

## O INÍCIO DA TRACÇÃO ELÉCTRICA NA PONTE D. LUÍS I

Manuel Vaz Guedes

FEUP - Faculdade de Engenharia  
Universidade do Porto**Resumo**

*Nesta comunicação são analisados os problemas criados pelo circuito de retorno da linha de carros eléctricos que passava no tabuleiro superior da Ponte D. Luís I, assim como as imposições governamentais e as soluções técnicas adoptadas. Este facto da História da Electrotecnia serve para mostrar as relações complexas entre a Tecnologia e a Sociedade, através de aspectos urbanísticos, de administração pública e de transportes.*

Para servir um significativo tráfego de passageiros e de mercadorias entre a cidade do Porto e Vila Nova de Gaia, a rede de transportes públicos com carros eléctricos expandiu-se para a margem esquerda do rio Douro, [1].

A travessia do rio Douro na cidade do Porto encontrava-se já definida pela ponte rodoviária de D. Luís I, por onde se efectuava a passagem dos carros americanos (tracção animal). Mas, esta ponte inaugurada em 1886, e construída com dois tabuleiros, tem uma estrutura metálica, o que levantou problemas na parte da electrificação daquela linha que se apoiava no tabuleiro superior da ponte.

Na travessia de uma ponte metálica por uma linha ferroviária de tracção eléctrica, em que os carris constituem o circuito eléctrico de retorno, se a corrente eléctrica abandonasse os carris e circulasse parcialmente pela peças metálicas da ponte, poderiam surgir problemas de electrólise que provocando a corrosão daquelas peças estruturais criariam situações graves para a conservação das suas condições de trabalho mecânico.

As imposições regulamentares e as soluções estudadas ao longo de vários anos não permitiram que tivesse sido criado qualquer problema susceptível de afectar a segurança da ponte. No entanto, a forma extremamente cautelosa como a Administração Pública actuou e o cuidado e engenho posto na discussão para alteração das imposições governamentais devem ser conhecidos, principalmente num momento em que se discute uma

nova travessia daquela ponte por veículos ferroviários de tracção eléctrica.

A análise destes factos só pode ser feita no âmbito de um estudo de *História da Electrotecnia*, embora aqui sejam de salientar as relações complexas entre a expansão dessa nova tecnologia de transporte público, que eram os carros eléctricos em 1903, e certos aspectos sociais como sejam a actuação da Administração Pública ou o conhecimento tecnológico difundido entre os engenheiros portugueses.

**O Circuito de Retorno**

Desde os primórdios da utilização pública da tracção eléctrica em Portugal (1895), quando o único motor eléctrico disponível era o motor série de corrente contínua, que se utilizou a linha aérea como forma de fornecer energia eléctrica ao veículo de tracção. A electrificação de uma linha de transporte público por linha aérea consistia no estabelecimento de um circuito eléctrico formado por uma estação geradora de energia eléctrica em corrente contínua, com um dos barramentos (positivo) ligado a um condutor aéreo isolado da terra e nu — a *linha* — que contactava com o carro eléctrico através do trólei e depois de passar pelo motor eléctrico e pelas rodas, o circuito fechava-se através dos carris — o *retorno* — que estavam ligados ao outro barramento (negativo) da estação geradora.

Este circuito de retorno apresenta certos problemas inerentes à forma como é construído. Os carris são em aço, o que não permite assegurar a homogeneidade das

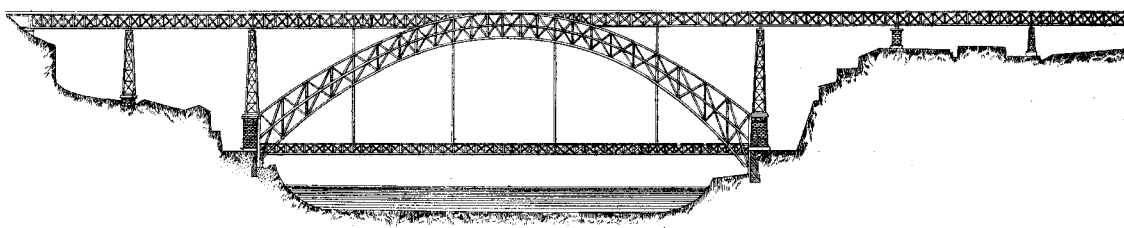


Fig. 1 – A Ponte D. Luís I (projecto inicial 1881)

