anos até que sejam dominados todos os problemas de construção de máquinas capazes de promover eficazmente a conversão de energia envolvendo a energia eléctrica e a energia mecânica.

Entretanto alguns dos elementos estruturais ou construtivos dos transportes em caminho de ferro iam tomando a forma que ainda hoje mantém: a forma bicónica do rodado; as rodas tronco-cónicas com verdugo; o carril com cabeça, alma e patilha...

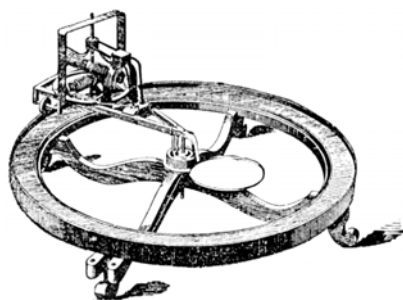
O aumento do número das linhas de transporte com tracção a vapor, o seu êxito económico, as transformações sociais associadas a este novo serviço de transporte, que aumentando a velocidade e a comodidade das viagens criou novas indústrias e aumentou as possibilidades de comércio — em suma o forte contributo da tracção a vapor para a “*Revolução Industrial*” — tornaram socialmente muito importante o transporte em caminho de ferro.

Durante os trabalhos e os estudos que contribuíram para o desenvolvimento da Electricidade, após a descoberta de H. C. Oersted, foram surgindo aplicações primitivas de máquinas eléctricas na movimentação de veículos ferroviários — meras tentativas de resposta à pergunta “*é possível ?*” —, que se consideram como precursoras dos sistemas de tracção eléctrica.

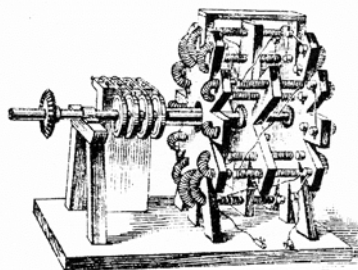
**1835** – Sibrandus Stratingh and Christopher Becker, em Groningen NL, construíram um pequeno veículo eléctrico (triciclo) que se podia deslocar sobre uma mesa. Possuía um motor com um electroíman, alimentado através de um comutador, e que rodava no interior do campo magnético criado por um outro electroíman estatórico; a fonte de alimentação era uma única pilha.



**1837** – Thomas Davenport, um ferreiro em Rutland, Vermont, obteve a primeira patente sobre um motor electromagnético (1837), julga-se ter sido a primeira pessoa a produzir trabalho útil com um motor eléctrico alimentado por uma pilha. Davenport construiu um modelo reduzido com uma máquina magnetoeléctrica rudimentar que utilizou para movimentar um braço que transportava uma bateria de pilhas. Este modelo miniatura de comboio serviu para demonstrações públicas.



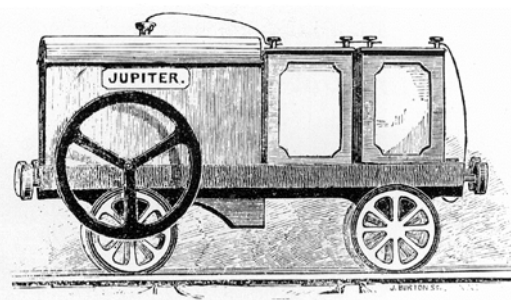
*Davenport (1837)*



*Jacobi (1838)*

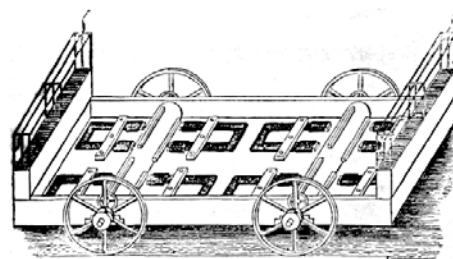
**1838** – M. H. Jacobi, na Rússia, inicia um conjunto de experiências que conduziram ao primeiro barco movido por um motor eléctrico. Jacobi efectuou várias viagens a uma velocidade de 4 km/h no rio Neva, num barco que podia transportar dez pessoas, e era accionado por um motor eléctrico de electroímãs no estator e no rotor, alimentado por uma bateria eléctrica com 320 pilhas Daniell.

1840 – Uriah Clarke expôs em Leicester um pequeno modelo de uma locomotiva (27 kg) — uma “*electromagnetic carriage*” — accionada por um motor eléctrico e rebocando um vagão. O motor eléctrico era formado por um electroímã que actuava numa barra que estava ligada por uma cadeia a uma manivela; a actuação do electroímã provocava um breve e rápido puxão em cada volta da manivela. A actuação deste modelo despertou interesse e foi construído uma locomotiva em escala natural que nunca chegou a funcionar devido a dificuldades na alimentação com pilhas eléctricas.



1840 – Em Inglaterra, utilizaram-se telégrafos Wheatstone de agulha magnética para transmitir sinais simples (ready ; stop) ao mecânico que controlava uma máquina a vapor a partir das seis estações de uma linha funicular instalada entre Londres e Blackwall (13 km) por Robert Stephenson. Representa uma primeira aplicação da electricidade na exploração dos caminhos de ferro —  *sinalização*.

1842 – Robert Davidson, um escocês residente em Aberdeen, construiu uma locomotiva eléctrica — *Galvani* —, com quatro rodas e 4,8 m de comprimento, que pesava cerca de 5 ton. com a bateria de pilhas (ferro-zinco). O motor tinha bobinas indutoras em ferradura, mas sem núcleo ferromagnético, em frente das quais rodavam barras de ferro apoiadas no eixo das rodas. É de supor que o arranque era manual — empurrando a locomotiva. Esta locomotiva foi experimentada na linha de caminho de ferro Edimburgo-Glasgow (bitola=1,435 m); atingiu uma velocidade de 6 km/h.

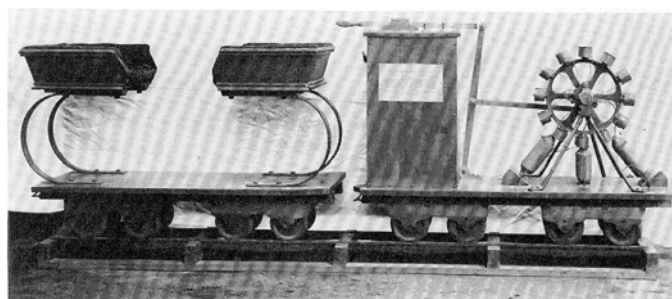


1841/1845 – Wheatstone interessa-se pelo motor eléctrico linear, realizando um modelo e apresenta o conceito numa patente sobre um sistema electromagnético excêntrico (não concêntrico).

1847 – Gardiner Q. Colton, de Pittsburg USA, numa actividade de demonstrador científico de feira, utilizou um motor alternativo para construir um pequeno modelo de locomotiva. A locomotiva era alimentada por duas pilhas de Grove *através dos carris* de rolamento; assim, pela primeira vez, um veículo era alimentado em energia a partir de uma fonte de alimentação fixa.

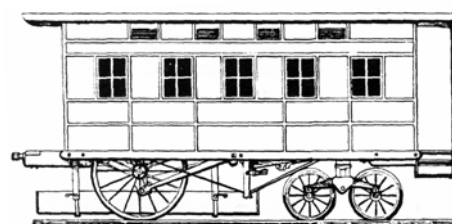


1847 – Moses G. Farmer, de Dover NH USA, construiu uma locomotiva electromagnética para uma pequena linha (0,452 m de bitola) que rebocava uma carruagem de dois lugares, transportando efectivamente dois passageiros. Era alimentada a partir de uma bateria de 48 pilhas de Grove.

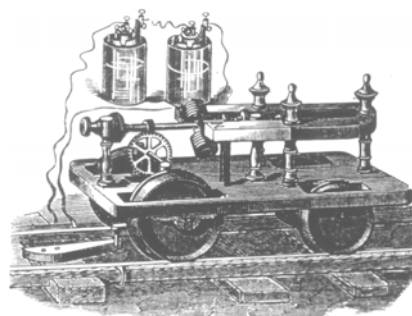


Farmer (1847)

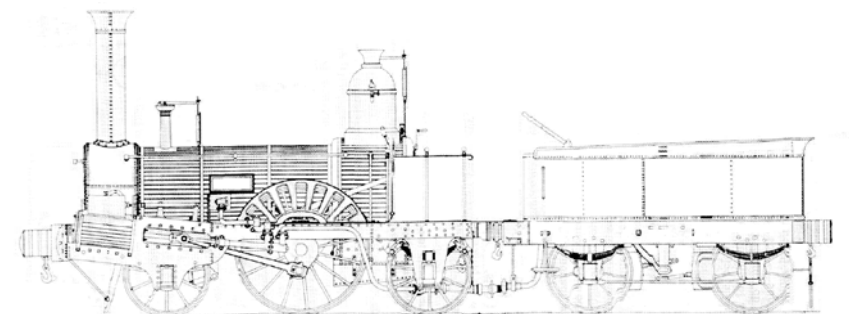
1850 – George. C. Page, de Salem, Massachusetts USA, promoveu a construção de uma locomotiva (12 ton.), financiada pelo Congresso, que atingiu a velocidade de 31 km/h com um motor alternativo: dois solenóides atraíam alternativamente uma armadura de ferro que estava ligada a um volante por um sistema de biela-manivela; era alimentado por uma bateria de pilhas; chegou a atingir a velocidade de 30 km/h... Teve apenas um sucesso parcial.



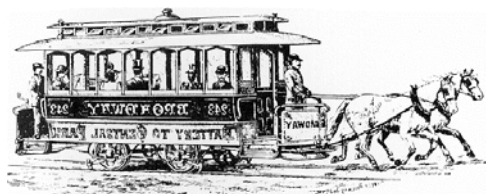
1850/51 – Moses G. Farmer, ajudado por Thomas Hall, construiu um modelo reduzido de locomotiva com um motor com íman permanente (indutor). A locomotiva era alimentada por duas pilhas de Grove *através dos carris* de rolamento. A pequena locomotiva eléctrica que foi construída em 1851 encontra-se representada na figura junta.



A fonte de energia eléctrica então utilizada, que era uma bateria de pilhas, não era suficientemente potente para permitir o desenvolvimento da tracção eléctrica no transporte público face à tracção animal e à tracção a vapor. No entanto a tracção animal tinha-se imposto no transporte urbano ferroviário desde 1832 (Nova York – Haarlem), enquanto que continuava o desenvolvimento da tracção a vapor no transporte de longo curso, com a construção de novas locomotivas e a institucionalização do caminho de ferro *como organização técnica, financeira e administrativa de interesse público que tem por fim efectuar o transporte de grandes massas, com grandes velocidades, mediante o emprego de comboios (série de viaturas atreladas umas às outras) movidas por tracção mecânica.*



No âmbito do caminho de ferro, de que se começa a discutir a construção em Portugal em 1844, só em 1853 começa a construção da linha de Lisboa à Fronteira, e a construção da linha de Lisboa ao Porto no tramo comum entre Lisboa e Santarém (Entroncamento). O primeiro troço, entre Lisboa e o Carregado, foi solenemente inaugurado em Outubro de 1856.



Os transportes urbanos com veículos ferroviários de tracção animal — *tramway* ou *carro americano* —, começou a ser discutido na cidade do Porto em 1858, mas só foi concessionado em 1870; começou a ser construído em 1871, e foi inaugurado em Maio de 1872. Note-se que na Europa o primeiro tramway circulou na cidade de Paris em 1853.

No ano de 1860 Antonio Pacinotti construiu um modelo de um máquina electromagnética com induzido em anel e formulou o princípio de reversibilidade das máquinas de corrente contínua. Mas a sua aplicação industrial só começou com a construção das máquinas de corrente contínua por Werner von Siemens (1867 e 1873) e por Z. Gramme (1870) e com a demonstração prática, durante a Exposição de Viena de 1873, da transmissão da energia eléctrica à distância e da reversibilidade do funcionamento de máquinas eléctricas semelhantes. No ano de 1873 foi publicado o tratado de James C. Maxwell “*A Treatise on Electricity and Magnetism*”.



Nesta época regista-se o desenvolvimento na construção de máquinas eléctricas, que desde 1864 já eram capazes alimentar a lâmpada de arco que iluminava o farol de Héve, perto do Havre em França, com uma máquina “Alliance” de vários quilowatts, e o conseqüente aumento da sua aplicação em iluminação.

Ao período dos precursores da Tracção Eléctrica segue-se uma fase de grande desenvolvimento. Esse desenvolvimento dá-se, primeiro, na Europa, de 1879 a 1883, e depois nos Estados Unidos, de 1833 a 1888, e resulta, fundamentalmente, da utilização do dínamo (máquina electromagnética de corrente contínua com excitação ligada) como fonte fixa de energia eléctrica, e da confirmação experimental do princípio da reversibilidade de funcionamento da máquina eléctrica de corrente contínua.

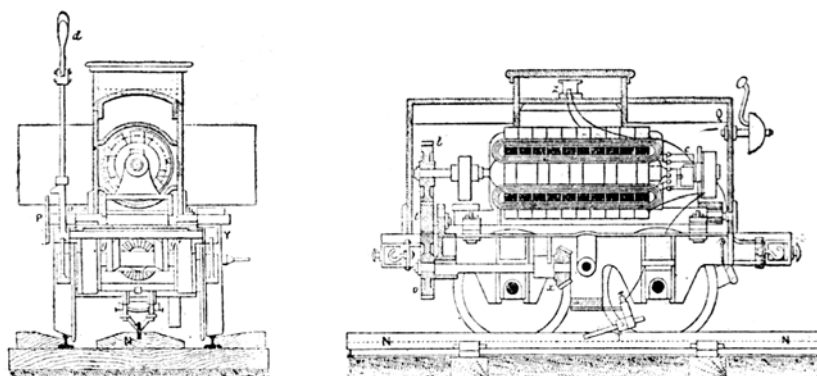
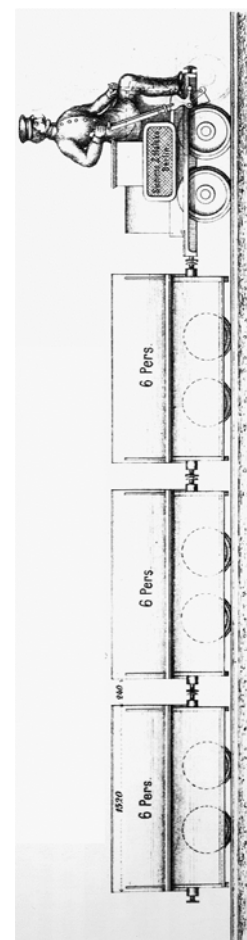


Fig. 1.2 – Locomotiva eléctrica Siemens Halske (1879)

**1879** – Na Exposição Industrial de Berlim circula o primeiro comboio eléctrico que, embora destinado a pequenas viagens de demonstração, funcionou em condições reais. A pequena locomotiva, ou tractor, (1000 kg) era alimentada em energia a partir de uma central térmica por um carril especial, colocado no meio da via férrea, e onde atritavam escovas em fio de cobre. Transportava uma máquina eléctrica de corrente contínua, do tipo Siemens (2 kW, 800 rot/min, tipo série), e o movimento do rotor do motor, que estava colocado longitudinalmente, era transmitido às rodas através de uma engrenagem (redução 2,45). Os carris de rolamento serviam de condutor de retorno da corrente eléctrica.

O pequeno tractor, utilizado nesta demonstração durante quatro meses, tinha sido encomendado para uma aplicação industrial como locomotiva numa mina de carvão, mas não foi entregue. O arranque do motor era feito através de um reóstato líquido de sulfato de cobre com a variação comandada progressivamente pela alavanca do freio de mão. A inversão do sentido de marcha era mecânica, através de uma par de pinhões com translação lateral manual.

Nos anos seguintes o pequeno comboio de demonstração de Siemens & Halske, ou cópias dessa composição, foram



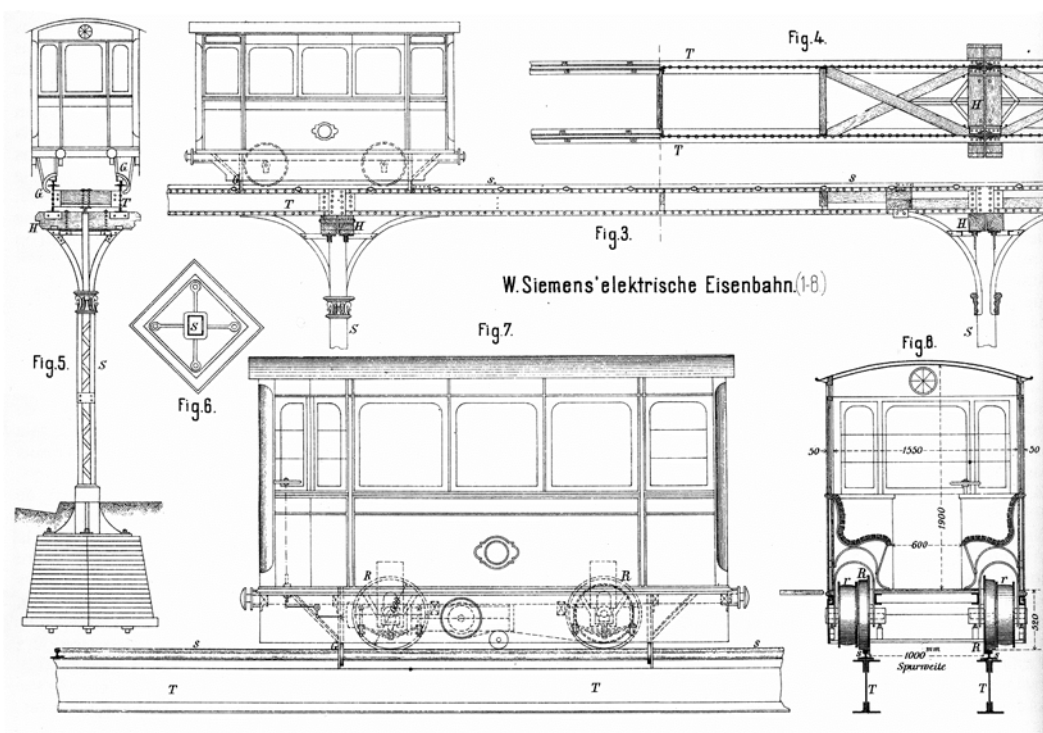
apresentadas em exposições internacionais: Dusseldorff e Bruxelas em 1881, em Paris (apresentação estática), Londres, Moscovo e Copenhaga em 1882.

**Ernest-Werner von Siemens (1816-1892)**

Foi oficial do exército prussiano, altura onde teve uma formação técnica. Em 1847 fundou uma firma para produzir material para telegrafia eléctrica. Procedeu ao trabalho de instalação de algumas linhas telegráficas, na Alemanha e na Europa. Contribuiu para o desenvolvimento das máquinas eléctricas com: o induzido em fuso (1866), com o desenvolvimento das máquinas auto-excitadas (dínamo) e com o projecto de vários tipos de máquinas. Aplicou as máquinas eléctricas na tracção, e criou a primeira linha de transporte urbano electrificada. Desenvolveu muitos outros aparelhos e instrumentos científicos no âmbito da Electrotecnia. Fundou a firma Siemens & Halske (1847), que em 1879 se tornou uma sociedade anónima e em 1903 se fundiu com a firma Schuckert resultando a firma Siemens-Schuckertwerke. Em 1966 esta firma tomou o actual nome Siemens.



**1880** – Werner von Siemens propõe e projecta para a cidade de Berlim uma via férrea eléctrica aérea (comboio eléctrico elevado); os carris serviam de condutor eléctrico. Dificuldades provocados pelos protestos públicos e pelos interesses da administração da cidade impediram a concretização desse projecto.



**1880** – Em 13 de Maio, em Menlo Park, Th. Edison apresenta o seu comboio eléctrico experimental, e requer várias patentes relativas a um *caminho de ferro electromagnético*, que já vinha estudando desde 1878, e de que publicara os desenhos em 1879.

**1881** – É inaugurada a linha de Gross-Lichterfelde (12 de Maio), perto de Berlim,

que é a *primeira linha férrea de transporte público electrificada* (2,4 km, bitola métrica), com o *primeiro veículo eléctrico para exploração comercial*. Tinha carris, colocados em *sítio próprio*, com uma bitola de 1 m, colocados 0,20 m acima do solo. Os carris serviam de sistema transportador da energia eléctrica a uma tensão de 70 V (embora estivesse previsto um sistema de alimentação por linha aérea, que passou a ser utilizado em 1893), que era produzida por duas máquinas Siemens numa pequena central térmica situada a 500 m da estação do caminho de ferro. O carro eléctrico, que circulava nesta linha, de construção simétrica podia transportar 26 pessoas, com uma velocidade normal de 20 km/h, mas podendo atingir os 40 km/h em percurso plano sem curvas (em patamar) e com todos os passageiros (4,8 ton.). O motor eléctrico (máquina de corrente contínua Siemens com excitação ligada do tipo série, 5 kW) accionava os dois eixos por meio de roldanas e de lâminas de aço.

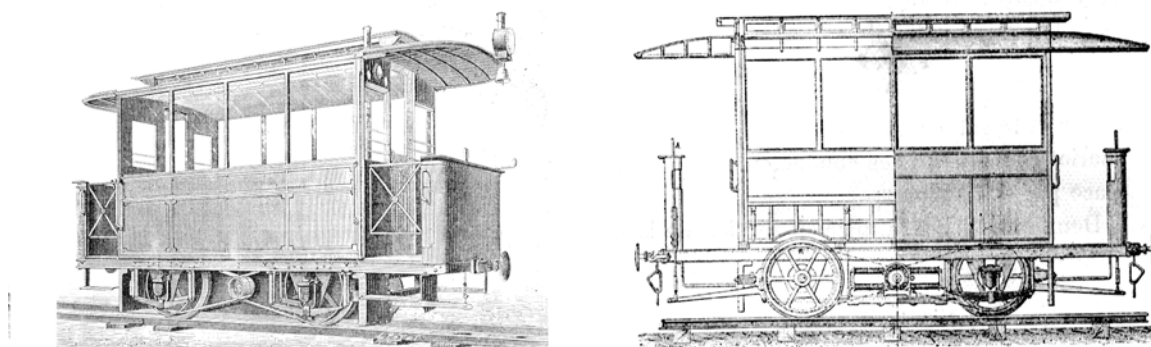
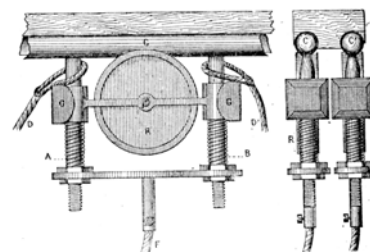


Fig. 1.3 – Carro eléctrico da linha de Gross-Lichterfelde

**1881** – Perante o sucesso da electrificação da linha de Gross-Lichterfelde, na Exposição Universal de Electricidade em Paris foi apresentada uma linha de carros eléctricos (inaugurada em Julho), com veículos de tramway electrificados (50 passageiros) e com alimentação por via aérea oca, através de um colector deslizante (núcleo de metal deslizando no interior do tubo condutor e ligado a um pequeno carrinho rebocado por uma corda, como na figura),



sendo o retorno por um sistema colector-condutor aéreo igual (ver fig. 1.4).

Devido aos problemas de segurança das pessoas na transmissão de energia eléctrica pelos carris de rolamento, surgiram diversas soluções para a distribuição aérea da energia eléctrica.

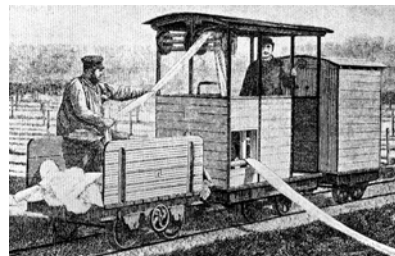
**1881** – William Siemens escreve numa revista inglesa: “*Um outro arranjo através do qual um omnibus se pode deslocar numa rua teria um cabo de suspensão lançado a intervalos de um lado da rua para o outro, com dois fios dependurados desse cabo; permitindo um carrinho deslocar-se em cima desses dois fios, a corrente podia ser transportada para o carro eléctrico, e retornar ao dínamo na estação sem necessidade alguma de se deslocar nos carris*”.

Surge assim o “trolley”, pequeno carrinho rebocado, que se deslocava no alto dos condutores de transporte da energia. Seguiram-se-lhe outros sistemas de condutores e de contactos móveis.

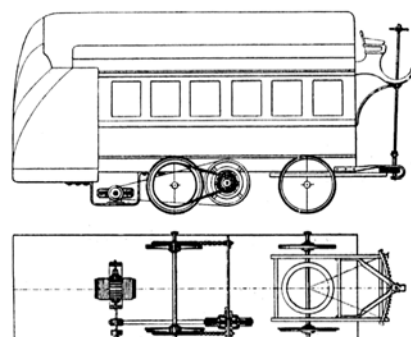
**1881** – durante a Exposição Internacional de Electricidade de Paris são

apresentados diversos aparelhos eléctricos para a exploração dos caminhos de ferro: sistemas de exploração por secções (cantonamento), aparelhos auxiliares de protecção automática, protecção das estações por encravamento dos sinais e agulhas, aparelhos avisadores e de correspondência, manobra à distância dos aparelhos de segurança, aparelhos de controlo, etc...

Durante o ano de 1881 Camille Faure melhorou a construção do acumulador de chumbo descoberto por Gaston Planté em 1859. Imediatamente se deu a aplicação do acumulador na Tracção Eléctrica, existindo referência e a um tractor industrial numa lavandaria em Breuil-en-Auge França em 1880, do qual existe uma representação gráfica.



**1881** – aparece (em 7 de Junho) uma viatura eléctrica (tramway de 50 lugares com imperial) equipada com 225 acumuladores Fauré (1,8 ton.) colocados sobre os bancos, capazes de fornecerem uma corrente eléctrica de 40 A, com uma tensão de 120 V. Esta viatura, desenvolvida por N.-J. Raffard auxiliado por E. Julien, foi utilizada na via férrea da linha de tramways de Vincennes, em França. O veículo deslocou-se, com facilidade, sobre os carris e sobre o piso da estrada. Realizaram-se várias viagens em 1881 e 1882, tendo sido experimentados, com o mesmo veículo, diferentes tipos de acumuladores, que entretanto iam sendo desenvolvidos.



Os veículos eléctricos alimentados por acumuladores começam nesta altura a ter um desenvolvimento análogo ao que se passava nos sistemas com alimentação directa. Surge, também, neste ano de 1881 e desenvolvido por Fauré um triciclo accionado por um pequeno motor eléctrico e alimentado por acumuladores (ver fig. 1.4). Mas, a aplicação dos veículos eléctricos será sempre limitada pelo peso da bateria de acumuladores, pela pequena autonomia e pela demora na recarga dos acumuladores.

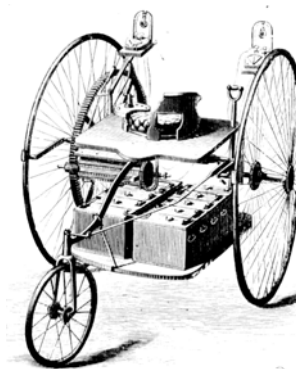
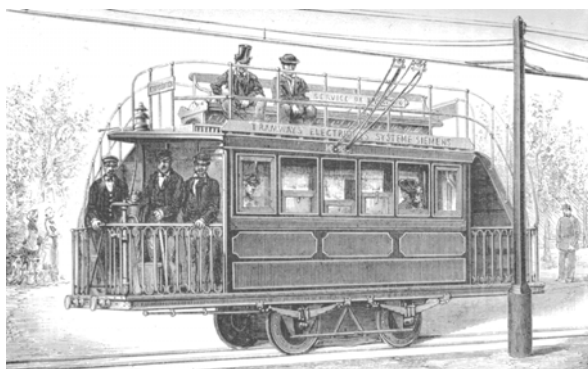
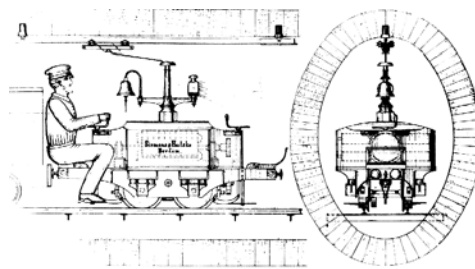


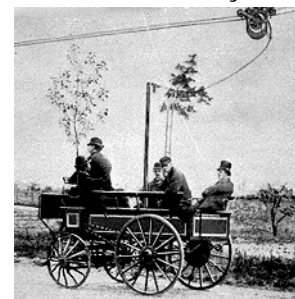
Fig. 1.4 – Veículos eléctricos em 1881

Na sequência da instalação da linha de carros eléctricos de Gross-Lichterfelde, em Berlim, começaram a surgir na Europa outras linhas férreas electrificadas:

*Minas de Zaukerode*, no Saxe, instalada em 1882 com um comprimento de 0,8 km e alimentação aérea; com uma peso de 1500 kg, rebocava vinte vagões a 8 km/h. Neste caso eram utilizadas reóstatos com resistências eléctricas em hélice. A alimentação era feita por dois dínamos de 3 kW.

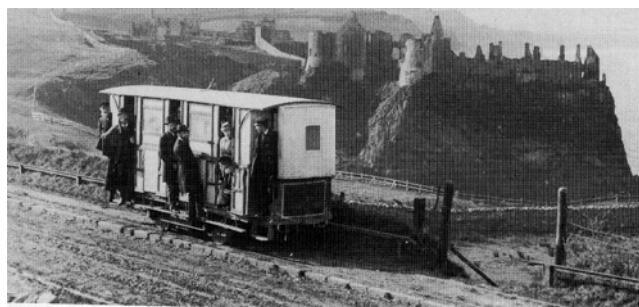


**1882** – durante seis meses Werner Siemens, interessado na electrificação de veículos que se deslocavam em caminhos e estradas, experimentou uma carruagem aberta electrificada — *Elektromote* — ao longo de um percurso, em terra batida, com 540 m de extensão, em Kurfurstendamm na cidade de Berlim. A energia eléctrica, produzida numa pequena central termoeléctrica temporária, era conduzida por uma linha aérea dupla, apoiada em poste de madeira, e sobre a qual se deslocava um trólei (pequeno carrinho com seis rodas) que estabelecia o contacto com os condutores ligados á carruagem. A carruagem era accionada por dois motores eléctricos de 2,2 kW, 500 V. Surgiram problemas com o trólei, tendo sido feitas várias experiências.



*Em 29 de Abril de 1882 circulou o primeiro troleicarro.*

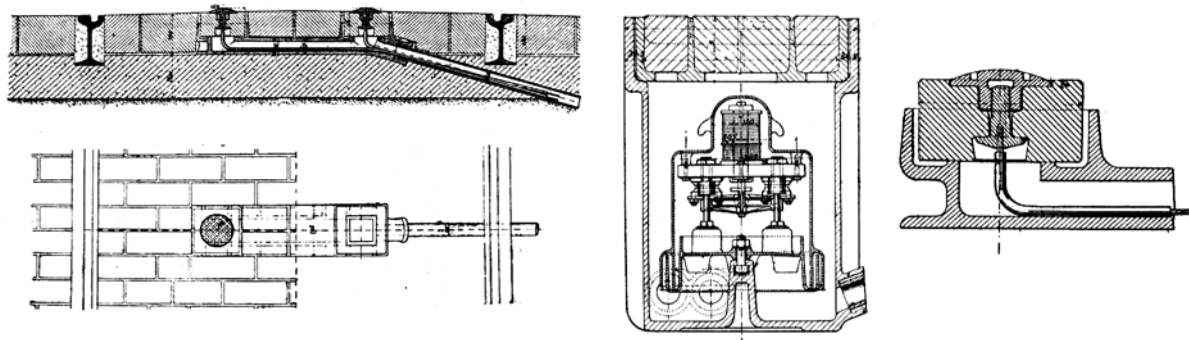
Foram electrificadas outras vias férreas: *Portrush*, na Irlanda, com 10 km, construída pela empresa *Siemens Brothers*, de Londres, com alimentação por carril lateral sobrelevado a 250 V e retorno pelos carris; ficou terminada em 1883; (foi o primeiro tramway eléctrico instalado na Inglaterra; e o primeiro com alimentação por energia hidroeléctrica)



**1883** – na Exposição de Electricidade de Viena, no Parque Prater o carro eléctrico de Siemens & Halsk, resultante da electrificação duma carruagem do serviço de tramway da cidade, conduzia os visitantes do Prater até à entrada da exposição (1,5 km; bitola métrica). Foi grande a variedade de material eléctrico auxiliar apresentado nesta exposição — controladores de agulhas, manobreadores de barreiras de passagem de nível, cronógrafos, indicadores de nível. Neste ano foi apresentado o projecto da electrificação da linha de Mödling a Hinterbrühl (7 km; 500 V).


*Brighton*, ligação à praia, que foi instalada em 1883, com a alimentação por terceiro carril a uma tensão de 140 V, numa extensão de 0,5 e depois 1,6 km. A viatura, que transportava doze pessoas, tinha um motor eléctrico com 1,2 kW de potência. A Alimentação era feita por geradores accionados por motor a gás.

**1883** – William E. Ayrton e John Perry propõem um novo sistema de alimentação em energia eléctrica dos veículos. O sistema — *superfície de contacto* — consiste na colocação de condutores à superfície do solo, espaçados, e estabelecendo um contacto com a central produtora de energia apenas no momento de passagem do veículo sobre os contactos.



*Mödling a Hinterbruel*, perto de Viena, construída a primeira secção até Brühl em 1883 e a última em 1885 pela empresa Siemens & Halske, com um comprimento de 4,5 km e alimentação e retorno por linha aérea ôca e fendida; as viaturas tinham 18 lugares sentados;

*Frankfurt-Offenbach*, terminada em 1884, com um comprimento de 6,6 km e alimentação por condutor aéreo ôca e fendido a 500 V;

*Bessbrook-Newry*, em Inglaterra, projectada por Hopkinson, linha destinada ao transporte de mercadorias (mármore e carvão) terminada em 1885, com um comprimento de 1,2 km e alimentação por condutor central em  e retorno pelos carris de rolamento.

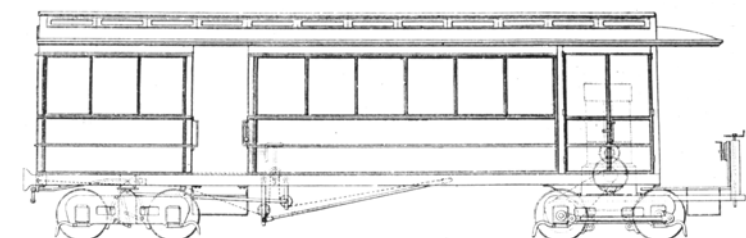
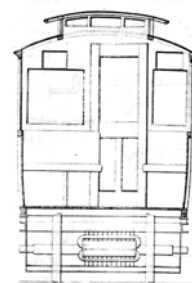
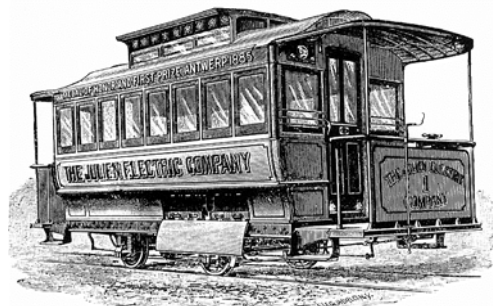


Fig. 1.5 – Carro eléctrico da linha Bessbrook–Newry (1885)

Nestas diferentes linhas vai-se verificando a evolução do sistema de alimentação do veículo motor; desde o terceiro carril, às superfícies de contacto, até aos dois condutores aéreos com um isolamento suficientemente bom para permitir uma tensão eléctrica de 500 V — embora ainda não exista um sistema de captação simples e universalmente adoptado. Os motores eléctricos bipolares, pesados e grandes têm um rendimento baixo e a relação entre peso do cobre e o peso do ferro ainda é má nessas máquinas. A transmissão do movimento do motor eléctrico às rodas é feita por sistemas mecânicos complicados envolvendo correias, cabos, ou redutores com dois ou três andares.

**1885** – realiza-se em Anvers, durante a Exposição Universal de Anvers, um Concurso Internacional de Tracção Mecânica e de Material de Tramways, em que

saiu vencedor no grupo tramways de cidade uma viatura automotora eléctrica (2,6 ton; sendo 1,1 ton dos acumuladores (42 %)). Tratava-se de um viatura ordinária já experimentada nos tramways de Bruxelas, electrificada com um motor Siemens alimentado por acumuladores colocados debaixo dos bancos. Esta viatura eléctrica (carro Julien) vinha sendo utilizada desde Outubro de 1884 no transporte público em Bruxelas (percurso sem rampas).



A partir desta época é nos Estados Unidos da América que ocorrerão as experiências e as inovações capazes de fazerem evoluir a Tracção Eléctrica, numa procura de resultados comerciais significativos. Também nos Estados Unidos da América do Norte houve acções precursoras que, devido a causas várias, não tiveram importância imediata.

**1878** – George F. Green, requereu uma patente sobre um caminho de ferro eléctrico, com alimentação pelos carris e por linha aérea, começou por construir um modelo em 1875 e, depois, construiu um outro modelo capaz de deslocar duas pessoas. No entanto, por preguiça burocrática a patente, que envolve os princípios gerais da tracção eléctrica, só foi atribuída em 1891 (!!!).

**1880** – Stephen Field, de Stockbridge, Massachusetts, requer uma patente sobre “*Propelling Cars by Electricity*” e mais tarde outra sobre “*Electromagnetic Locomotive*”.

**1880** – Em Menlo Park, Thomas Edison realiza várias experiências de tracção com máquinas eléctricas e constrói uma linha electrificada experimental com uma extensão de 536 m alimentada por dois geradores Edison tipo Z. Desde 1880 foram construídas diversas locomotivas, integrando a experiência entretanto adquirida.

No entanto em 1883 começam a ocorrer um conjunto de factos que são relevantes na História da Tracção Eléctrica.

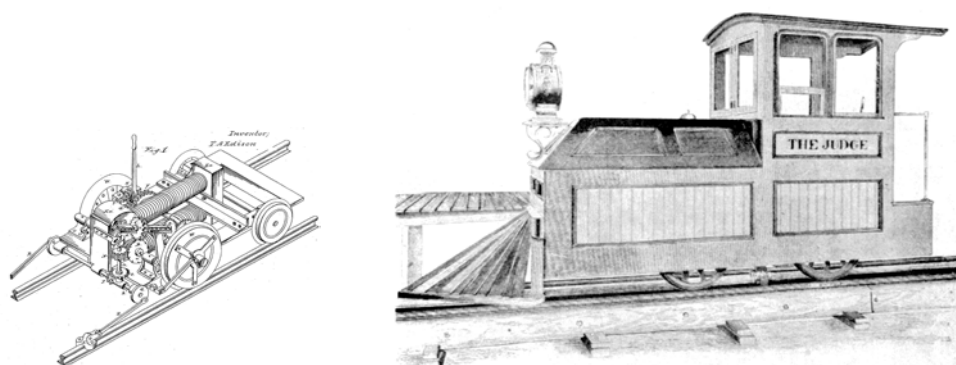


Fig. 1.6 – Locomotivas de Edison (1880) e de Edison e Field (1883)

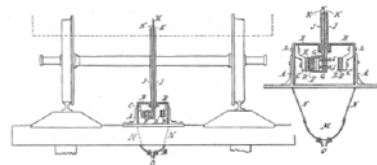
**1883** – Thomas Edison e Stephen Field apresentaram uma locomotiva eléctrica — *The Judge* — que se deslocou numa pequena via férrea com 0,9 m de bitola na Exposição de Chicago de 1883 (aderiram ao sistema de um veículo motor rebocando os outros). O circuito eléctrico de alimentação era formado por um carril colocado no eixo da via férrea e o circuito de retorno era constituído pelos carris de rolamento da via férrea. Nesta caso, a velocidade do motor eléctrico era controlada por reóstatos e existia um mecanismo de inversão de marcha.