## Engenharia Electrotécnica

suas propriedades físicas ao longo do seu comprimento. Assim, a resistência eléctrica varia ao longo do tramo de carril. Também a junção entre dois tramos dos carris constitui uma zona em que pode existir uma forte aumento brusco da resistência eléctrica do circuito de retorno.

Encontrando-se os carris envolvidos no solo, que é um material não homogéneo, e cuja resistência à passagem da corrente eléctrica varia muito com os elementos constituintes e com o seu estado de humidade, podem surgir zonas em que o percurso da corrente eléctrica de retorno se torne mais fácil através do solo do que através do carril. Aparece, desta forma, uma parte da corrente eléctrica de retorno, que numa certa distancia do seu percurso se distribui pelo terreno e segue um caminho diferente do circuito de retorno — são as *correntes vagabundas*, [2].

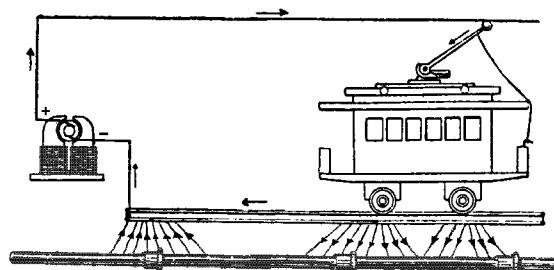


Fig. 2 — As correntes vagabundas e as peças metálicas vizinhas [4]

Se os circuitos paralelos ao circuito de retorno principal apenas se estabelecessem no solo, devido à elevada resistividade deste material heterogéneo as correntes vagabundas seriam insignificantes. Mas, frequentemente, perto dos carris existem massas metálicas, canos ou materiais estruturais, que constituem um condutor eléctrico. As correntes vagabundas passam a circular por essas peças metálicas até que ao fim de um certo percurso regressam ao carril através do terreno. Verificou-se que essas correntes vagabundas produziam nas massas metálicas desgastes importantes por corrosão electrolítica [3].

O fenómeno de electrólise, envolvendo a humidade do solo circundante como electrólito, dá-se na zona de saída das correntes vagabundas do carril e na zona de saída das correntes vagabundas das massas metálicas vizinhas; essas zonas funcionam como ânodos. Os sais dissolvidos na água existente no solo com a passagem da corrente eléctrica sofrem uma electrólise com deposição de radicais ácidos no ânodo. Esses radicais poderão atacar o metal que constitui o ânodo (peça estrutural ou canalização) corroendo-o.

Mas o ataque electrolítico não é uniforme em toda a zona do metal que serve de ânodo. O ataque faz-se por pequenos pontos dispersos, o que, tornando esse ataque mais intenso, diminui o tempo necessário à deterioração da peça metálica ou à perfuração da canalização.

Para que a electrólise do terreno húmido ocorra é necessário que entre os dois eléctrodos exista uma diferença de potencial mínima. Naquela época, o valor, habitualmente aceite, para essa diferença de potencial

era de 5 V, [4].

Estes fenómenos complexos, mas já conhecidos em 1894 [5], explicam o que sucedeu nas primitivas linhas de carros eléctricos, em Brooklyn e Boston, onde ocorreram perfurações de canalizações de água e de gás nas caves de prédios situados em ruas servidas por carros eléctricos. As respectivas consequências — inundações ou incêndios — afectaram a indústria de seguros, envolveram grandes processos judiciais e, por isso, foram muito noticiadas.

A defesa dos importantes interesses comerciais em jogo provocou o estudo destes fenómenos, que frequentemente teve um aspecto experimental, e provocou uma rápida divulgação das conclusões através das revistas técnicas e de vários livros.