**1883** – Como resultado dos seus trabalhos sobre tracção eléctrica, iniciados em

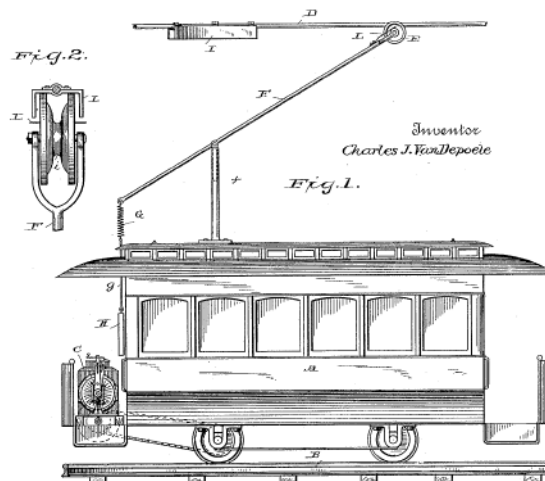


1882, Charles J. Van Depoele (1846–1892): faz circular durante um mês uma pequena viatura alimentada por condutores eléctricos aéreos, e instala uma linha electrificada — carruagens elevadas suspensas — na Exposição Interestadual de Chicago, e

1884 – projectou para Toronto uma linha de carros eléctricos (cerca de 1 km) em que a alimentação era feita por *carril central subterrâneo*. Com esta instalação conseguiu-se uma tensão eléctrica excepcionalmente elevada, 1400 V, sem que tivesse havido acidentes, e



1885 – começou a utilizar o trólei de mastro no tejadilho do carro eléctrico. Uma forte mola pressionava a vara de forma que a roda de contacto deslizava permanentemente contra a parte inferior da linha aérea maciça.



1887 – projectou a rede eléctrica de linhas de transporte para a cidade de Montgomery, Alabama, que foi a “*primeira cidade a ter somente transportes ferroviários eléctricos*”.

### ***Charles Joseph van Depoele (1846–1892)***

Charles van Depoele nasceu em 1846 em Lichtervelde, Bélgica, e foi educado na Bélgica e em França. Em 1868 emigrou para Detroit nos Estados Unidos da América, onde desenvolveu um próspero negócio de mobília para igrejas e utilizou os lucros para financiar os seus estudos de Electricidade.

Em 1877 decidiu dedicar-se integralmente à indústria eléctrica criando em Detroit a Van Depoele Electric Light Company. Mais tarde instalou-se em Chicago e entrou no campo da Tracção Eléctrica com uma demonstração numa empresa de transporte ferroviário elevado. Em 1877 a empresa de van Depoele tinha já instalado uma dúzia de empresas de carros eléctricos, que utilizavam cerca de uma centena de carros ao longo de mais de 96 km de carril.

Em 1888 a empresa Thomson-Houston comprou a empresa de Van Depoele e ele passou a integrar o Departamento de Vias Férreas dessa empresa.

Morreu em 1892, e nos quinze anos que se dedicou à indústria eléctrica foram-lhe concedidas cerca de 250 patentes — cobrindo os campos das máquinas eléctricas, iluminação eléctrica e distribuição de energia eléctrica. É apontado como o inventor da escova de carvão para máquinas eléctricas rotativas e foi-lhe atribuída a primazia na aplicação do trólei de mastro.



Foi utilizada pela primeira vez em escala comercial e tomou a forma definitiva o *trólei de mastro*, com o contacto inferior do trólei com a linha de contacto feito por uma roda com gola, e a linha de contacto aérea suspensa sobre a via, como ainda se pode observar (2006) nas linhas de carro eléctrico em funcionamento na cidade do Porto.

Mas na Europa continua a realizar-se a electrificação de linhas de transporte público



urbano, embora a rigidez da legislação obrigasse à procura de novas soluções para além da alimentação por linha aérea. No caso da alimentação em energia eléctrica sempre houve objecções estéticas à alimentação por linha aérea, pelo que foram procuradas outras formas de alimentação dos veículos.

**1884** – Para resolver os problema dos percursos com rampas muito inclinadas René Thury ensaia a tracção eléctrica com cremalheira (Riggenbach) num percurso experimental em Territet, Suíça. Nesta altura surge n Suíça uma empresa Ateliers Sécheron, com um departamento de Tracção Eléctrica, onde Thury dirigiu os ensaios.

**1885** – Em Blackpool, Inglaterra, é electrificada uma linha de transporte público, sendo a alimentação também por carril central subterrâneo.

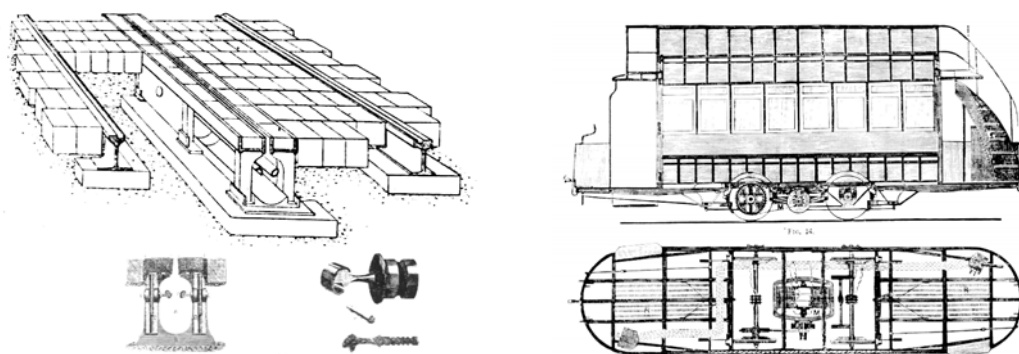


Fig. 1.7 – Aspectos construtivos da linha de Blackpool (1885)

**1885** – Foi electrificada, por Leo Daft, parte da linha de transporte público de Baltimore numa extensão de 3,2 km. Apresentava a particularidade de ter um perfil acidentado e com numerosas curvas. Existia um veiculo motor (1,9 ton.) que rebocava as carruagens de passageiros. A alimentação em energia eléctrica era feita através de um terceiro carril isolado, mas nas curvas e cruzamentos de linha a alimentação em energia realizava-se por um condutor aéreo. O motor eléctrico (5,8 kW) era controlado pelo circuito indutor.

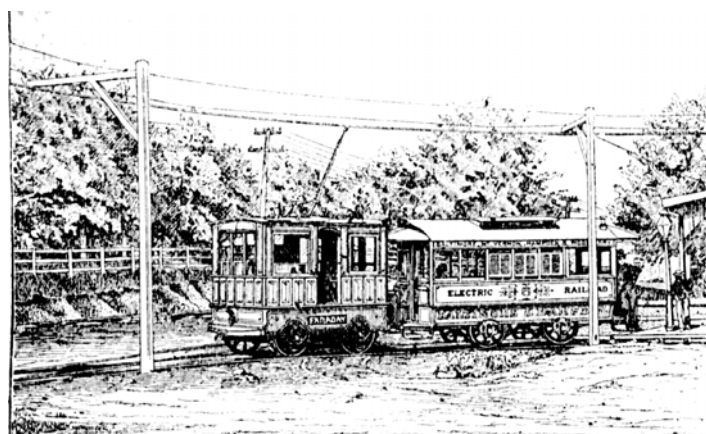


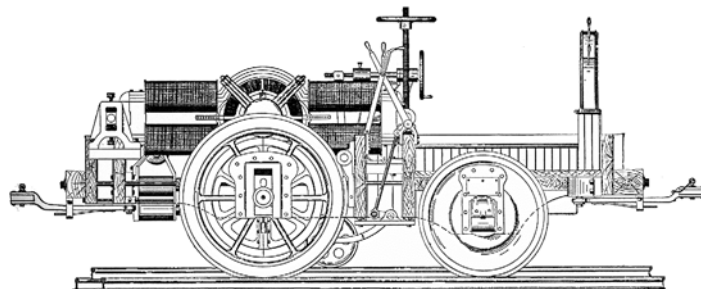
Fig. 1.8 – Linha de Baltimore; parte de condutor aéreo.

Surgem aqui as duas formas de promover o movimento de uma carga:

1)- por uma *locomotiva* — existe um veículo motor que não transporta carga útil e que reboca outros veículos sem motor;

2)- por uma *automotora* – o veículo motor transporta carga útil, e pode rebocar outros veículos sem motor.

**1885** – é utilizada uma locomotiva eléctrica — *Benjamin Franklin* — desenvolvida por Leo Daft na linha de caminho de ferro elevada de Nova York (Elevated Railroad Company). O motor eléctrico (indutor Siemens e induzido Gramme) atacava directamente as duas rodas de um eixo e era alimentado por um terceiro carril.

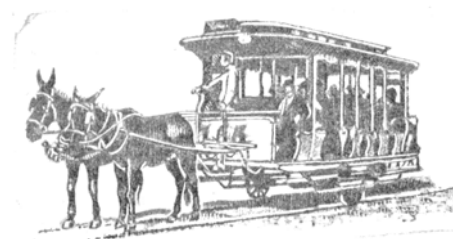


A partir destas primeiras instalações de tracção eléctrica começou a crescer a confiança do público neste meio de transporte e iniciou-se a aparecimento de um conjunto de marcos históricos na evolução do transporte público com veículos accionados por motores eléctricos.

Linha	Data	Extensão (km)	Alimentação
Cleveland Este (USA)	1884	3	carril central subterrâneo
Frankfurt	1884	-	linha aérea ôca
Blackpool	1885	3,2	carril central subterrâneo
Hamburg	1886	5,3	acumuladores
Montgomery (USA)	1885-86	17,6	linha aérea simples
Appleton (USA)	1886	7,2	linha aérea dupla
Los Angeles (USA)	1887	8	linha aérea simples e dupla

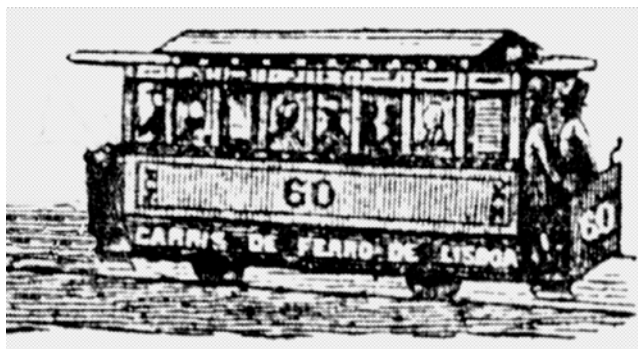
Em Portugal, onde estavam em franca exploração sistemas de tracção animal (caminho de ferro americano) (Porto 1870, Lisboa 1873), começou a haver interesse pela tracção mecânica, essencialmente os sistemas de tracção funicular (tramway-cabo) (Porto, Janeiro de 1886) e de tracção a vapor (Porto 1878, Lisboa 1889). Nesse contexto, e na procura de um meio de

transporte público mais rápido e mais económico, ocorre em Lisboa, desde Setembro 1887 a Setembro de 1890, a realização de experiências com dois veículos eléctricos alimentados por acumuladores deslocando-se na linha de tramways entre St. Amaro e Algés.



**1887** – iniciaram-se em Lisboa, no dia 18 de Setembro de 1887 as experiências com um carro eléctrico (sistema Julien — vencedor do concurso de Anvers 1885) comprado ao fabricante belga, e em Novembro ficou concluído um outro carro eléctrico construído em Lisboa sob a direcção de Maximiliano Herrmann. Estes carros eram alimentados por acumuladores Julien e accionados por um motor Inmisch. Surgiram dificuldades com o gerador de corrente contínua para carregar os acumuladores e com a duração dos acumuladores. Da experiência que foi

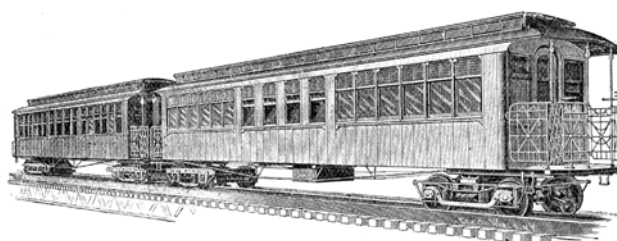
decorrendo durante dois anos não foi possível tirar conclusões sobre o interesse económico da utilização dos carros eléctricos com acumuladores face à tracção animal.



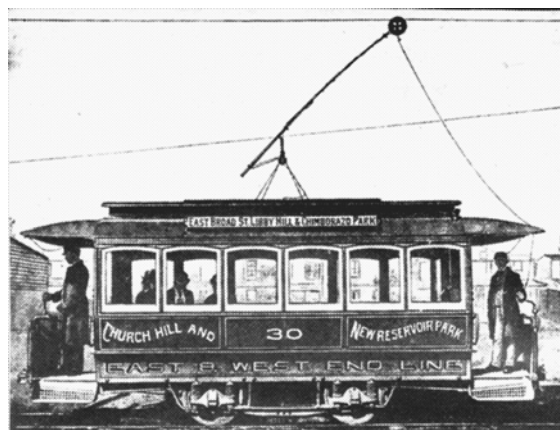
Em Setembro de 1886 é apresentada numa conferência a electrificação desenvolvida por Frank J. Sprague para a linha de metropolitano elevado da 3ª Avenida de Nova York.

#### **Frank. J. Sprague (1857-1934)**

Sprague graduou-se na Academia Naval Americana (1878), visitou a Exposição de Electricidade de Paris em 1881 e de Londres (Cristal Palace 1882), iniciou em 1885 um trabalho de projecto e desenvolvimento no domínio da Tracção Eléctrica que veio a ter grande influência no desenvolvimento do transporte urbano. Em 1887 Sprague assinou um contrato para instalar um linha de carros eléctricos com 40 carros na cidade de Richmond, Va. Em Junho de 1888 apresentou uma comunicação sobre “A Solução para o Trânsito Municipal Rápido” onde tira conclusões e escreve sobre o desenvolvimento de sistemas de tracção eléctrica para o transporte urbano e suburbano, servindo-se da experiência adquirida com a construção da linha de Richmond. Acompanhando a exposição com dados financeiros e salientando as vantagens da tracção eléctrica sobre os outros métodos de tracção, apresenta ainda os aspectos técnicos relevantes (como as curvas características dos motores eléctricos) e inovadores (como a suspensão semi-elástica do motor: dois pontos de apoio sobre o eixo da roda e um ponto de suspensão por molas do chassi).



**1888** – Foi instalada em Richmond (Virgínia, USA) uma linha de carros eléctricos projectada por F. Sprague, com a extensão de 19,2 km, 30 carros e alimentação por linha aérea a uma tensão de 450 V. Os carros eléctricos, abertos e fechados, foram dotados com dois motores, actuando sobre cada eixo e com controlador duplo permitindo a comutação série-paralelo. Foi utilizado o trólei universal — contacto rotativo



inferior com a linha aérea colocado na extremidade de um mastro mantido por molas. Esta linha electrificada constituiu um sucesso técnico e comercial (no início), o que fez consagrar a ideia da utilização da Tracção Eléctrica como meio de transporte público.

A rede de linhas de tracção eléctrica na cidade de Richmond começou a funcionar, com graves problemas e intermitentemente, em 1887. Só em Janeiro de 1888, depois de resolvidos por F. Sprague muitos dos problemas, é que se iniciou um funcionamento regular da rede. No entanto, e em espírito comemorativo, considera-se que “*a incrível aventura em Richmond*” de Frank Sprague em 1887 representa o início do caminho de ferro eléctrico. Por isso no ano de 1987 entidades americanas comemoraram o *Centenário do Carro Eléctrico*.

Nesta época uma cidade como Birmingham podia ser simultaneamente servida por um empresa de transportes (Birmingham Central Tramways Company) com sistemas de transporte por tracção animal (10,9 d/milha), por tracção funicular (17,4 d/milha) e por tracção a vapor (13,8 d/milha), sendo importante a comparação entre os respectivos custos médios por milha (1,6 km) percorrida.

Começa nesta época a tornar-se predominante o método de alimentação dos veículos em energia eléctrica por linha aérea. Surge na electrificação (ideia patenteada em 1889 por Van Depoele) de uma linha em Minneapolis com locomotivas eléctricas o seccionamento e a alimentação da linha aérea de contacto em cada secção por cabos condutores directamente ligados à central produtora de energia eléctrica — *alimentadores ou “feeders”*. No entanto, ainda existem linhas de carros eléctricos alimentadas por acumuladores — Filadélfia, Nova York e Boston — e ainda se fazem electrificações com este tipo de alimentação.

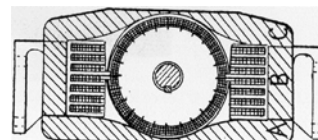
My invention relates to improvements in systems of supplying current to the working-conductors of electric railways. In many instances the location of the source of current is necessarily so remote from outlying portions of the line that there is considerable drop of potential in transmitting the supply-current from the generator to the working-conductors. A system of auxiliary conductors or feeders extending throughout the entire length of the line and parallel with the working-conductors has been used to convey the supply-current thereto. This system,

**1888** – Leo Daft constrói uma primeira locomotiva eléctrica com cremalheira.

Num pequeno percurso com inclinação elevada 154 ‰ o motor da locomotiva acciona uma roda dentada que engrena numa cremalheira simples; a alimentação é por linha aérea dupla. Na restante parte do percurso a tracção é por aderência com alimentação por carril subterrâneo.

**1888** – Em Birmingham iniciam-se em 1 de Outubro as experiências com uma locomotiva eléctrica (análoga às pequenas locomotivas a vapor) alimentada por acumuladores (chumbo em solução ácida), e baseada no sistema Julien, nas linhas exploradas por tracção a vapor. Em consequência foi adoptada a tracção eléctrica com acumuladores em 1890, com 12 carros eléctricos do tipo imperial (dois andares). Em 1901 a alimentação foi alterada para linha área.

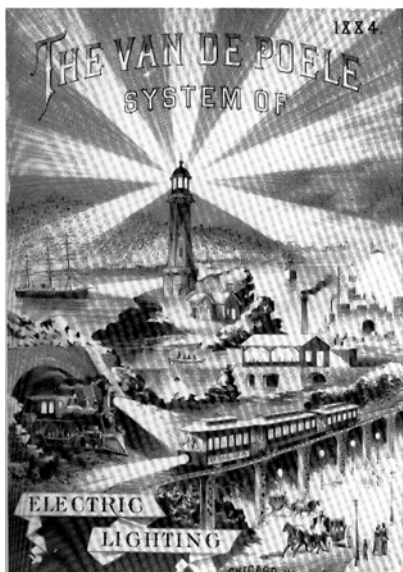
**1889** – Chega a Nova York um emigrante que adopta o nome de *Charles Proteus Steinmetz* e que encontra emprego na empresa Eickemeyr & Osterheld Manf. C. (1864) manufactura de aparelhagem eléctrica, com fabrico próprio de carros eléctricos, e que nos anos seguintes projectou e desenvolveu motores eléctricos de corrente continua e de corrente alternada





monofásica para carros eléctricos. Em 1892 aquela empresa foi adquirida pela General Electric Company.

Perante as realizações de Van Depoele e de Frank Sprague, as principais empresas industriais que trabalhavam na área da energia eléctrica



começaram a dedicar-se à tracção eléctrica, recorrendo a fusões com absorção da tecnologia: a empresa Thomson-Houston (criada em 1883) absorveu em 1888 a empresa de tracção eléctrica de Van Depoele (Van Depoele Electric Manufacturing Company, 1881); a empresa de F. Sprague (Electric Railway and Motor Company, 1884) foi integrada em 1889 numa nova companhia recém-criada a Edison General Electric Company, que em 1892 foi reunida com a Thomson-Houston Company na General Electric Company.

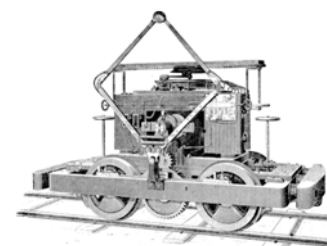


sistema de tracção eléctrica em corrente contínua, partindo da sua experiência na construção de geradores e de motores, e devido ao falhanço na utilização do motor de Tesla (motor de indução) na tracção eléctrica.

Só a empresa Westinghouse (criada em 1886) desenvolveu em 1890 o seu próprio

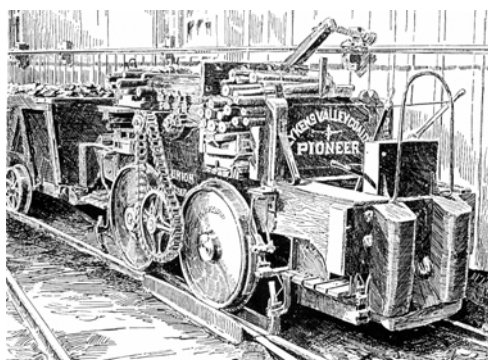


**1889** – A empresa Thomson-Houston fornece para a mina de antracite “Erie” na Pensilvânia uma locomotiva mineira para via de 0,95 m de bitola, tinha uma potência de 29,4 kW. Já antes na Europa tinham sido fornecidas pela empresa Siemens & Halske locomotivas eléctricas para trabalho em minas: 1882 — Zaukerode, Neu-Strassfurt; 1883 – Paulus-Hohenzollern.



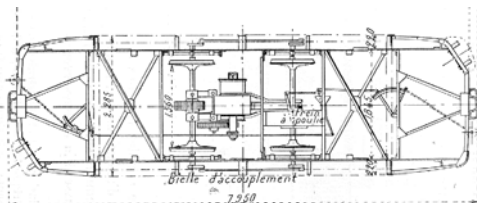
Foi a aplicação das locomotivas eléctricas no duro serviço de minas subterrâneas que permitiu um desenvolvimento tal que a locomotiva eléctrica passou a ter aplicação em: serviço de tracção em minas; serviço de tracção industrial; e no trafego suburbano ou regional (serviço urbano e suburbano em sítio próprio).

Entende-se por *locomotiva* um veículo motor sobre via férrea destinado a rebocar outros veículos e não transportando qualquer carga útil.

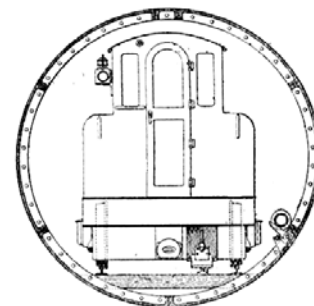


Segue-se agora um período em que se dará uma electrificação gradual dos meios de transporte urbano e suburbano e em que se iniciará a electrificação de algumas linhas de caminho de ferro de longo curso. Em 1890 na Europa existem 71 km de linhas electrificadas e 140 viaturas eléctricas, enquanto que nos Estados Unidos e Canadá existiam 301 empresas; utilizavam diversos sistemas de tracção eléctrica.

**1890** – É instalada, em França, a primeira linha industrial de carros eléctricos — linha de Clermont–Ferrand. Nesta linha, com bitola métrica, a alimentação ainda é feita por linha aérea constituída por um tubo fendido com um contacto deslizante no interior. A transmissão do movimento do veio do motor 16 kW às rodas é feita por um sistema mecânico complicado de engrenagens com bielas ligando às rodas.



**1890** – É inaugurado em Londres o primeiro *metropolitano* (subterrâneo) — City and South London Railway. Uma locomotiva eléctrica de com o peso de 13,5 ton com dois motores eléctricos tipo série associados em série e os induzidos montados directamente sobre o eixo das rodas. A alimentação era por terceiro carril.

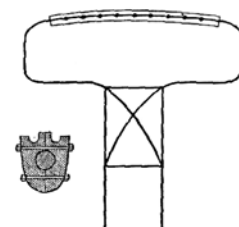


Considera-se que um sistema de transporte está em regime de *Metropolitano*, quando é feita a utilização das vias férreas urbanas, subterrânea, elevada ou de superfície, com um regime tarifário único, com a transferência de passageiros assegurada em todos os entroncamentos, num tráfego uniforme e constante, de cadência igual, num acesso semelhante dos passageiros aos veículos em toda a rede, na adopção de um tipo único de energia em todas as linhas, sendo o conjunto todo, administrado mantido e reparado por uma única empresa.

A este tipo de exploração está associado uma aplicação da tracção eléctrica em que ocorre a certas horas do dia — manhã, meio-dia, e fim da tarde —, geralmente num só sentido, um enorme afluxo de utentes.

O serviço de tracção eléctrica é caracterizado por elevadas velocidades e paragens frequentes — *Trânsito Rápido* (“rapid transit”) — o que obriga a adoptar um reduzido tempo de “*por em velocidade*” ou seja obriga a trabalhar com uma aceleração elevada.

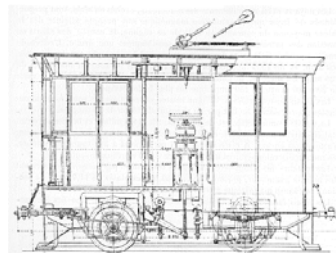
**1890** – A empresa Siemens & Halske começa a utilizar na alimentação por linha aérea dos veículos de tracção um *trólei em arco* ou *trólei em lira*.



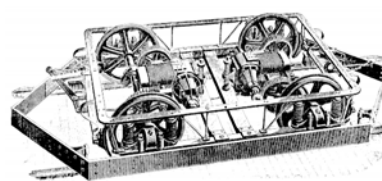
Em 1891 ocorre em Frunkfurt uma Exposição Universal, que representa um marco muito importante na Electrotecnia: surge a utilização industrial da corrente alternada polifásica, para além de uma diversificada aplicação industrial da Electricidade.

Mas, para além do material exposto pelas muitas empresas europeias construtoras de material para Tracção Eléctrica, nesse ano ocorreram outros factos significativos no desenvolvimento da tracção eléctrica.

**1891** – Na Suíça são construídas locomotivas eléctricas para exploração de pequenas linhas locais de caminho de ferro pela firma Ateliers de Construction Oerlikon (Suíça): Sissach-Gelterkinden e de Grütsch-Mürren. As locomotivas tinham uma potência pequena (22 kW e 44 kW), eram alimentadas por linha aérea e utilizavam motores de corrente contínua quadripolares, controlados por reóstato.



**1891** – Em Junho começam a circular os carros eléctricos de Halle, construídos pela AEG – Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, com licenças Sprague. Os veículos têm um chassi em ferro e o motor (11 kW) está ligado á roda por um redutor duplo. A alimentação em energia é feita por linha aérea dividida em secções alimentada por um cabo alimentador (“feeder”) aéreo.

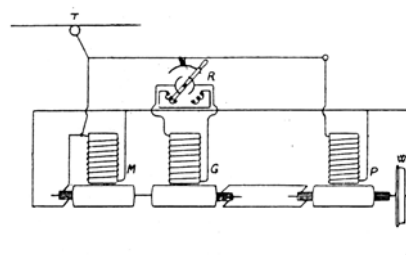


**1891** – Em Paris começa-se a discutir a construção de uma tramway subterrâneo eléctrico, indo do Bosque de Bolonha ao Bosque de Vincennes.

**1891** – Na Exposição de Frunkfurt a empresa Siemens & Halske apresentou para demonstração um carro eléctrico alimentado por uma bateria de acumuladores com a caixa montada sobre dois bogies. O veículo para 40 passageiros tinha dois motores de 7 kW, e a bateria tinha acumuladores sistema Tudor, pesando 1 ton (12,5%), enquanto que o veículo pesava 8 ton.

Nesta época existiam linhas de carros eléctricos alimentadas por acumuladores em Filadélfia (The Lehigh Avenue Passenger Railway), Barking Road (Londres), Hague (Holanda), Lião (França).

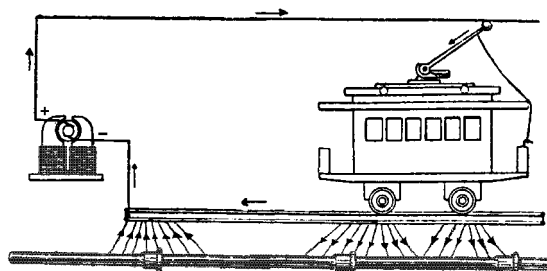
**1892** – Para controlo de velocidade dos veículos utilizados nas linhas de tramway electrificadas, H. Ward Léonard inventa o sistema de controlo da velocidade de motores eléctricos de corrente contínua através da variação excitação do gerador de um grupo motor-gerador de alimentação do motor eléctrico: *sistema Ward Léonard*.



Salientando as vantagens da tracção eléctrica na exploração das linhas de transporte público urbano (linhas de tramway) são publicados artigos divulgando valores contabilísticos com um aumento da receita bruta de 30% a 300% e com uma diminuição dos gastos de exploração.

Mas, sob o ponto de vista electrotécnico, as linhas de carros eléctricos com retorno da corrente eléctrica pelos carris interferem com as linhas de telecomunicações com retorno

pela terra e podem provocar fenómenos de corrosão nas estruturas metálicas subterrâneas adjacentes. Surgem diversas situações de avaria — ruído nas comunicações telefónicas, corrosão de condutas de gás e de água — e as correspondentes notícias alarmantes na imprensa, seguidas da actuação das companhias de seguros, assim como a discussão do problema nas revistas técnicas.



**1892** – Nas reuniões das Associações de Tramways americanas começam a surgir tendências normalizadoras que levam a caracterizar uma linha modelo de tramways eléctricos, com a sua linha aérea perfeita, via, partes dos veículos (chassi e caixa), estação central geradora e sistema de contabilidade.

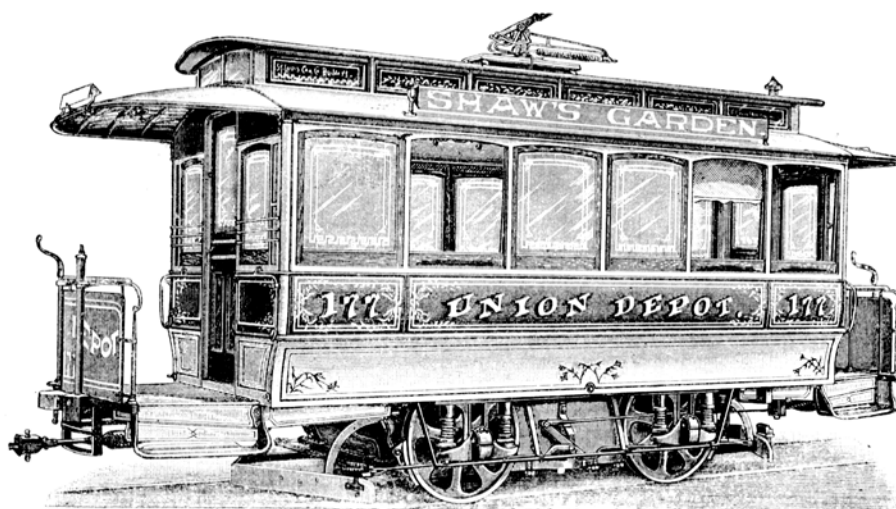
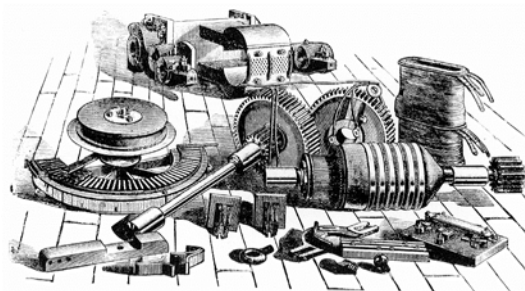
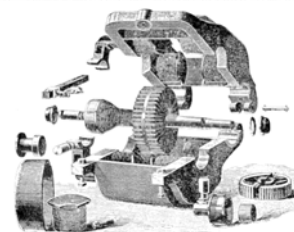


Fig. 1.9 – Viatura fechada típica de tracção eléctrica (construção americana 1892)

Verifica-se então que sistema de electrificação dos veículos tinha já sofrido uma evolução, resultante de uma década rica nas mais diversas experiências. Uma dos elementos que teve de ser adaptado foi o motor eléctrico de tracção. Se nas primeiras electrificações foram utilizados geradores de corrente contínua a funcionar como motores, nesta época existe já uma tentativa de normalização dos aspectos construtivos dos motores eléctricos de tracção.



Os motores eléctricos estão ligados às rodas por um redutor simples (pinhão-roda dentada), o que torna a construção mais barata, a manutenção mais simples e reduz o ruído. Para melhorar a comutação, nas condições rigorosas de tracção, reforçou-se o campo magnético indutor, utilizaram-se escovas de carvão colocadas perpendicularmente ao colector. Começaram a utilizar-se motores quadripolares. Passaram a utilizar-se dois motores por viatura de dois eixos (diferencial eléctrico), com uma potência média 11 kW, accionando cada motor um eixo. A carcaça passou a ter uma forma que, protegendo mecanicamente o motor, é de fácil abertura.



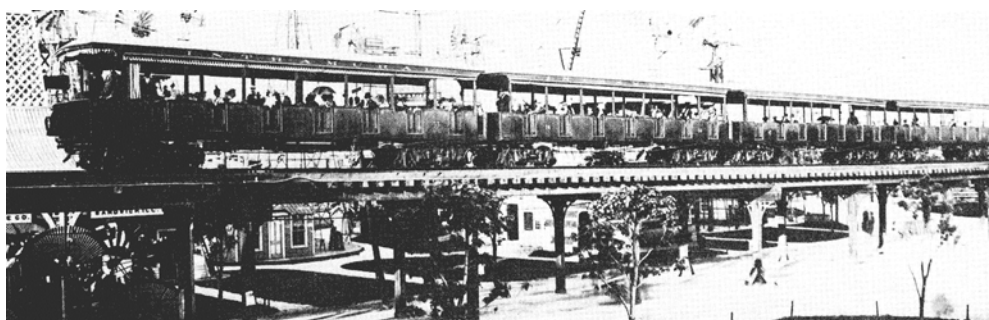
**1892** – É inaugurada em 8 de Outubro a electrificação da linha da Companhia



Ferro Carril do Jardim Botânico, no Rio de Janeiro, Brasil, entre o Centro e o Largo do Machado, onde se situava a central termoelétrica. A linha electrificada era anteriormente explorada com tracção animal (bonde de burro). O material de electrificação dos carros eléctricos (bondes) é da Thomson-Houston International Electric Corp.

**1893** – É electrificada a linha aérea (linha em viaduto) das docas de Liverpool com automotoras do tipo carro eléctrico grande.

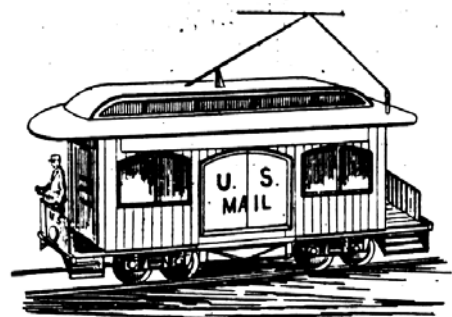
**1893** – Na Exposição Mundial de Chicago, na *Intramural Electrical Road*, foram utilizados agrupamentos de carros eléctricos — *Unidades Múltiplas* — formados por várias unidades. Já tinham sido experimentados por F. Sprague em 1886 no caminho de ferro aéreo de Nova-York, e que depois foi tratado num seu artigo fundamental no *Cassier's Magazine* de Agosto de 1899.



Como consequência da Exposição nos anos seguintes (1894–1898) começaram a ser electrificadas as linhas em viaduto do Metropolitano de Chicago.

Um *comboio de unidades múltiplas* comporta várias unidades motrizes (agrega unidades de transporte), que podem ser comandadas simultaneamente de uma única cabina de condução. A sua exploração pode ser feita com as unidades agrupadas, ou com as unidades motoras separadas, adaptando-se ao tráfego.

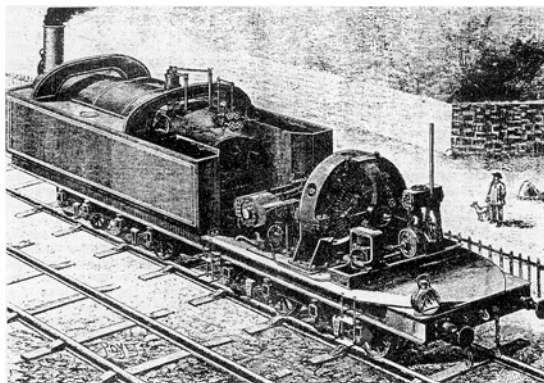
A expansão das linhas de carros eléctricos leva ao aparecimento de situações novas. Assim, em Saint-Louis foi utilizado um carro eléctrico como central distribuidora do correio servindo uma zona dispersa ao longo de 12 km de linha. Mas são previstas outras funções para os carros eléctricos sobre carris: escritório administrativo, posto médico, ambulância, veículo de limpeza e de rega de ruas, limpa-neves, etc...



Surge a dúvida sobre a melhor forma de efectuar a electrificação das linhas férreas de longo curso: com um *sistema eléctrico estacionário* (central produtora de energia, transporte até à locomotiva) ou por um sistema móvel autoprodutor (locomotiva com motor térmico e gerador eléctrico — locomotiva *termo-eléctrica*).

**1893** – Realizam-se em França importantes experiências por Jean Jacques Heilmann com uma locomotiva — *La Fusée Electrique* — com uma caldeira de baixa pressão, alimentando um motor a vapor alternativo com dois cilindros que accionava um gerador Brown-Gramme de corrente contínua. Existia um pequeno motor a vapor auxiliar para accionar a excitatriz. A locomotiva, que

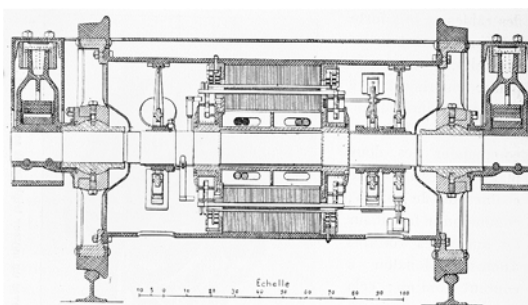
pesava 118 ton, estava montada numa plataforma que se apoiava em dois bogies, cada bogie com quatro rodados motores. Cada rodado era accionado por um motor de 45 kW, (potência total = 360 kW) com o rotor ligado ao veio do rodado. Os quatro motores estavam ligados em paralelo nos terminais do gerador. O resultado das experiências feitas entre le Havre e Beuzeville foram satisfatórios e a locomotiva fez serviço regular na Linha do Oeste.



Surge aqui a primeira situação de uma *transmissão eléctrica do movimento*, que depois terá o seu desenvolvimento e grande aplicação na tracção Diesel-eléctrica.

Mais do que uma locomotiva nova, a *Fusée Électrique* representava uma nova forma de fazer a electrificação de uma longa linha férrea. Num tempo em que não existia rede eléctrica nacional (nem regional) uma linha de caminho de ferro longa podia abarcar vários fornecedores locais de energia eléctrica com diversificados valores das grandezas características. Por isso, para evitar a construção de uma sistema produtor exclusivo da linha férrea (sem outra justificação comercial), a locomotiva transportava a própria central produtora de energia eléctrica. Globalmente diminuía o valor do encargo inicial com a electrificação.

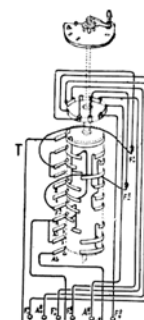
**1893/94** – No inicio dos trabalhos de desenvolvimento da nova locomotiva J-J Heilmann efectuou estudos experimentais sobre o tipo de motor eléctrico a adoptar: motor série de corrente contínua ou motor de indução trifásico. Devido à enorme projecção do transporte de energia eléctrica em corrente



alternada trifásica na Exposição de Frankfurt (1891), pensava-se que o motor de indução trifásico era um motor com boas possibilidades de accionar um veículo eléctrico. Com projecto de C. Brown foi construído um motor de indução trifásico: o motor tinha um circuito indutor, em estrela, para funcionar fixo e preso ao chassi. O circuito do induzido seria montado directamente sobre o eixo do rodado e contactava com os reóstato de arranque através de um colectador de anéis. O motor foi ensaiado ainda em 1893, apresentando uma potência máxima de 48 kW, foi incapaz de arrancar sem reóstato e no arranque desenvolveu um esforço insuficiente no veio, o que se

atribuiu à largura excessiva do entreferro. Perante os resultados deste ensaio foi abandonada a ideia de dotar a locomotiva com dois bogies, cada um com quatro rodados motores, apesar dos ensaios terem demonstrado que o motor de indução tinha um menor peso e uma mais fácil manutenção que os outros tipos de motores

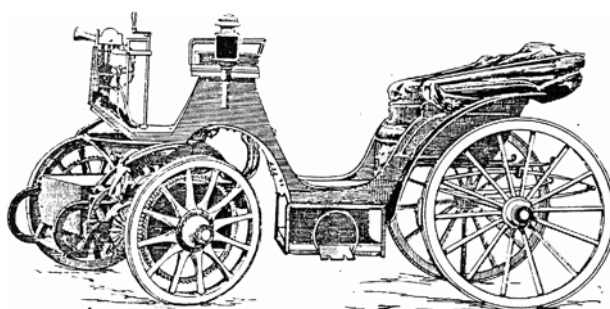
1894 – Passa a ser utilizada nas unidades de controlo e comando do circuito eléctrico do motor — *combinadores* (“*controllers*”) — um comutador cilíndrico dotado de sistema de sopro magnético (extintor magnético) do arco formado durante a comutação do circuito (combinador tipo K da Thomson-Houston).