Surgiram assim soluções envolvendo a alteração periódica da polaridade do circuito de tracção, ou a utilização de baterias tampão e de dínamos hipertensores ou hipotensores ligados ao carril ou às peças metálicas vizinhas; soluções que sendo muito engenhosas se mostraram incapazes de acompanhar o aumento da complexidade da rede de linhas de carros eléctricos e o aumento da sua potência eléctrica, [5]. Também surgiram as soluções bizarras como a que aconselhava a enterrar sucata ao longo da linha de forma a envolver a canalização, para que a corrosão ocorresse na sucata e nunca na canalização!...

Mas a importância económica prevista para a indústria de transportes públicos com carros eléctricos, a influência nefasta na indústria de seguros dos prejuízos causados pela corrosão, a reacção que esses problemas desencadearam, conjuntamente com uma cultura de análise pública dos problemas levou a que se organizasse em Inglaterra a elaboração de um documento capaz de promover uma electrificação segura das linhas de transporte público. Surge assim a minuta de um regulamento (Novembro de 1893) que depois de uma profunda minuciosa e alargada discussão pública foi aprovado na sua forma final em 6 de Março de 1894 como Regulamento do “Board of Trade”, [6].

Toda esta acção de aprovação do Regulamento foi noticiada nas revistas da época, sendo exaustivamente divulgadas as diversas participações, nas secções públicas, que envolveram os cientistas e os técnicos relevantes na emergente indústria electrotécnica ou representantes das associações profissionais interessadas.

Este regulamento, que pretendia proteger os circuitos eléctricos que também se serviam da via pública, como os serviços de telégrafo e de telefone, e ainda as canalizações de água e de gás, tinha a particularidade de ser escrito proposadamente para o caso das linhas de carros eléctricos, e não resultava da adaptação forçada de qualquer outro regulamento, como o dos circuitos de iluminação ou como o que estava aplicado noutra tipo de transportes ferroviários, [7].

O Regulamento do “Board of Trade” procurava, com um enunciado preciso e exigente, ressaltar os

## Engenharia Electrotécnica

problemas técnicos criados pela electrificação das linhas de transporte público: aos problemas das perturbações nos circuitos vizinhos (de telecomunicações) dedicava três artigos; um artigo era dedicado aos registos diários, mensais e ocasionais a efectuar com os acontecimentos e com os valores medidos de algumas grandezas eléctricas; e treze artigos eram dedicados aos problemas do circuito de retorno.

Das diversas imposições que este regulamento dedicava ao circuito de retorno, salientam-se os seguintes aspectos:

- o circuito eléctrico deve ter a linha (aérea) ligada ao terminal positivo do gerador, enquanto que o circuito de retorno deve estar ligado ao terminal negativo, que estará ligado a duas placas de terra afastadas de mais de 18 m;
- admite um circuito de retorno isolado, formado por secções de comprimento inferior a 804,5 m; também prescreve o modo de ensaiar o isolamento desse circuito;
- se o circuito de retorno não for (um cabo) isolado, o retorno deve ser isolado dos eléctrodos de terra e de todas as canalizações na vizinhança, os carris devem ser ligados e devem ser adoptados meios próprios para reduzir a diferença de potencial produzida pela corrente entre dois pontos quaisquer do circuito de retorno; (esta imposição justifica a “*éclissage*” eléctrica da junção dos tramos dos carris)

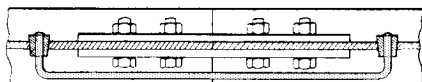


Fig. 5 – *Éclissage eléctrica da junção do carril*

- a diferença de potencial entre os pontos mais distante da central e o ponto mais próximo num circuito de retorno não isolado não deverá exceder 7 V;

Na concessão provisória de licença para a electrificação da Linha da Restauração no Porto [8], a Direcção dos Serviços Telégrafo-Postais impôs, em 1894, a obediência ao disposto no Regulamento do “Board of Trade” de 6 de Março de 1894. É de notar que a Administração Pública portuguesa submeteu-se a um Regulamento aprovado por uma entidade estrangeira e do qual não existia tradução oficial em português.