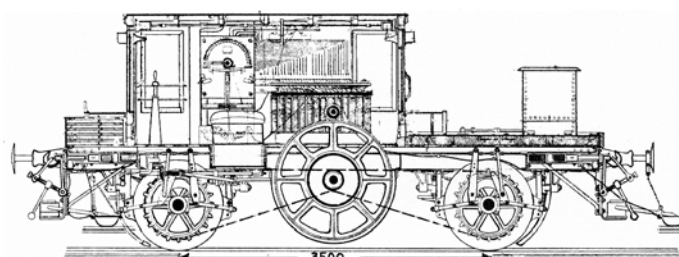
1894 – Começam a ser construídas por conta de uma empresa fabricante de baterias de acumuladores, em Filadélfia, carruagens rodoviárias electrificadas. Dois engenheiros Pedro Salom e Henry Morris passaram o Outono a aplicar baterias e motores eléctricos às carruagens rodoviárias. Eram veículos eléctricos, que se deslocavam em qualquer estrada e que se destinavam a substituir no transporte individual, essencialmente de aluguer, dentro das cidades as diferentes carruagens puxadas por cavalos: cab, phaéton, coupé, fiacre, dog-car.

Até aqui deu-se o desenvolvimento da tracção eléctrica dos transportes públicos — transportes colectivos destinados a um grupo elevado de utentes. Mas em 1894, com a electrificação das carruagens rodoviárias, passa-se a aplicar a tracção eléctrica ao transporte individual ou familiar.

1894 – O engenheiro francês Louis Kriéger converteu uma carruagem (*victória*) colocando no rodado da frente um tractor eléctrico. Durante um ano foi utilizado como táxi (peso – 1430 kg; peso das baterias - 285 kg (20%); autonomia – 30 km)

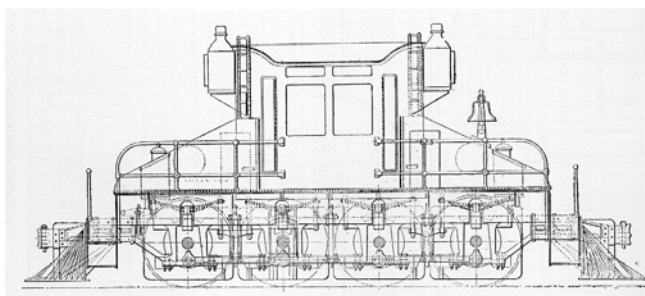


1894 – Em França é desenvolvida uma locomotiva eléctrica por Hillairet, alimentada por terceiro carril, e destinada ao transporte de carvão entre Montmartre a La



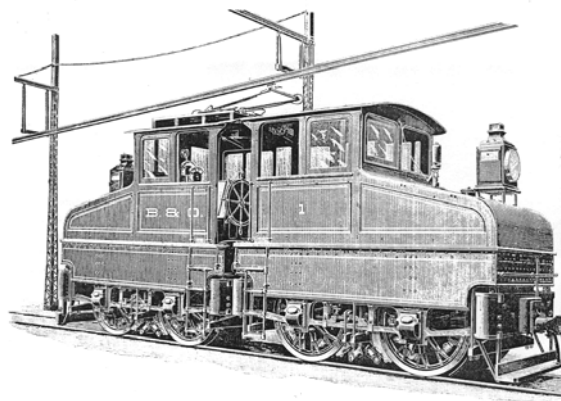
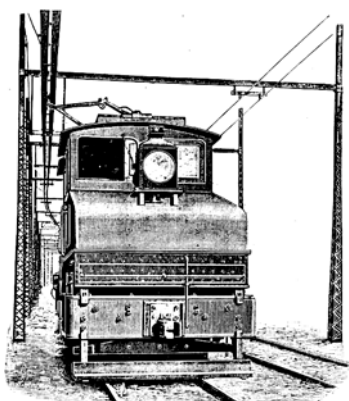
Béraudière. O motor eléctrico, bipolar, de corrente contínua, excitação série, uma potência nominal de 22 kW, para uma tensão de 300 V.

1894 – Nos Estados Unidos começam a fabricar-se séries de locomotivas — pela General Electric e pela Westinghouse —, que apresentam já um aspecto que assumirão as locomotivas futuras. No entanto o sistema de electrificação e o de motorização são ainda muito diversificados.



1895 – Em França realiza-se uma corrida de automóveis (*a vapor, a gasolina, eléctrico*) Paris – Bordeaux – Paris, 1170 km num tempo inferior a 100 h, onde uma “*carruagem de luxo electrificada*” preparado por Jeantaud efectuou o percurso Paris–Bordeaux graças à utilização de estações carregadoras das baterias cada 40 km.

1895 – Em Baltimore USA, uma locomotiva eléctrica [Bo-Bo] construída pela General Electric, alimentada em corrente contínua, 625 V, 1059 kW e com quatro motores série bipolares, atinge os 80 km/h de velocidade máxima, tendo estabelecido o primeiro serviço regular de comboios eléctricos (Baltimore & Ohio). Os motores hexapolares são de 264 kW. A alimentação é por linha aérea em condutores rígidos, ocupando diversas posições conforme a situação: túnel, curva ou patamar em trincheira.



Tornou-se evidente que a tracção eléctrica podia superar a tracção animal nos transportes urbanos. Já na tracção de longo curso, apesar do aumento da capacidade das locomotivas construídas, a tracção a vapor tivera um desenvolvimento e um aperfeiçoamento tal e a electrificação geral tinha um carácter tão disperso e variado, que não havia vantagem na aplicação da tracção eléctrica.

Nesta época, e apesar do número de electrificações realizadas, ainda não havia uma forma universalmente adoptada para efectuar a alimentação em energia dos veículos de tracção eléctrica.

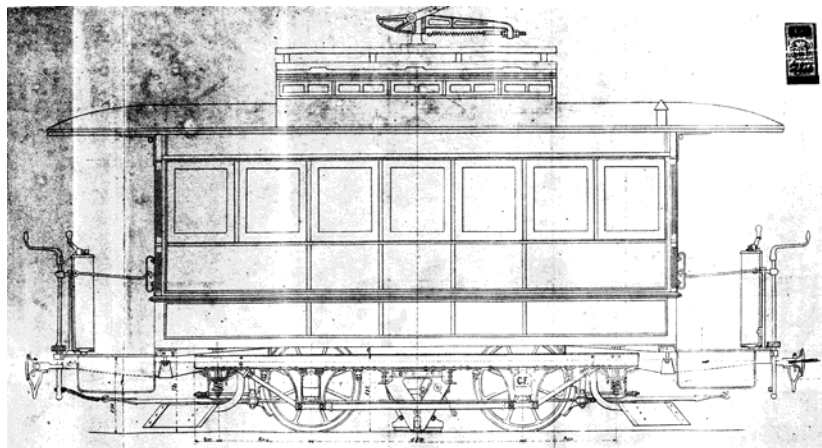
Todos os sistemas — alimentação por condutor eléctrico (aérea, subterrânea, ou à



superfície) ligando o veículo à fonte de energia, ou a alimentação por acumuladores transportados no veículo — podiam ser aplicados.

## 12 de Setembro de 1895 –

*Iniciou-se o serviço regular de transporte de passageiros na primeira linha de carros eléctricos da cidade do Porto.*



*Resultou da electrificação da linha da Restauração — ligava Massarelos ao Carmo pela rua da Restauração. Os dois carros eléctricos eram carruagens de tramway da Companhia Carris de Ferro do Porto electrificadas com material Thomson-Houdson (dois motores de corrente contínua de 18 kW; combinador) A alimentação era feita por linha aérea. A central termoeléctrica localizava-se no Ouro: gerador de 100 kW, 500 V.*

**1896** – Em Julho deste ano existiam em exploração nos Estados Unidos da América 19413 km de linhas de carros eléctricos, e somente 1950 km de linhas de tracção animal, 960 km de linhas de tracção por cabo (funicular) e 830 km de linhas de carros com tracção a vapor. Os carros eléctricos pertenciam a 916 empresas que possuíam 26242 veículos eléctricos. A despesa média de exploração era de 68% da receita bruta.

**1896** – É utilizada, na electrificação de uma linha, a corrente alternada (trifásica, 400 V, 42 Hz) em Tracção Eléctrica (fase\_R-trólei\_1; fase\_S-trólei\_2; fase\_T-carril de rolamento). Alimentou os carros eléctricos de Lugano, Itália, (4,9 km). Eram (pequenos) carros eléctricos de 24 lugares com dois eixos (9 ton.), um motor de indução trifásico, com doze pólos, com rotor bobinado e controlo de velocidade por variação da resistência do circuito do induzido. Os veículos eram dotados com dois tróleis. [funcionou até 1910].



**1896** – E. Houston e A. Kenelly publicam um artigo na *Electric Railway Gazette* sobre a aplicação da corrente alternada na alimentação das linhas de carros eléctricos. Concluem que não resulta qualquer vantagem na utilização da corrente alternada nas linhas de carros eléctricos urbanos, mas que pode ter

uma grande aplicação futura nas linhas de caminho de ferro (carreiras interurbanas e de longo curso) a electrificação com corrente alternada.

**1897** – É apresentada em Reno (Nevada) uma viatura com trólei para vias ordinárias — *tróleicarro*. A duas linhas aéreas, a uma tensão de 500 V, colocadas na vertical, eram percorridas por sistemas colectores com rodas. A corrente eléctrica era conduzida ao veículo por um cabo condutor, de 60 m, que se enrolava num contentor automático. Um motor Westinghouse accionava o eixo traseiro através de engrenagens.



**1897** – É criada em Nova York uma companhia — *The Electric Vehicle Co* — com 50 cabs e 50 coupés de aluguer (serviço de táxi), cada veículo tem dois motores eléctricos Westinghouse de 1,5 kW.

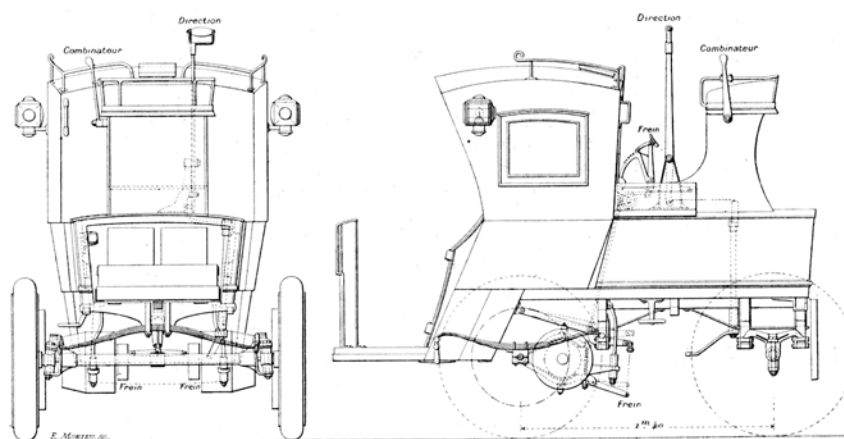
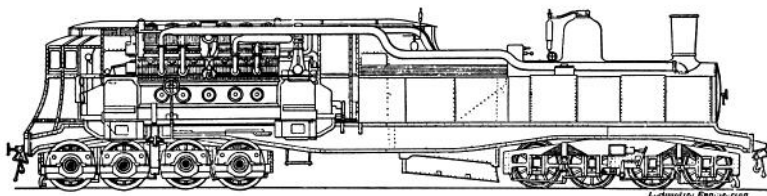


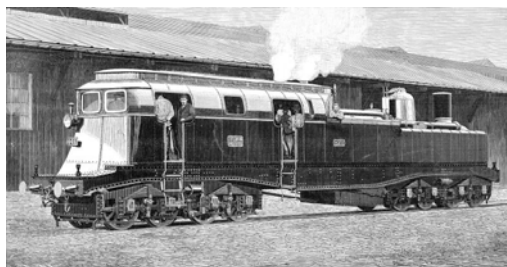
Fig. 1.10 — Veículo eléctrico (cab) de Morris & Salom (1897)

Demonstrando bem um momento de grande evolução tecnológica no jornal *New York Sun* aparece escrita a seguinte frase: “Nesta esquina movimentada, Grand Street e Bowery, podem ser vistos carros accionados por cinco métodos de propulsão diferentes — por vapor, por cabo, por trólei subterrâneo, por bateria de acumuladores, e por cavalos”.

**1897** – Na continuidade dos trabalhos de J-J Heilmann de 1893 sobre locomotivas eléctricas que transportam o sistema produtor de energia eléctrica, para substituírem as locomotivas a vapor nas linhas de longo curso, foram construídas duas novas e mais potentes locomotivas (8001 e 8002). Dotadas de uma caldeira maior e com um motor a vapor Willans-Robinson vertical com seis cilindros, e com uma potência de 1 MW. A parte eléctrica era formada por dois geradores de corrente contínua (450 kW; 450 V) funcionando em paralelo, excitados por um gerador quadripolar (16 kW, 115 V), accionado por um outro



pequeno motor Willian 20 kW, com expansão simples. O gerador de excitação alimentava, também, a iluminação do comboio. A locomotiva estava assente em dois bogies com quatro rodados motores. Os motores eléctricos de corrente contínua, 92 kW; tinham o induzido ligado ao veio do rodado através de uma ligação com molas, e podiam trabalhar em série ou em paralelo.

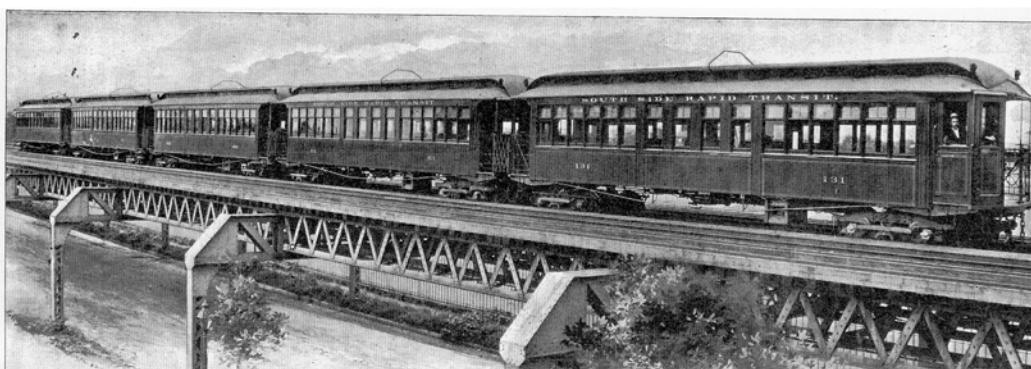


Esta locomotiva necessitava de uma tripulação de três homens — fogueiro, maquinista e um “piloto electricista” — o que encarecia a sua exploração.

**1897** – São realizadas experiências por J. Sprague com composições eléctricas reversíveis com unidades múltiplas (UME); solução que se tornou clássica nalguns transportes urbanos e nos transportes suburbanos

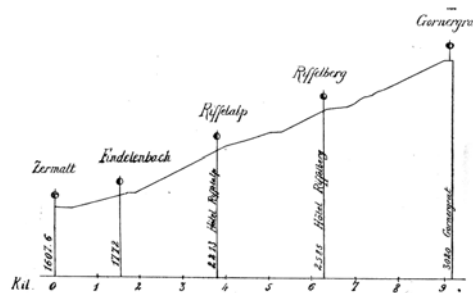
**1898** – É o ano da primeira instalação em França de um sistema de agulhagem eléctrico na estação de caminhos de ferro de Lião.

**1898** – Em Chicago cessa a exploração da tracção a vapor na linha de metropolitano aéreo de Chicago (South Side Elevated Railway), substituída pela tracção eléctrica.



**1898** – Começa a exploração do sistema de protecção “homem morto”, que promove a paragem do veículo se o condutor não actuar sobre os comandos durante um certo intervalo de tempo.

**1898** – A empresa Brown Boveri & C<sup>a</sup> electrifica um caminho de ferro de montanha — Zermatt–Gornergrat (Suíça) — com uma extensão de 9,8 km e uma rampa de maior inclinação de 20% e com um raio mínimo de curva de 80 m. A via férrea métrica tinha uma cremalheira Abt de duas lâminas. Note-se que o comboio se deslocava com uma velocidade média de 7 km/h. A electrificação era em corrente alternada trifásica com um motor de indução trifásico, e tornou-se a primeira linha de caminho de ferro electrificada desta



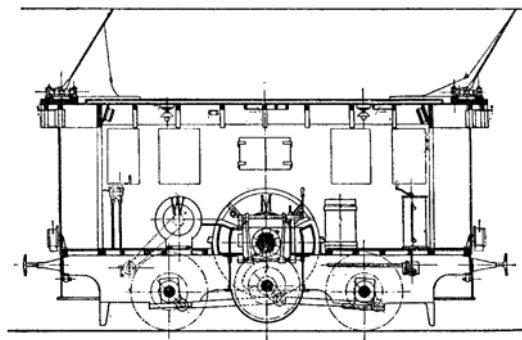
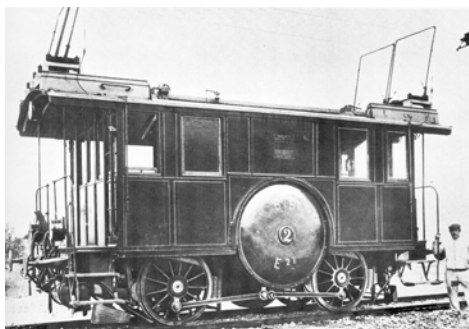
forma.

**1898** – Com a experiência acumulada no projecto de caminhos de ferro de montanha, as empresas Oerlikon e Brown Boverly & C<sup>a</sup> electrificaram o caminho de ferro de cremalheira de Jungfrau.

**1899** – É iluminada com lâmpadas de arco e lâmpadas incandescentes a Estação de Caminho de Ferro de Santa Apolónia (Lisboa). A energia eléctrica era produzida na própria estação por dínamos Schuckert.

**1899** – Para iluminação eléctrica das carruagens, feita até então a partir de acumuladores, a energia eléctrica passa a ser gerada por um dínamo movimentado pelos eixos da carruagem: *dínamo de três escovas*.

**1899** – Depois de variados estudos realizados desde 1895 a empresa Brown Boverly & C<sup>a</sup> realiza a electrificação da linha de caminho de ferro de via normal de Burgdorff a Thun (Suíça) em corrente alternada trifásica com motor de indução trifásico.



Nesta altura a construção das locomotivas eléctricas ainda era influenciada pelo problema da aderência. Por isso nas locomotivas eléctricas ainda se utilizava um sistema de transmissão mecânico de movimento com os rodados ligados através de bielas, como nas locomotivas a vapor.

**1899/90** – Perto de Paris, Lombard Gerin fez ensaios com uma viatura rodoviária (troleicarro) ligeira, numa linha com 1 km de comprimento. Para resolver o problema da viatura poder-se deslocar sem perder o contacto com os condutores aéreos, foi adoptado um trólei automotor (pequeno motor de indução trifásico: 0,5 kW).

**1900** – Em França surgem duas linhas de caminho de ferro electrificadas: Paris–Les Molineaux (em corrente contínua 650 V) e Paris Orsay–Paris Austerlitz (corrente contínua 1500 V). Inauguração (em 14 de Julho) da primeira linha (Porte Maillot–Porte Vincennes) do metropolitano de Paris.

No final do século dezanove a situação da tracção eléctrica era globalmente a seguinte:

*Carros Eléctricos* — continuam a aumentar o número das linhas electrificadas e o número de veículos nas linhas de transporte urbano. Começam a electrificar-se as linhas suburbanas. Afirma-se que este é “o tempo do carro eléctrico” (“the Time of the Trolley”).



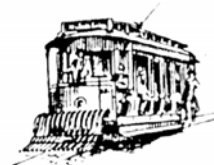
**Locomotivas** — o desenvolvimento das linhas de longo curso electrificadas surge na América, enquanto que na Europa se electrificam pequenas linhas de montanha. O sistema de alimentação em energia é, fundamentalmente, em corrente contínua, enquanto se estuda e experimentam algumas electrificações em corrente alternada monofásica e trifásica.

**Troleicarros** — apareceram apenas como experiência local em meios de transporte.

**Automóveis** — começaram a surgir tanto nos Estados Unidos da América como na Europa algumas electrificações de veículos de tiro, algumas empresas de táxi, e algumas provas ou concursos. Note-se que nesta época o automóvel eléctrico apresentava melhores características de funcionamento que o automóvel com motor térmico.

Começa a concretizar-se a tendência das cidades se estenderem para os arrabaldes, e das populações trabalhadoras deslocarem a sua habitação para os arredores da cidade. Vai existir assim uma condicionante que levará ao crescimento das linhas de carros eléctricos e dos caminhos de ferro suburbanos.

**1901** – É inaugurada em 31 de Agosto a electrificação de 47,8 km de linhas da Companhia Carris de Ferro de Lisboa. Era servida por carros eléctricos abertos e fechados.



**1901** – A empresa Siemens e Halske apresenta um autocarro eléctrico com tomada de corrente por trólei, capaz de rebocar um pequeno furgão para bagagens (um troleicarro). Com uma velocidade média de 10 km/h a 12 km/h assegura o transporte de passageiros e de mercadorias no vale do Biela. Sobressaiu a economia na instalação deste sistema de transporte.

**1902** – Continuam os ensaios, iniciados em 1899, com locomotivas eléctricas de grande velocidade, (55 a 105 km/h) alimentadas em corrente alternada trifásica (6 a 10 kV, 25 a 47,5 Hz). Os motores eram alimentados directamente em tensão da linha aérea e tinham reóstatos para o controlo da velocidade.

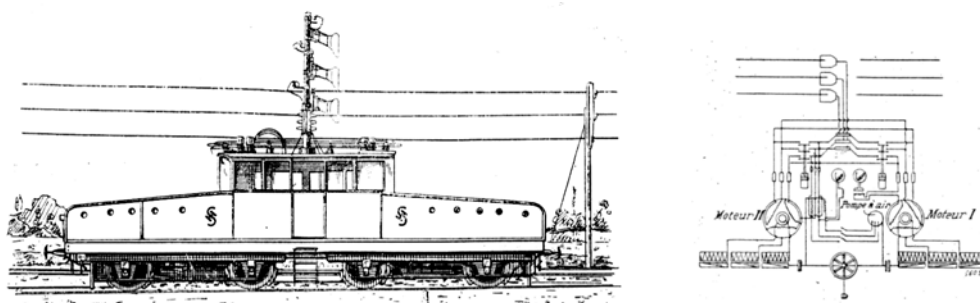
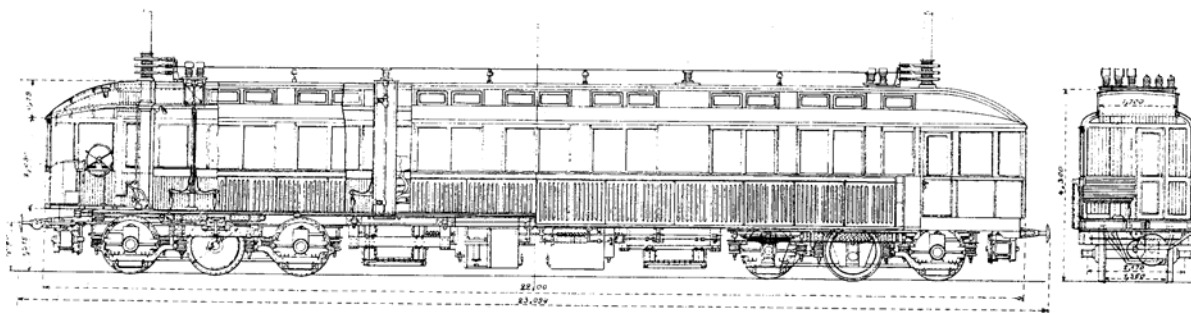


Fig. 1.11 – Locomotiva Experimental Trifásica Siemens & Halske (10 kV)

**1902** – Em Fevereiro Emile Huber-Stockar pronuncia em Zurique uma conferência — “A Tracção Eléctrica nos Caminhos de Ferro de Via Normal” — onde defende a tese que a tracção eléctrica nos caminhos de ferro em via normal só será possível utilizando uma catenária alimentada em tensão elevada (15 kV) e com um frequência da ordem dos 15 Hz. É o início do desenvolvimento da tracção eléctrica monofásica.

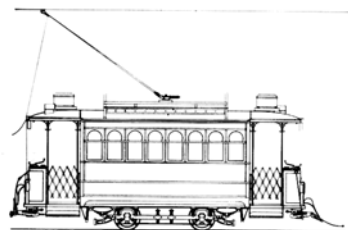
**1903** – Continuam os ensaios de tracção eléctrica trifásica das empresas Allgemeine

Elektricitäts Gesellschaft (AEG) e Siemens & Halske numa linha experimental entre Marienfelde e Zossen.

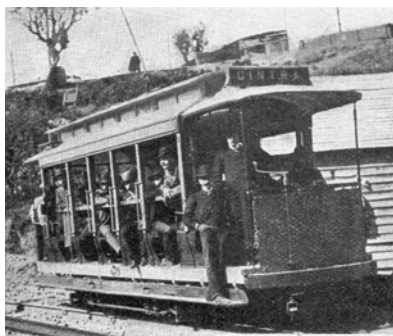


No dia 6 de Outubro de 1903, comemorando condignamente uma data histórica — o aniversários do dia em que Stephenson ganhou em 1829 a corrida de Rainhill com a locomotiva a vapor “Foguete” — foi atingida a velocidade de 200 km/h; Mais tarde uma das duas automotoras chegou a atingir a velocidade de 213 km/h.

*1903 – Na cidade do Porto entram em exploração carros eléctricos construídos no País, os “risca ao meio”, que apresentam já um aspecto construtivo análogo aos que estiveram em serviço nos transportes públicos da cidade durante o século vinte.*



*1903 – começou a construção e em Março de 1904 foi inaugurada uma linha de carro eléctrico (via única) entre Sintra e Colares, concretizando a ideia de uma empresa particular de ligar Sintra ao Oceano através de uma linha de carro eléctrico. Só em Julho desse ano a linha de transporte público começou a servir a Praia das Maças. Em 1930 esta linha de carro eléctrico prolongou-se até Azenhas do Mar — linha Sintra–Atlântico. Na linha circulavam carros eléctricos e atrelados abertos e fechados.*



A tracção eléctrica com alimentação em corrente alternada monofásica tinha tido diversas experiências ao longo do tempo:

Era do conhecimento geral que o motor série de colectores de lâminas poderia funcionar alimentado com corrente alternada, desde que o circuito magnético indutor fosse laminado (Alexander Siemens, 1884), e que era mais económico fazer o transporte de energia eléctrica com uma tensão elevada, o que aconselhava a utilização da corrente alternada, devido à possibilidade de se poder facilmente alterar o valor da amplitude da tensão com um transformador (Steinmetz, 1890). Em 1887 Elihu Thompson patenteia o motor eléctrico de

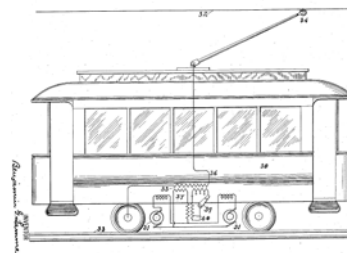
repulsão (motor série de corrente alternada monofásica), que mais tarde terá uma pequena utilização em tracção eléctrica.

Em 1891/92 C. P. Steinmetz, sob a orientação de R. Eickmeyer, procedeu ao projecto e ao estudo experimental de motores série de colectores de lâminas alimentados em corrente alternada monofásica e compensado. Encontrou graves problemas na comutação do motor, com que chegou a accionar carros eléctricos (sistema Eickmeyer), e acabou por preferir o motor face aos problemas de comutação com a frequência elevada (125 Hz) utilizada nessa época.

De tempos a tempos são apresentadas sugestões, escritas e verbais, para se utilizar o motor série de colectores de lâminas alimentada em corrente alternada monofásica, mas sempre surgiram dificuldades com baixo rendimento, intensidade de corrente no arranque, aquecimento e má comutação (faíscas no contacto escova-colector). Pensava-se que só motores de baixa potência poderiam ser construídos e funcionar utilmente.

Merle J. Wightman requer, em 1891, uma patente para a empresa Thomson-Houston sobre um motor série de corrente alternada compensado.

Em 1893 Benjamin G. Lamme, ao serviço da empresa Westinghouse, constrói um motor monofásico de 22 kW, 200 V a  $16 \frac{2}{3}$  Hz com o circuito magnético indutor folheado, devido a um projecto bem dominado o motor teve um funcionamento satisfatório; em 1897 criou novos motores, mas agora com circuito de compensação indutiva. Em 1900 Lamme reiniciou estudos que permitiram apresentar duas patentes (em 1901 e 1902) sobre o motor série de corrente alternada.



Na Europa, e no ano de 1901, a empresa Ateliers de Construction Oerlikon inicia o estudo e a construção da primeira parte da linha de caminho de ferro em corrente alternada monofásica — 15 kV, 15 Hz — Seebach-Affoltren, onde começou a circular uma locomotiva (nº 1, Bo'-Bo') com conversão alternada-contínua, da corrente alternada da linha de contacto para a corrente contínua de alimentação dos motores eléctricos (2 x 147 kW).

Em 1902 B. Lamme estudou e projectou um motor (73 kW,  $16 \frac{2}{3}$  Hz) que apresentou boas características, para isso aumentou a resistência do circuito induzido com ligações resistentes ao coletor de lâminas e utilizou um enrolamento compensador colocado em ranhuras nos pólos indutores. Este motor destinava-se aos veículos de tracção (4 x 73 kW) da linha de trânsito rápido Washington, Baltimore & Annapolis, o que representava uma forte alteração do sistema de transporte usual nos transportes suburbanos.

**1903** – A empresa AEG — Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, realiza ensaios com duas locomotivas, do tipo A1A A1A, com motores de repulsão compensado do tipo Wightman-Latour-Winter-Eichberg que apresenta uma melhor comutação e um mais elevado factor de potência que o motor de repulsão compensado devido a Atkinson.

**1904** – Em Agosto entra em funcionamento uma linha comercial os 18 km da linha do vale de Stübai, entre Innsbruck e Fulpmes (Áustria) — 2,5 kV, 42,5 Hz —, projectada e montada pela AEG. A linha é alimentada por uma

subestação de tracção a partir da rede de centrais de Insbruck. São utilizadas três automotoras tipo carro eléctrico com dois bogies e quatro motores (4 x 30 kW) de repulsão compensado (do tipo Wightman–Latour–Winter–Eichberg).

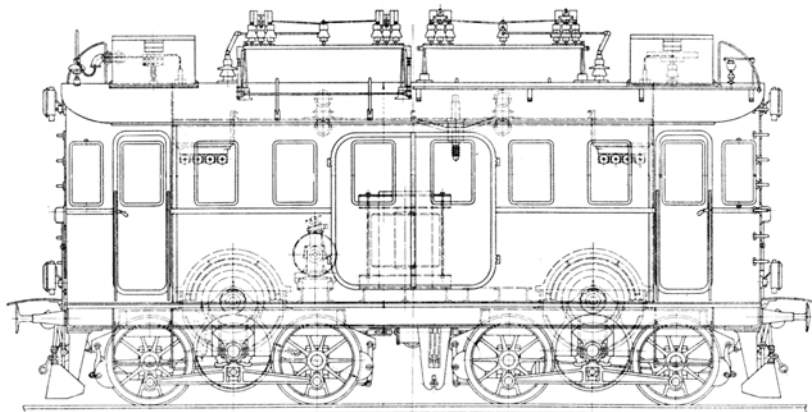


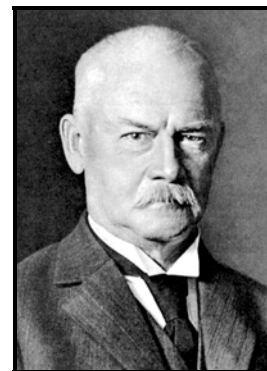
Fig. 1.12 – Locomotiva Oerlikon n° 2 com motores série de corrente alternada monofásica

Em 1903 e 1904 Behn-Eschenburg, trabalhando na empresa Suíça Ateliers de Construction Oerlikon, melhorou a comutação do motor série com colectores de lâminas alimentado em corrente alternada através da criação de um campo magnético auxiliar esfasado do campo indutor principal. Isso permitiu construir em 1904 uma locomotiva (n° 2) com dois motores eléctricos de 183 kW, alimentados em corrente alternada monofásica 15 kV, 15 Hz, para a linha de Seebach–Wettingen. A experiências permitiram concluir sobre o interesse de uma frequência baixa na exploração da tracção eléctrica em corrente alternada monofásica.

#### ***Hans Ben-Eschenburg (1864–1938)***

Estudou Matemática e Física no Politécnico Federal de Zurique e em Berlim. Em 1891 tornou-se assistente de Henrich F. Weber no Instituto de Física do Politécnico de Zurique, admiravelmente equipado para o estudo das Correntes Fortes. Em 1892 entrou ao serviço da empresa Ateliers de Construction Oerlikon, onde se tornou Chefe do Departamento Eléctrico e depois Director Geral da Fábrica. Aí iniciou um trabalho de concepção científica das Máquinas Eléctricas, que o levou desenvolver novas máquinas, além de aprofundar o conhecimento sobre as já existentes e em aplicação.

Participou activamente na Comissão de Estudos para a Electrificação dos Caminhos de Ferro Suíços e nos trabalhos de electrificação encomendados à empresa Ateliers de Construction Oerlikon.



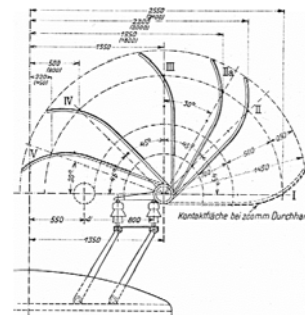
Nesta altura foi definida, nos Estados Unidos da América, a frequência especial de 25 Hz para os sistemas de alimentação de caminho de ferro em corrente alternada monofásica; o que permitia utilizar a energia eléctrica simultaneamente em iluminação. Na Europa, foi adoptada em 1908 a frequência de 16 2/3 Hz, que tem um valor bom para o funcionamento dos motores série em corrente alternada, mas é baixa para iluminação (piscante).

De 1903 a 1905 a empresa Westinghouse desenvolveu um conjunto de motores série monofásicos para tracção — (110 kW, 250 V, 25 Hz, 6 pólos); (73 kW, 2525 V, 25 Hz, 4 pólos); (55 kW, 250 V, 25 Hz, 4 pólos). O motor de 110 kW foi utilizado na motorização de uma locomotiva para os caminhos de ferro do estado Sueco.

**1904** – C. P. Steinmetz apresenta a teoria do motor de repulsão (Thompson, 1888), utilizando a representação simbólica das grandezas alternadas.

**1905** – Siemens electrifica na Baviera a linha de Murnau–Oberammergau com automotoras A1A para uma linha de 5 kV 16 2/3 Hz com motor série compensado.

**1907** – A empresa Oerlikon constrói uma terceira locomotiva — CoCo , com dois bogies A1A com quatro motores série monofásicos (4 x 165 kW), com ligações resistentes para 15 Hz. Cada dois motores são alimentados a partir de um transformador monofásico. A ligação da locomotiva eléctrica à linha de contacto é feita por uma tomada de corrente com “baguete” ou antena (inventada por E. Huber).



**1901 a 1908** – São desenvolvidas e ensaiadas várias soluções para as linhas de tracção monofásicas com equipamento móvel que transporta no seu interior um sistema conversor alternado–contínuo, e seja accionado por motores série de corrente contínua.

Nestes anos são realizadas muitas experiências na concepção e montagem do equipamento fixo das linhas monofásicas, no projecto e aplicação do motor série compensado de corrente alternada (que exige frequências baixas) e com o motor de repulsão compensado (que admite frequências mais elevadas 45 Hz) e admite o funcionamento *bicorrente* — em corrente contínua ou e corrente alternada. No entanto muito deste material acabará por ser adaptado às novas tecnologias e à normalização adoptada nos diferentes sistemas ferroviários.

**1909** – Robert Goddard, sugere que poderiam circular carros no interior de um túnel suspensos e accionados pelo “*poder mágico do magnetismo*”.

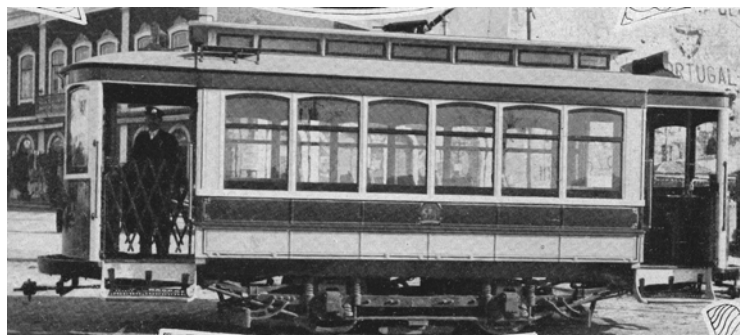
**1909** – Em 1909 foi desenvolvida uma primeira locomotiva turbo eléctrica (735 kW; 132 ton.; turbina Parsons (750 kW) de 3000 rot/min) para a North British Locomotive Co. Esta locomotiva estava construída segundo o princípio de uma “Central Térmica”: O vapor sobreaquecido, produzido numa caldeira análoga à das locomotivas a vapor, accionava uma turbina de reacção Parsons, que accionava um gerador de corrente contínua; o gerador através de um sistema de controlo simples accionava dois motores de corrente contínua; cada motor actuava sobre os dois rodados dianteiros de cada um dos dois bogies; cada bogie estava ligado a um bogie secundário com duas rodas transportadoras.

*É apresentada com a primeira locomotiva turbo-eléctrica.*

O desenvolvimento da Tracção Eléctrica dá-se a partir desta altura em simultâneo nos dois sistemas de alimentação em energia eléctrica: em corrente contínua e em corrente alternada (tanto monofásica como trifásica). Note-se que, nesta época, as redes nacionais de distribuição de energia eléctrica ainda não existiam. No caso da tracção eléctrica urbana as empresas de transportes públicos eram autoprodutoras de energia eléctrica, ou subsidiárias de uma empresa produtora local ou regional. Por isso, havia toda a liberdade de, na

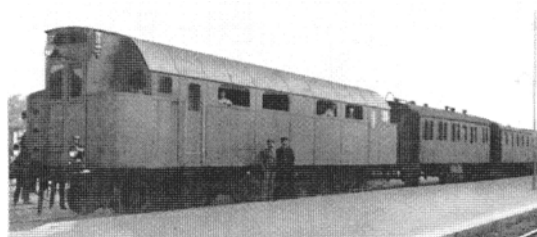
electrificação de uma linha de caminho de ferro, escolher as características do sistema de produção de energia eléctrica, embora sempre estivesse presente a regra que o transporte da energia eléctrica com uma tensão elevada era o mais económico. Assim com o aumento da extensão das linhas electrificadas começaram a surgir electrificações do tipo: as secções de uma linha eram alimentadas em corrente contínua a partir de uma subestação rectificadora, que estava ligada a uma grande central por alimentadores (“feeders”) em corrente alternada.

**1911** – Na cidade de Coimbra foi inaugurado um serviço de carros eléctricos para transporte público. A electrificação foi feita pela empresa AEG Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft: Em Janeiro entraram em funcionamento as linhas de carro eléctrico que: ligavam a Estação Velha ao depósito na R. da Alegria; a Estação Nova à Universidade, pelos Arcos; e uma terceira linha ligava Estação Nova a S. António dos Olivais. O serviço dos carros eléctricos na cidade de Coimbra terminou em Fevereiro de 1980.



O motor Diesel foi concebido por Rudolph Diesel (1858–1913) no ano de 1893 e teve cerca de quatro anos de desenvolvimento experimental. Em 1897 funcionou pela primeira vez, mostrando ser o motor térmico com o melhor rendimento térmico, e depois teve ainda mais de vinte e cinco anos de inovação e desenvolvimento. Em 1909 Rudolf Diesel iniciou o projecto de uma locomotiva.

**1912** – Depois de construída, em 1912 a locomotiva de Diesel foi aplicada no Caminho de Ferro do Estado Prussiano. Uma locomotiva (745 kW; 4 cilindros; dois tempos) com transmissão directa de energia mecânica e arranque por ar comprimido. A locomotiva funcionou bem, mas apresentou graves problemas no arranque, o que levou a abandonar o princípio do arranque directo.