Esta atitude, administrativamente bizarra, tem o seu fundamento num clima de receio criado entre os engenheiros que trabalhavam em Portugal pela divulgação das notícias sobre problemas com electrificações no estrangeiro, envolvendo perturbações dos serviços de telecomunicações, e prejuízos graves nas canalizações devidos aos fenómenos de electrólise associados às correntes vagabundas.

O Regulamento do “Board of Trade” foi bastante discutido na Europa, enquanto que não teve divulgação nos Estados Unidos da América. A discussão de alguns

dos seus pontos, feita por figuras marcantes da Engenharia Electrotécnica da época [9], apenas aumentou a importância atribuída ao problema das correntes vagabundas. Em 1898 para a situação da travessia das pontes metálicas por veículos de tracção eléctrica eram aconselhadas já, num tratado importante [9], duas precauções gerais:

- isolar os carris e as canalizações da estrutura metálica da ponte recorrendo a betão ou a produtos asfálticos, e
- assegurar a continuidade eléctrica dos carris, duplicando as ligações nas juntas e utilizando essas ligações mesmo com carris soldados.

Entretanto começara a ser adoptada e publicada regulamentação nacional específica para as instalações eléctricas [10]. Essa legislação autorizava (art. 115º, Dec. 10/3/1901) a promulgação de um decreto regulamentando o serviço de tracção eléctrica, o que foi feito em 12 de Março de 1903 [11]. Este regulamento, no seu articulado, apresenta para as “Linhas e Material Fixo” uma tradução adaptada, e integrada na legislação nacional, do Regulamento do “Board of Trade” de 6 de Março de 1894 [12], conjuntamente com o aproveitamento dos outros regulamentos (“Working Regulations” de 17 de Agosto de 1896) daquele departamento governamental inglês aplicáveis ao “Material Circulante”.

É neste contexto que em 1903, por despacho ministerial de 20 de Maio, um conjunto de condições verdadeiramente surpreendente pelo seu grau de exigência e rigor, face à regulamentação publicada e à prática electrotécnica corrente noutras cidades da Europa, é imposto à Companhia Carris de Ferro do Porto “no que respeita à tracção eléctrica na Ponte D. Luiz I”, [13].

## A Ponte D. Luís I

A Ponte D. Luís I, além de estimado *ex-libris* da cidade, assegura desde Outubro de 1886 a ligação rodoviária entre a cidade do Porto e Vila Nova de Gaia, [14]. Esta ponte foi projectada pelo Eng. Teófilo Seyrig para a firma construtora Societé Anonyme de Construction et des Ateliers de Willebroek, da Bélgica.

A ponte, construída em ferro, tem um arco de 172 m de corda entre apoios e 44,6 m de flecha no intradorso, o arco é constituído por duas curvas parabólicas divergentes; os encontros do arco são de cantaria. A ponte tem dois tabuleiros, estando a superfície da via dos tabuleiros superior e inferior, respectivamente, a 62 m e 10 m do rio; ver figura 1. O tabuleiro superior, que tem um comprimento de 392 m, tem os apoios em encontros de cantaria.

No aspecto urbanístico, a Ponte D. Luís I “correspondeu a todas as exigências a que tinha de dar satisfação, incluindo as de índole subjectiva” [15]. No aspecto de via de passagem de transportes públicos, a ponte foi atravessada pelos carros americanos (veículos ferroviários de tracção animal) [1], e em 1905 começou

## Engenharia Electrotécnica

a ser atravessada por carros eléctricos. Embora sujeita a portagem até 1943, esta ponte “exageradamente apontada ao ‘coração da cidade’” foi responsável pelo desenvolvimento urbanístico e social do zona central da cidade do Porto, e na margem esquerda contribuiu para o desenvolvimento concentrado da zona alta de Gaia até Santo Ovídio, e mais disperso, mas também intenso, nas zonas periféricas, [15].