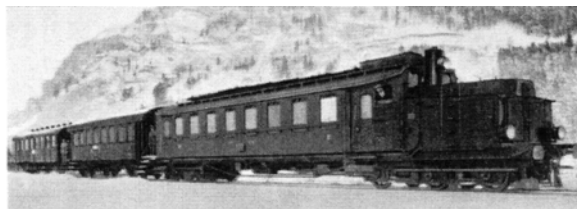
**1912** – William P. Durnell desenvolveu projectos de locomotivas utilizando a transmissão eléctrica, admitindo como motor térmico motores Diesel e motores a gasolina. No entanto o início da Primeira Guerra Mundial pôs fim ao desenvolvimento de uma locomotiva (588 kW).

**1913** – Nos Estados Unidos da América é feita a primeira ligação rádio, nos dois sentidos, entre uma locomotiva em movimento e o solo.

**1913** – Na Suécia, foram construídas automotoras para 51 passageiros, sem

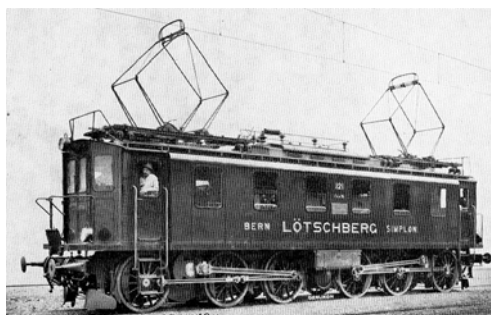
bogies, com quatro rodados, e um motor Diesel (55 kW a 550 rot/min; 6 cilindros) ligado a um gerador de corrente contínua que alimentava dois motores de corrente contínua ligados aos rodados interiores — *foi, assim, aplicado o princípio da tracção Diesel-eléctrica.*

No ano de 1914 foram construídas pela empresa Sulzer para os Caminhos de Ferro do estado Prussiano e Saxão, quatro automotoras com o motor diesel colocado num proeminente “nariz” na frente do veículo. O motor Diesel (147 kW a 440 rot/min; seis cilindros em V) estava colocado directamente sobre o bogie dianteiro (com três eixos) conjuntamente com o gerador eléctrico (100 kW; 100 V), o que se tornou agressivo para a via férrea.



A Primeira Guerra Mundial (1914–1918) veio interromper esta fase de investigação e de desenvolvimento na aplicação da Tracção Diesel-eléctrica na Europa.

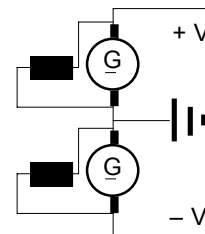
**1913** –A empresa Oerlikon construiu para a Loetschberg Railway uma locomotiva poderosa com dois bogies com três rodados. Cada bogie sustentava um motor de 745 kW. A electrificação era a 15 kV, 16 2/3 Hz. Representa o início da electrificação em corrente alternada monofásica de baixa frequência na Suíça. Na Europa Central este tipo de electrificação vinha sendo explorado desde 1910.



**1914** –A empresa Oerlikon colabora no desenvolvimento da Tracção em corrente contínua (alta tensão) com uma locomotiva de aderência e de cremalheira equipada com um motor de alimentação directa com 300 kW; 1500 V.

Na electrificação em corrente contínua (alta tensão) de uma linha de caminho de ferro surgem sempre dois problemas:

- a alimentação da linha de contacto de forma a diminuir a influência da queda de tensão ao longo de um percurso grande; para o que se adopta uma distribuição com dois fios com polaridade oposta (+600 V; 0 V(terra); –600 V). Mas acaba por se fazer sempre sentir a necessidade de subestações, o que levará à utilização de subestações rectificadoras;
- e o problema do isolamento dos circuitos do motor eléctrico de corrente contínua, principalmente o isolamento entre as lâminas do colectador.



**1914** –Na linha Viena–Presburg circulam locomotivas de mercadorias do tipo 1C, com transmissão por biela e de baixa velocidade (45 km/h). Possuíam um só motor de tracção (600 kW) e eram alimentadas a uma tensão de 15 kV 15 Hz.

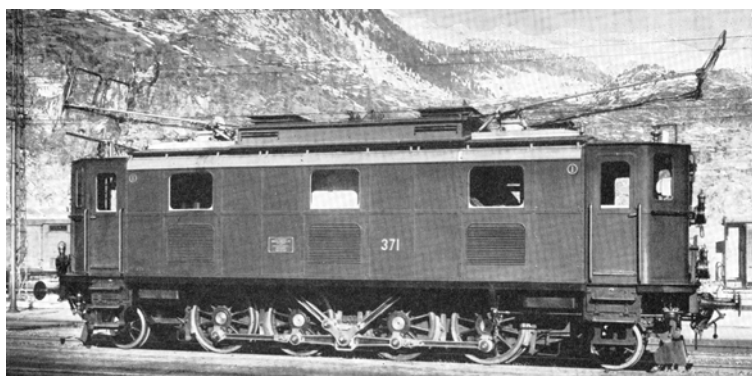


**1914** – *É inaugurado o serviço de carros eléctricos da cidade de Braga. O carro eléctrico começou a circular na cidade de Braga em Outubro de 1914 e o serviço durou até 1963. O sistema eléctrico de alimentação dos carros eléctricos em corrente contínua (700 V), por via aérea, tinha uma particularidade curiosa (!): a linha aérea estava ligada ao pólo negativo, enquanto que os carris estavam ligados ao pólo positivo (!), o que provocava perdas de energia elevadas. Os veículos estavam dotados com tróleys de arco ou tróleys em lira.*



Durante esta década continuaram a projectar-se veículos de tracção eléctrica, principalmente automotoras com motor térmico para linhas de caminho de ferro interurbano nos Estados Unidos. Também durante o período de guerra teve grande desenvolvimento o accionamento Diesel-eléctrico dos submarinos.

O desenvolvimento da Tracção Eléctrica com corrente alternada e com frequência reduzida, face ao valor da frequência industrial, leva ao aparecimento, em 1915, de locomotivas com sistemas conversores trifásicos rotativos, que utilizavam o motor de indução trifásico como motor de tracção.



É de salientar o aparecimento, no centro da Europa, de uma importante rede de caminho de ferro electrificado com um sistema de tensões monofásico de 15 kV, 16 2/3 Hz.

**1914-1920** Nos Estados Unidos a empresa General Electric fabricou várias automotores Diesel-eléctricas, no entanto neste período foram fabricados vários veículos — locomotivas e veículos automotores — com um motor a gasolina e transmissão eléctrica (“oil-electric”). A primeira locomotiva diesel-eléctrica americana apareceu só em 1923.

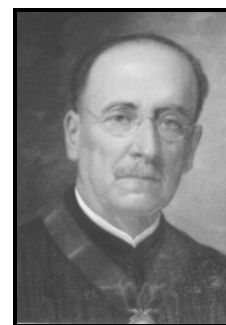
**1915** – *É inaugurada, e entra em funcionamento, a Estação Central Geradora de Massarelos da Companhia Carris de Ferro do Porto para alimentar em energia eléctrica a rede de linhas de carros eléctricos. Tem um sistema gerador de corrente contínua e um sistema gerador de corrente alternada e*



*unidades conversoras rotativas (comutatrizes) desses dois sistemas de energia.*

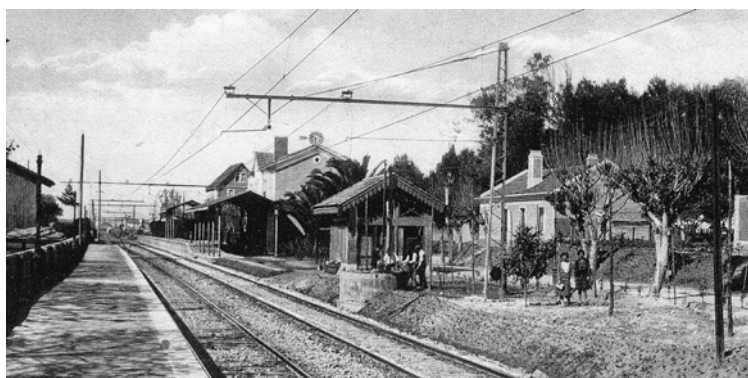
***Luís Couto dos Santos (1872–1938)***

Engenheiro Civil de Obras Públicas pela Academia Politécnica do Porto. Trabalhou como engenheiro na empresa que distribuía a energia eléctrica para iluminação da zona central do Porto, e depois trabalhou numa empresa de construção “*A Construtora*” dedicada ao projecto e à construção de edificios urbanos, instalações de iluminação e de tracção eléctrica. Em 1901 fundou uma fábrica modelo movida a electricidade “*A Electra*” que produzia material hospitalar. No âmbito da Electrotecnia foi director dos Serviços de Exploração da Companhia Carris de Ferro do Porto, onde em 1909 projectou a estação central geradora de Massarelos, tendo em 1912 refeito o projecto (5 MW) e acabando a Central por ser inaugurada em 1915 e o Eng. Luís Couto dos Santos por ser nomeado seu Engenheiro–Chefe. Salienta-se também a forma como resolveu o problema da passagem dos carros eléctricos sobre o tabuleiro superior da ponte metálica de D. Luis I. Em 1915 o engenheiro Luís Couto dos Santos iniciou a sua actividade docente na Faculdade Técnica da Universidade do Porto, da qual foi professor ordinário e Director de 1919 até 1926, altura em que foi nomeado director do Laboratório Eléctrotécnico. Depois de criada a Faculdade de Engenharia (1926) foi professor catedrático e Director da Faculdade (1935–1936). Foi regente das disciplinas de Máquinas Eléctricas (17<sup>a</sup> Cadeira) e de Electrotecnia Geral (18<sup>a</sup> Cadeira), onde estava incluído o estudo da Tracção Eléctrica.



Ne tracção em corrente contínua definiram-se os dois padrões de tensão: 1500 V (em 1920) e 3000 V (em 1918). Continua a aumentar a potência dos motores eléctricos aplicados e consequentemente a potência total das locomotivas.

***1918 – Em Portugal, onde em 1915 se elaborou um começou a ser projectada a electrificação da linha de Cascais:, 25,6 km, via dupla, 19 estações, alimentada em tensão contínua de 1500 V por linha aérea, a partir de uma subestação de rectificação em Passos de Arcos, que era alimentada em corrente alternada a partir da Central Tejo da CRGE — Companhias Reunidas de Gás e Electricidade.***



**1920 – Um locomotiva experimental, dotada com um motor a gasolina e transmissão eléctrica, foi construída e trabalhou em meio industrial até 1935.**

**1920-1940** Na Europa Central, na Suécia e na Noruega irá continuar um desenvolvimento constantes das redes de caminho de ferro electrificadas em corrente alternada monofásica (15 kV, 16 2/3 Hz).

Com o fim da Primeira Guerra Mundial acelerou-se o desenvolvimento e expandiu-se a utilização do automóvel (veículo rodoviário com motor) o que levou a uma melhoria das qualidades do motor térmico, da comodidade do veículo e do processo de fabrico. O resultado foi o aumento acentuado da utilização do transporte individual em viagens mais longas.

Os sistemas de alimentação em corrente alternada com frequência industrial apareceram em 1923 e estiveram numa fase experimental até 1951, sem que houvesse resultados concludentes. Em 1951 foi normalizado o valor da tensão da linha aérea em 25 kV, 50 Hz. Com este sistema de alimentação era possível utilizar quatro sistemas de accionamento: motores directos, transformação rotativa monofásica-contínua, rectificação monofásica-contínua e transformação rotativa monofásica-trifásica.

*1926 – Em Portugal e em Agosto (15/08/1926) foi inaugurada a electrificação (material AEG) da linha de Cascais. Para exploração da linha existiam duas locomotivas (BóBó; 735 kW; corrente contínua 1500 V; com furgão no espaço entre cabinas) e doze automotoras (BóBó; 420 kW; corrente contínua 1500 V; com cada dois motores ligados em série).*



*1927 – Em Portugal é lançado o Concurso para o anteprojecto da Rede Eléctrica Nacional (Dec. nº 14:166 de 27 de Agosto de 1927) onde se exige “o dimensionamento das linhas de transporte de forma a servir as linhas ferroviárias actuais ou com construção prevista”. Tal não passou de um expediente governamental para justificar o montante de um pedido de empréstimo financeiro a uma organização internacional !*

**1923-1927** – Nesta época desenvolvem-se vários protótipos de locomotiva — 1Bo, 1Do1, ; 3000 a 4650 kW, 120 a 180 km/h — em que o motor acciona um rodado através de um redutor e está “suspenso pelo nariz” (suspensos no eixo, ou suspensão-tramway). Neste desenvolvimento sobressaem as empresas alemãs AEG e Siemens.

Nesta segunda década do século vinte a Tracção Eléctrica atingiu já um desenvolvimento técnico que lhe permitirá influenciar grandemente o desenvolvimento dos transportes nas décadas seguintes. Tinham aparecido já todo o tipo de sistemas de tracção, e alguns vinham

tendo um desenvolvimento e uma aplicação consideráveis.

<i>Tracção Eléctrica Urbana e Suburbana em Portugal</i>		
<i>Data</i>	<i>Cidade</i>	<i>Observações</i>
1887	Lisboa	2 carros eléctricos com acumuladores (1889)
1895	Porto	carros eléctricos + troleicarros (1959)
1901	Lisboa	carros eléctricos + metropolitano (1959)
1903	Sintra	carros eléctricos
1911	Coimbra	carros eléctricos + troleicarros (1947)
1913	Braga	carros eléctricos + troleicarros (1961)
1926	Linha de Cascais	unidades múltiplas eléctricas, locomotivas

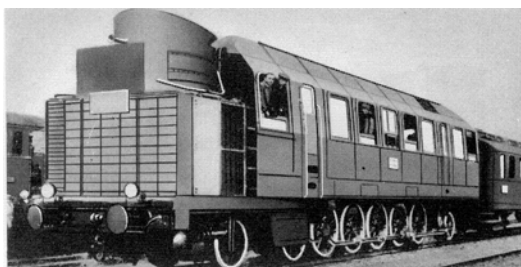
Nos transportes urbanos e suburbanos, o sistema de alimentação por via aérea e os sistemas de alimentação em corrente contínua eram preponderantes. O tipo de veículo utilizado (carro eléctrico) pouco tinha variado, mas o sistema de accionamento tinha evoluído para um tipo de motor e de controlador com poucos pontos e de características normalizadas. Por esse mundo fora aumentava o número e a extensão das linhas electrificadas.

Foi grande a influência social da electrificação dos transportes urbanos, principalmente nas décadas iniciais do século vinte. A influência da tracção eléctrica no urbanismo e nos outros aspectos sociais da cidade traduziu-se por: um aumento da influência da cidade e aumento da sua extensão, aumento considerável da mobilidade das pessoas, e na separação entre o local de habitação e o local de trabalho.

Nas linhas de caminho de ferro a electrificação foi mais lenta, e nas décadas seguintes ainda foram realizadas muitas experiências, no âmbito da Mecânica, Electrotecnia, Comunicações, e foram construídos muitos tipos diferentes de locomotivas.

Entretanto, em Portugal, a rede de Caminho de Ferro, explorada em 1926 por diversas companhias — *Caminhos de Ferro do Estado (Minho e Douro e Sul e Sueste)*, *Sociedade do Estoril (Cascais)*, *Companhia dos Caminhos de Ferro da Beira Alta*, *Companhia dos Caminhos de Ferro do Vale do Vouga*, *Companhia dos Caminhos de Ferro do Norte de Portugal*, *Companhia dos Caminhos de Ferro Portugueses* — com tracção a vapor ainda se desenvolvia com pequenos novos ramais na continuidade das linhas já estabelecidas. Mas até se iniciar o período de desenvolvimento da tracção eléctrica ferroviária nacional ainda vão surgir outros factos importantes no desenvolvimento da Tracção Eléctrica.

**1927** – O Prof. Lomonosof projecta a partir de 1922 para a URSS uma locomotiva Diesel (1E1;895 kW a 450 rot/min), para a qual experimenta os diferentes sistemas de transmissão. Para a tecnologia da época apenas o sistema de transmissão eléctrico apresenta boas características de funcionamento para a potência da máquina. A locomotiva tinha cinco motores eléctricos, accionando um eixo motor através de engrenagens. O controlo dos motores era do tipo Ward–Leonard.

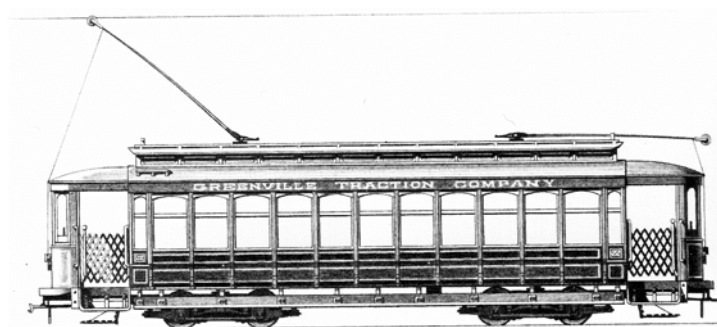


**1927** – É estabelecida (Decreto nº14009) a obrigatoriedade de consumo de uma percentagem de carvão mineral português nos caminhos de ferro.

**1929** – Inauguração de um sistema telefónico (por correntes transportadoras) nos comboios de passageiros canadianos.

No fim da década (1929) o carro eléctrico estava obsoleto principalmente quanto á *comodidade*. Nos principais aspectos — construtivos, de accionamento, de exploração — o carro eléctrico mantinha muitos dos conceitos apresentados por F. Sprague em 1888 e melhorados na década seguinte. O resultado era um veículo com muito poucas comodidades para o passageiro, devido à construção do tipo caixa e chassi com transmissão directa das vibrações provocadas pelo deslocamento na via férrea ao corpo do utente, e devido ao accionamento por um motor eléctrico de corrente contínua controlado por um reóstato com sete a nove pontos apenas, mas apenas com dois pontos de utilização prolongada, que provocavam um tipo de deslocamento com sacões.

**1929** – Nos Estados Unidos da América, quando ainda estavam em funcionamento cerca de 74000 carros eléctricos, realiza-se uma Conferência entre fabricantes de veículos e companhias exploradoras de redes de carro eléctrico, que formaram o “*Electric Railway Presidents Conference Committee*”, com o objectivo de desenvolver um novo carro eléctrico capaz de tirar a industria do marasmo em que tinha mergulhado.



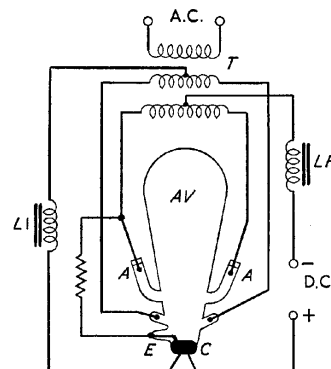
**1931** – Na convenção anual é apresentado o método científico como modo de desenvolver a investigação para criar o novo carro eléctrico — o *carro eléctrico PCC* (de *Presidents Conference Comitee*). Durante cinco anos estudaram-se aspectos de conforto na Universidade de Michigan (conforto) e na Universidade de Purdue (vibrações); das conclusões começaram-se a projectar novos sistemas de frenagem de actuação suave, modo de montagem do veículo (intercalando ligações de borracha entre a caixa e o chassi), e o desenho atractivo e confortável da caixa.

No sistema de accionamento do carro eléctrico PCC foram as empresas Westinghouse Electric e Manufacturing Co. e General Electric quem desenvolveu um sistema de controlo de velocidade que satisfazia as imposições das conclusões do estudo sobre comodidade. Enquanto o sistema de controlo desenvolvido por F. Sprague, e ligeiramente melhorado nos anos subsequentes, consistia num reóstato com um pequeno número de pontos com accionamento manual: para o carro eléctrico PCC foi desenvolvido um reóstato com um número elevado de pontos, o qual durante a variação (aceleração ou desaceleração) da

marcha do veículo mantinha a corrente de carga do motor no valor necessário, sem variações de intensidade suficientemente amplas para evitar os correspondentes sacões na marcha do motor e do veículo.

**1931** – Nos Estados Unidos da América uma viatura ferroviária é equipada com um sistema completo de condicionamento do ar.

**1931** – Começam a ser utilizados rectificadores de vapor de mercúrio nas subestações de tracção. Na Central Geradora de Massarelos da Companhia Carris de Ferro do Porto, agora reabilitada para uma potência mais elevada, é alterado o sistema de produção da energia — produção de energia em corrente alternada, através de turbo-alternadores accionados por turbinas a vapor, e depois rectificada na estação central ou nas subestações periféricas por comutatrizes e por rectificadores de vapor de mercúrio.

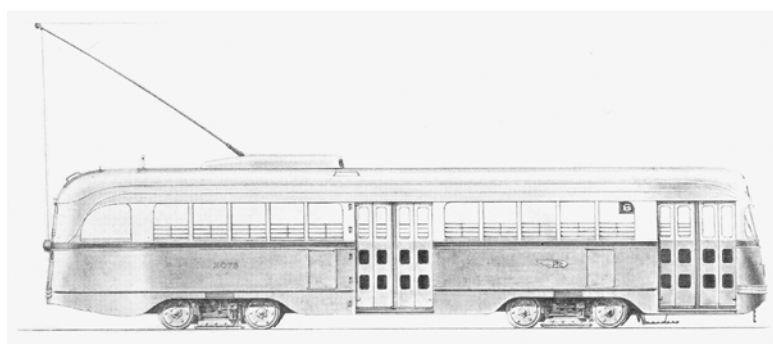


**1932** – Entram em serviço em França as primeiras locomotivas diesel-eléctricas de manobra.

**1933** – Entram em serviço as primeiras automotoras diesel-eléctricas rápidas na linha Berlim-Hamburgo (175 km/h). Entra em serviço um comboio gasolina-eléctrico rápido (114 km/h) na linha Paris-Deauville.

Na tracção a vapor regista-se em 1936 um aumento do recorde de velocidade: um comboio na linha de Berlim-Hamburgo atinge os 200 km/h.

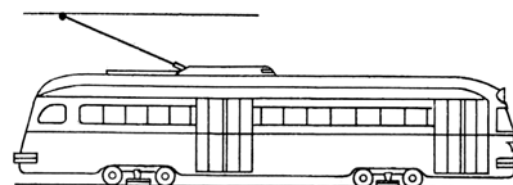
**1936** – Na cidade de Nova York é inaugurado o serviço de carro eléctrico com um veículo PCC. Este tipo de veículo de transporte, apenas com alterações no aspecto estético da caixa, é utilizado nos Estados Unidos da América até 1952.



O sistema, que trouxe inovações ao fabrico de carros eléctricos, materializado no *carro eléctrico PCC*, foi desenvolvido na América em 1936 e aperfeiçoado até 1955, mas chegou tarde porque o automóvel individual já suplantava os transportes colectivos no transporte urbano e interurbano.

Na Europa foi desenvolvido até à década de 50 (em Hague, Holanda esteve em serviço de 1949 a 1992).

A patente americana foi comprada por





empresas Checas em 1947 que construíram um carro eléctrico PCC, que espalharam (mais de 17000) nos anos seguintes pela Europa de Leste.

**1933** – realiza-se o Congresso dos Caminhos de Ferro no Cairo onde se conclui que “*A automotora deve ser considerada como um dos sistemas de tracção que convém á exploração das linhas de tráfego fraco ...*”

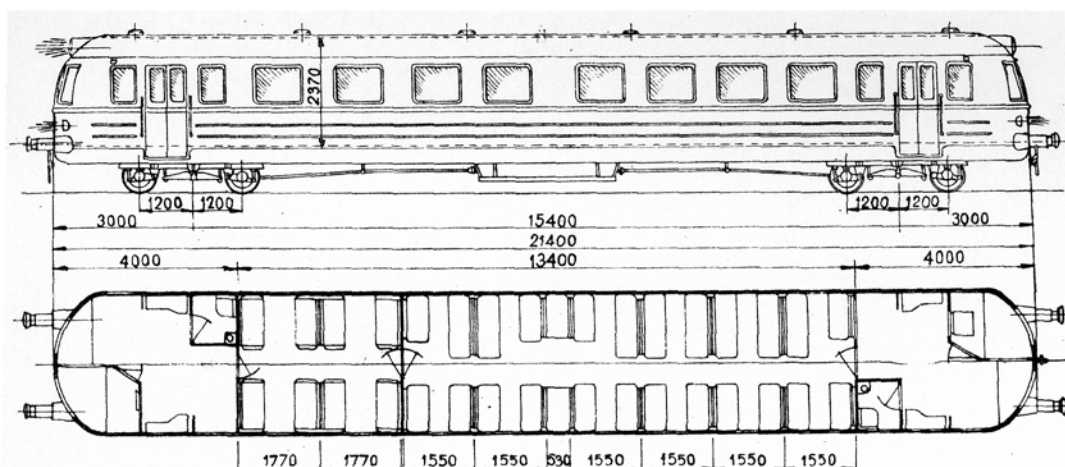
**1934** – Iniciam-se em Portugal os estudos para o serviço de automotoras, que desde 1933 se procurava associar à “*economia de exploração*”.

**1937** – Entra em serviço a primeira locomotiva Diesel-eléctrica de grande velocidade Paris-Menton .

**1942** – Circula na Linha do Vale do Vouga (5 de Março) o primeiro auto-rail (automotora) — veículo com motor térmico, com vinte e cinco lugares para passageiros — que foram construídos nas Oficinas de Sernada do Vouga a partir de obsoletos camiões “*Panhard*”.

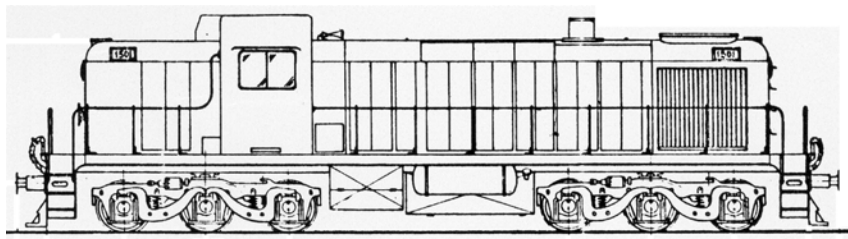


**1948** – Inicia-se o emprego na exploração dos caminhos de ferro portugueses de tracção por motores diesel com a chegada das automotoras vendidas pela empresa sueca NOHAB, com transmissão hidráulica; tracção Diesel-hidráulica.



**1948** – Chegam a Portugal e entram em exploração as primeiras locomotivas Diesel-eléctricas de grande linha e serviço misto (passageiros e mercadorias) — ALCO — fabricadas pela American Locomotive Co. Projectadas para velocidade máxima de 120 km/h possuem um motor Diesel a quatro tempos (V

12), com uma potência nominal de 1237 kW, com dois rodados motores (A1A) (A1A)



A partir de uma instalação experimental de 56 km, construída antes da II Guerra Mundial pelos alemães em Höllental, inicia-se o desenvolvimento do sistema de alimentação em tensão monofásica 25 kV 50 Hz, começando os franceses por organizar um Congresso em Annecy (1951) onde apresentaram os resultados obtidos com as instalações fixas e as locomotivas (4) que sob a orientação de Louis Armand experimentaram em Höllental e depois na linha experimental d'Aix-les-Bains a La Roche sur Foron. Seguiram-se os Congressos de Londres (1954) a que assistiram electrotécnicos portugueses, e Lille (1955)....

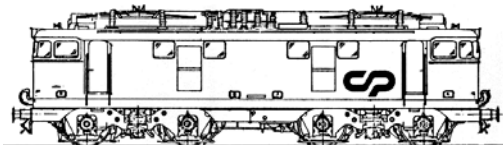
**1951** – Em 1951 foi normalizado o valor da tensão da linha aérea em 25 kV, 50 Hz. Com este sistema de alimentação era possível utilizar quatro sistemas de accionamento por motor eléctrico: motores directos, transformação rotativa monofásica-contínua, rectificação monofásica-contínua e transformação rotativa monofásica-trifásica.

**1953** – Começa a ligar a cidade de Lisboa à cidade do Porto uma composição automotora — o *Foguete*. Não sendo um veículo de Tracção Eléctrica, foi importante por introduzir novos aspectos de exploração comercial — ar condicionado, refeições no lugar, bufete com cozinha —, conjuntamente com a diminuição do tempo de viagem (de cinco para quatro horas) tornaram-no um sucesso comercial.

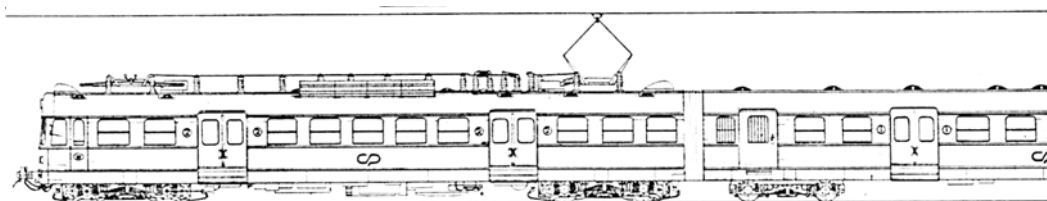


**1953** – Após estudos e visitas de estudo a Comissão de Electrificação dos Caminhos de Ferro adopta o sistema de electrificação em 25 kV 50 Hz para a Linha do Norte e lança as encomendas do material motor — unidades múltiplas eléctricas e locomotivas.

**1954** – Uma locomotiva eléctrica, rebocando um comboio de 111 ton atinge a velocidade de 243 km/h. No ano seguinte esse recorde mundial é elevado para 331 km/h, (o recorde no ano 2006 permanece em 515,3 km/h).



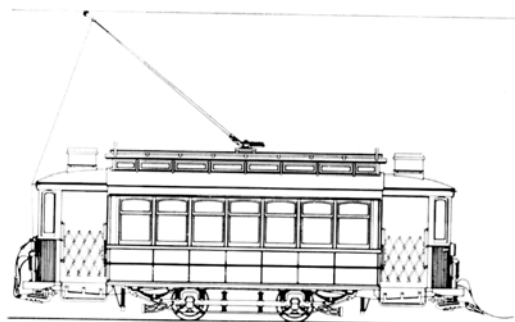
*Em Portugal, só em 1948 começará a ter significado a tracção Diesel-eléctrica e só em 1957 entrará em serviço a primeira fase de electrificação por linha aérea da Linha Norte, entre Lisboa e o Entroncamento. As primeiras encomendas de material foram lançadas em 1953. Nesta altura também se iniciou a electrificação da linha Lisboa–Sintra. (Nesta primeira fase foi electrificado um total de 142 km de via dupla).*



*Durante os trabalhos de electrificação procedeu-se, também, a obras de sinalização das linhas e modernizou-se o sistema de telecomunicações.*

#### **Rede de Carros Eléctricos – Porto 1958**

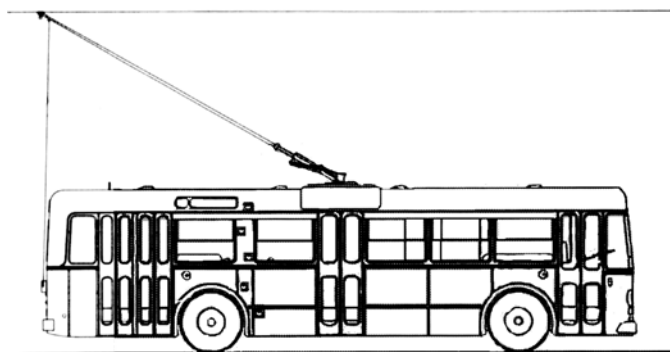
Extensão da rede – 80,6 km
Carros Eléctricos – 192
Linhas – 39



**1958** – *Atinge o seu máximo a exploração dos transportes públicos urbanos com carros eléctricos na cidade do Porto.*

**1959** – *Em 1 de Janeiro entraram em serviço os troleicarros na cidade do Porto (e começaram a ser suprimidas as linhas de carro eléctrico).*

**1959** – *Em 30 de Dezembro iniciou-se a exploração do Metropolitano de Lisboa.*



**1959** – *É colocado em serviço o primeiro programa que assegura o comando electrónico da circulação de comboios. Entra em serviço um locomotiva com rectificadores de silício.*

Começam a ser substituídos os sistemas de rectificação baseados em válvulas

electrónicas, como o *tiratron*.

**1965** – É posta em serviço, em Berlim, uma locomotiva de manobra com motor eléctrico controlado por tracejador (*hacheur*, *chopper*) tiristorizado, num linha alimentada em corrente contínua.

**1967** – É utilizado o princípio da frenagem regenerativa em locomotivas. Várias medições comprovam que no trânsito urbano pode atingir-se um valor de aproximadamente 20 % de energia recuperada.

**1972** – Circula um eléctrico rápido articulado com motor controlado por tracejador.

O controlo electrónico dos motores para tracção eléctrica começa a ser empregue nos veículos de tracção urbana.

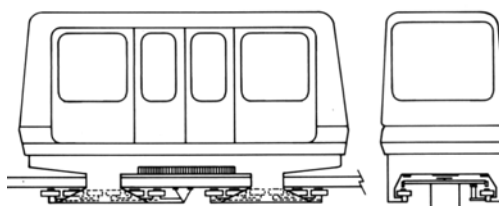
**1975** – Circula um eléctrico rápido articulado com accionamento trifásico tiristorizado.

**1979** – Começa a ser utilizado o microprocessador em múltiplas funções de controlo, regulação e vigilância a bordo de veículos para tracção eléctrica.

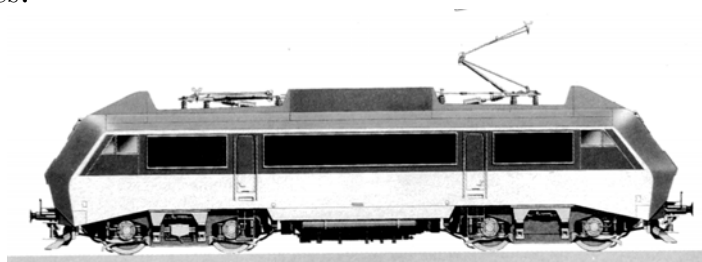
**1981** – Em 21 de Setembro entra em serviço o primeiro comboio de alta velocidade *TGV* (*Train Grand Vitesse*) entre Paris e o Sudeste da França (Paris-Lião: 2 h 50 min). Os estudos tinham começado em 1960, e foram experimentados diferentes veículos. O accionamento era feito com motores de colectador de lâminas alimentados por tracejador (1,5 kV CC) ou por ponte mista rectificadora (2,5 kV, 50 Hz)



**1984** – Em Birmingham entra em funcionamento um sistema de levitação magnética (*MAGLEV*) para transbordo de passageiros entre o aeroporto e a estação de caminho de ferro (630 m). Os veículos transportam 40 passageiros. Mostrou-se um sistema com pouca manutenção, elevado custo de instalação e elevado custo de exploração devido às perdas por dissipação dos electroímãs e ao baixo rendimento dos motores lineares.

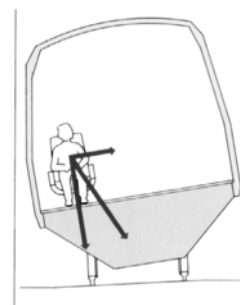


**1987** – Começam a ser entregues em França as locomotivas *SYBIC* (com accionamento trifásico com motor síncrono podendo ser alimentadas por corrente contínua 1500 V ou corrente alternada 25 kV, 50 Hz).



**1988** – Entram em serviço os comboios pendulares nas linhas Italianas ETR 460 PENDOLINO. Permitem uma velocidade máxima de 250 km/h.

**1989** – Entram em serviço os comboios pendulares nas linhas da Suécia. Permitem velocidade de 115 km/h a 150 km/h na linha de Estocolmo–Gotemburgo.



Na década de noventa do século vinte são predominantes os trabalhos em Tracção Eléctrica nos seguintes domínios:

- **alta velocidade** — são desenvolvidos sistemas e são electrificadas linhas que permitiram a criação de uma rede europeia de comboios de alta velocidade.

Comboios de Alta Velocidade Europeus ( $v \geq 250$ km/h) <i>datas e factos significativos</i>	
1990	Recorde de velocidade (TGV) — 515,3 km/h
1991	Entra em serviço na Alemanha o ICE
1992	Entra em serviço em Espanha o AVE
1993	Entra em serviço o TGV Norte de Europa (Paris-Pas de Calais)
1994	Entra em serviço o EUROSTAR (Londres-Paris-Bruxelas)
1994	Demonstração de ICE nas linhas da AMTRAK (USA)
1995	Entra em serviço o TGV-Duplex (com dois andares)
1996	Entra em serviço o THALYS (TGV) (Paris, Bruxelas, Amesterdão, Colónia) (tri e quadricorrente)
1997	Continuam a aumentar as linhas servidas por ICE (ICE-2)
1998	Iniciam-se experiências com o TGV-pendular
1999	Primeiros Veículos ICE-Diesel Electrico em serviço
1999	Entra em serviço a primeira linha de ICE-pendular — ICT

Continuaram as investigações e o desenvolvimento dos Sistemas de Levitação Magnética (MAGLEV): recorde de velocidade 450 km/h em 1993; começa o projecto da linha Berlim-Hanburgo (1994); experiências com sistemas de alta velocidade (1995) e baixa velocidade em linhas experimentais no Japão; experiências na Coreia (1993).

- **tracção eléctrica com metro ligeiro (Light Rail Traction)** — desenvolvem-se muitos veículos e são electrificadas linhas em muitas cidades para utilização do conceito (em evolução) de metropolitano ligeiro.

**1970** – Começa a desenvolver-se o conceito de *trânsito rápido* no transporte de massas — um método de transportar grande número de pessoas através de uma cidade, ao longo de corredores bem definidos, em veículos rodando com prioridade e em sítio próprio.

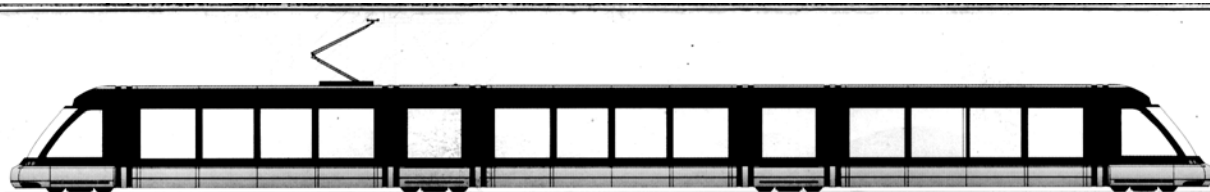
**1972** – O Departamento de Transporte Americano publica um relatório intitulado “*Light Rail Transit Systems – a definition and evaluation*”.

**1975** – Na sequência da crise energética criada pelo embargo petrolífero de 1973, em França é lançado um concurso de ideias para o projecto de um carro eléctrico suficientemente atraente para cativar a população entusiasta do transporte automóvel individual. Começa, a partir daí e de uma forma evolutiva, o desenvolvimento do veículo típico de *metro ligeiro*.

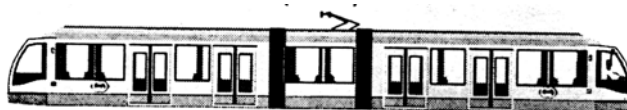
**1989** – A UITP – União Internacional dos Transportes Publica considera que um *sistema de metro ligeiro* é um sistema sobre carris (ferroviário), accionado electricamente, que pode ser desenvolvido passo a passo de um sistema de carros eléctricos modernos para um meio de transporte deslocando-se em túneis ou acima do nível da rua. Cada estado de desenvolvimento pode ser um estado final; deve contudo permitir um desenvolvimento futuro para o próximo estado superior.

**1990** – Começa a ser discutido (1990), para depois a ser projectado (1995) e finalmente construído (1999) o *Metro Ligeiro do Porto*.





1995 – Começam a circular em Lisboa os eléctricos articulados da Companhia Carris de Ferro de Lisboa.



- **sistemas informáticos** — cresce a aplicação de sistemas digitais e dos sistemas informáticos no controlo, comando, sinalização e diagnóstico em tracção eléctrica.



Fig. 1.13 – Tracção Eléctrica na Arte (Paul Delvaux; “La messagère du Soir” (parte), 1980)

Desta forma, desde 1879 a Tracção Eléctrica desenvolveu-se e tornou-se uma forma extremamente importante de transporte, tanto ferroviário como rodoviário.



–MVG–