A alteração do tipo de veículo utilizado nos transportes públicos provocou estudos de vistoria das condições de trabalho mecânico da ponte [16]. Se os pequenos veículos, traccionados por cavalos ou por mulas, numa via única de carris não eram uma carga considerável e anormal, já o assentamento de duas vias para os carros eléctricos (14 ton.), e a possibilidade destes se cruzarem sobre a mesma carlinga, levou a um estudo rápido em 1905, que aconselhou o reforço das carlingas com chapas de banzo e a diminuição do peso do tabuleiro com a retirada de pedras e carris velhos. A possibilidade de circulação de zorras rebocadas por carros eléctricos provocou um estudo, em 1908, que concluiu por não haver inconveniente na circulação provisória, e até à realização de estudos experimentias, dos carros e das zorras sem ocorrer cruzamento na via dupla.

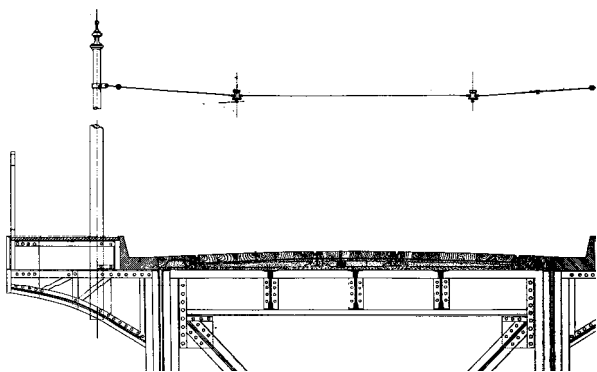


Fig. 4 – Aspecto do tabuleiro superior (1909)

Tanto o tabuleiro superior como o inferior serviram para assentar linhas de carros americanos, mas somente o tabuleiro superior serviu de passagem às linhas de carros eléctricos, apesar de terem existido projectos, mas não autorização governamental, para ser efectuada também a travessia da ponte, em carro eléctrico, pelo tabuleiro inferior.

A largura de cada tabuleiro é de 8 m com uma faixa de rodagem de 5,5 m e dois passeios de 1,25 m cada. A sua secção transversal está representada na figura 4, mas o conteúdo do tabuleiro, na parte de assentamento da via, sofreu várias alterações ao longo do tempo.

Sobre a chapa de ferro plana da base do tabuleiro assentava uma camada de betão que envolvia os carris. Por cima dessa base de betão existia uma camada de areia sobre a qual assentavam paralelepípedos de madeira, que mais tarde foram cobertos de um tapete betuminoso de desgaste. Tratava-se de uma estrutura leve, análoga à que se utilizava noutras pontes estrangeiras.

A electrificação da linha de transporte público que atravessava a ponte apenas obrigou a uma alteração estrutural com a colocação de postes cilindricos que sustentavam as espigas transversais isoladas que suportavam a linha aérea a uma distância de 5 m da superfície do pavimento [17].

Se a Ponte D. Luís I teve desde a inauguração um importante papel no desenvolvimento social e urbanístico de uma parte da cidade do Porto e de toda a região de Gaia, a sua adaptação, como estrutura mecânica, aos diferentes meios de transporte público foi acompanhada de estudos cuidadosos quando ocorreram alterações significativas.

Se, como carga dinâmica, a passagem dos carros eléctricos não introduzia problemas graves, já no aspecto da electrificação necessária ao funcionamento daqueles veículos assim não foi considerado pelo Ministério do Fomento responsável pela concessão da respectiva autorização.

### Tracção Eléctrica na Ponte D. Luís I

A electrificação da linha de transporte pública que atravessava o tabuleiro superior da Ponte D. Luís I insere-se nos aspectos normais de uma electrificação ferroviária.

Nessa época a energia eléctrica era produzida, sob a forma de corrente contínua, na Central da Arrábida, situada na margem direita do rio Douro [8]. A alimentação em energia dos veículos é feita através de uma linha aérea. Nesta parte do percurso a linha aérea tinha de alimentar o veículo no tabuleiro superior da ponte e promover o transporte da energia que era consumida no resto do percurso em Gaia.

A linha aérea, em condutor de cobre nu, de secção circular e com um diâmetro de 8,25 mm, estava suspensa de espigas duplamente isoladas da terra.

Já o circuito de retorno, que normalmente era feito pelos carris apresentava no caso da ponte uma situação interessante, mas delicada. No tabuleiro da ponte os carris estavam mergulhados numa massa de betão ou de areia que contactava com a parte metálica da ponte. Por isso, no caso de aparecer, na parte da linha assente no tabuleiro, uma zona no carril com uma resistência eléctrica mais elevada, iriam surgir correntes vagabundas, que circulariam pelas massas metálicas próximas: as peças estruturais da ponte. Os fenómenos de corrosão associados às correntes vagabundas envolveriam as peças de ferro da estrutura da ponte; o que poderia ser grave...

Mas é já nas zonas extremas — zonas de apoio do tabuleiro em Gaia e no Porto — que o problema se torna mais grave. Nessas zonas surgiriam três circuitos possíveis para a corrente eléctrica; cujo modelo está idealizado esquematicamente na figura 5.

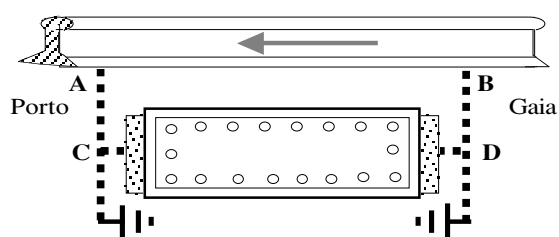


Fig. 5 – Esquema eléctrico equivalente idealizado

Para além da desejável circulação da corrente eléctrica no carril (BA), existe um outro percurso feito numa parte de terreno e depois na estrutura metálica da ponte e que através do terreno regressa ao carril (DC), e, ainda, um terceiro percurso onde a corrente circulará através da terra. Devido às diferentes características eléctricas destes percursos, certamente que a maior parte da corrente eléctrica que não circulasse no carril, circularia na parte metálica da ponte; apenas uma pequeníssima parte é que circularia através da terra.

Numa situação em que a diferença de potencial fosse superior ao mínimo necessário para provocar a electrólise, era no ponto (CA) de ligação do carril que atravessava a ponte à parte restante da rede de carris do lado do Porto que se verificava a pior situação, porque aí a estrutura metálica da ponte iria funcionar como ânodo, e, por isso, ser sede dos fenómenos de corrosão que acompanham a electrólise.

Esta análise da situação do circuito de retorno na zona da ponte, efectuada à luz dos conhecimentos da época, permite compreender a necessidade de um conjunto de medidas preventivas da ocorrência de fenómenos de electrólise, além de justificar as medidas gerais de precaução já atrás apresentadas [9].

Também é possível fazer uma análise crítica das imposições governamentais exaradas no despacho ministerial de 20 de Maio de 1903, “no que respeita à tracção eléctrica na Ponte D. Luiz I”, [13].

1ª “Fica expressamente proibido o aproveitamento dos carris para a passagem da corrente eléctrica; devendo o circuito eléctrico ser estabelecido por duas linhas aéreas”

Esta imposição obrigou a que fossem colocados no trajecto sobre a ponte dois fios aéreos condutores nus e isolados da terra, suspensos das espigas e obrigou a que o carro eléctrico tivesse dois tróleis situados a meio do tejadilho e voltados para o mesmo lado, [18].

2ª “Os carris existentes sobre a referida ponte serão isolados das outras linhas, sendo entresim (sic) dois troços da linha, um de cada lado da ponte de extensão não inferior ao dobro das distâncias entre os eixos dos carros motores mais compridos”

O problema do circuito de retorno ultrapassava o comprimento do tabuleiro da ponte mais 2 x 2 m para cada lado; assim o comprimento total era de 400 m.

3ª “Os carros motores destinados a circular sobre a ponte serão de dois trolleys e deverão ser previamente aprovados pela administração dos Correios e Telégrafos, devendo o circuito eléctrico poder ser isolado do truck e rodados”

Esta imposição obrigou a que se utilizassem carros eléctricos adaptados na linha que atravessava a ponte. Existia um comutador que permitia isolar o circuito eléctrico de potência dos rodados e fechá-lo através do segundo trólei ligado ao circuito aéreo de retorno. Tornou-se também necessário que o carro eléctrico entrasse na zona protegida à entrada da ponte, parasse, fosse ligado o segundo trólei e comutado o circuito de potência e depois de efectuada uma viagem de 392 m (cerca de 2 minutos) se fizesse um conjunto de manobras análogas, mas para fazer regressar o carro eléctrico à situação de funcionamento normal necessária à circulação na restante parte da rede!...

4ª “As linhas aéreas sobre a ponte devem ser apoiadas em fios metálicos transversais devidamente isolados e estabelecidos em duas filas de colunas a igual distância do eixo da ponte”

Esta imposição não tem aspectos particulares relevantes, salvo o interesse estético da disposição simétrica dos postes, perpetuada na sua substituição posterior pelos pórticos tão característicos.

5ª “A exploração cessará em qualquer tempo, sem direito a indemnização alguma para a Companhia Carris de Ferro do Porto logo que pela Administração Geral dos Correios e Telégrafos se verifique que a estrutura metálica da ponte é sede de qualquer corrente eléctrica apreciável devido às instalações da mesma Companhia”

Apenas estava traduzida nesta imposição a consagração do princípio de que a responsabilidade era sempre da empresa exploradora do serviço de transporte, o que era prática contratual corrente desde o Regulamento de Exploração Estabelecimento e Fiscalização dos Serviços Telegráficos de 10 de Dezembro de 1892 que salvaguardava os interesses do Estado (art. 159º e 161º).

6ª “O fio de alimentação estabelecido sobre a ponte deve constituir uma secção, com interruptores nas duas extremidades da ponte”

7ª “O isolamento do cabo que estabelece a continuidade do retorno no troço da linha assente sobre a ponte não será menor do que a do fio de alimentação, para o que serão empregadas disposições adequadas”

A continuidade do circuito de retorno era assegurada na zona da ponte por um conjunto de dois cabos, de secção unitária 650 mm<sup>2</sup>, e uma resistência eléctrica total de 6 mΩ.

Verifica-se que todas estas imposições governamentais assentavam no princípio de que se deveria isolar a ponte do circuito eléctrico, recorrendo-se para isso a soluções que afectavam a normal exploração dos serviços de transporte e que eram de complicada aplicação. E esta situação durou vários anos...

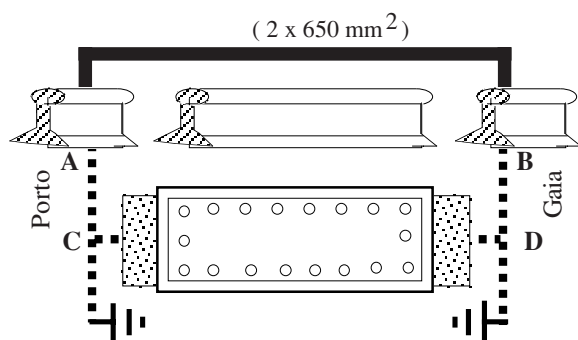


Fig. 6 — Circuito eléctrico equivalente para a solução imposta

No entanto, recorrendo ao esquema eléctrico idealizado da figura 6, pode-se verificar que nunca seria possível afastar as correntes eléctricas da estrutura metálica da ponte, porque estas ainda se podiam estabelecer entre os carris do circuito de retorno e as peças metálicas da ponte através de uma maior extensão do terreno circundante. Isto foi confirmado por medida directa apresentada num trabalho do Eng. Luís Couto dos Santos [19], onde se regista que para uma corrente de intensidade de 100 A emitida para Gaia, apenas passavam 85 A no cabo condutor de retorno.

Por mera aproximação, considerando que a resistência eléctrica do circuito envolvendo as partes metálicas da ponte é um décimo da resistência do circuito de terra, chega-se á conclusão que 13,7% da corrente que não passa no cabo de retorno passa pela estrutura metálica da ponte. Atendendo a que a corrente de retorno podia atingir 400 A, com o tráfego de 1909, poderia passar na estrutura da ponte uma corrente eléctrica de cerca de 55 A de intensidade, dentro da mais estricte obediência das imposições governamentais.

Esta análise, além de demonstrar que, apesar de rigorosas, as imposições não formavam uma solução tecnicamente correcta, permite vislumbrar desde logo a solução técnica para este problema, como foi apresentada e justificada pelo Eng. Luís Couto dos Santos no seu projecto, [18]. Mais tarde acabou por ser a solução aplicada.

Contrariamente às imposições governamentais admite-se que irá passar corrente eléctrica na estrutura metálica da ponte, mas a intensidade da corrente será tanto menor, e menores serão os seus efeitos, quanto mais pequena for a resistência eléctrica que a corrente encontra no seu circuito principal de retorno. Para isso, faz-se uma boa ligação eléctrica nas junções dos tramos de carril (éclissage eléctrica) e, sem isolar o circuito de retorno do terreno circundante, estabelece-se em paralelo um outro circuito condutor, formado por um cabo eléctrico de elevada secção, por onde circulará a quase totalidade da corrente eléctrica de retorno. O cabo eléctrico será ligado aos carris em alguns pontos (4) ao longo do tabuleiro da ponte.

Para colocar em paralelo com o circuito de retorno dos carris foi previsto um cabo de cobre com  $3600 \text{ mm}^2$  de secção; como o cabo tinha uma resistência de

$1,8 \text{ m}\Omega$ , a resistência eléctrica total do circuito de retorno no tabuleiro da ponte passou a ser de  $1,16 \text{ m}\Omega$ . Este valor fará diminuir para 2,4% a corrente desviada do circuito de retorno para a estrutura metálica da ponte e para a terra. Se se ligar a estrutura metálica da ponte directamente àquele circuito de retorno, não aparecerão agora situações em que surgem diferenças de potencial superiores a 5 V, e portanto não ocorrerão fenómenos de electrólise.

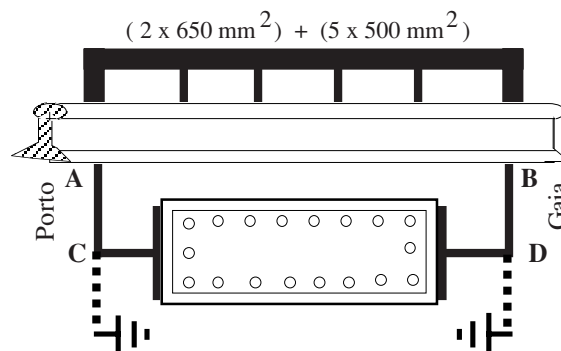


Fig. 7 — Circuito eléctrico equivalente para a solução proposta

Esta solução acabou por ser adoptada, conjuntamente com uma reformulação do aspecto construtivo do tabuleiro. Assim, o piso do tabuleiro passou a ser formado por chapas abauladas e perfuradas, sobre estas chapas estabeleceram-se longarinas de betão armadas superiormente onde assentavam os carris, e o espaço foi cheio com duas camadas de betão de cimento. A caixa para os cabos eléctricos, que estava colocada no centro da ponte entre as duas vias, era feita em betão e armada com ferros em malha. Na parte superior do piso existiam paralelepípedos de madeira recobertos de um tapete betuminoso.

Com esta última reparação da ponte ficaram bem individualizados os três circuitos eléctricos para as correntes eléctricas de retorno na Ponte D. Luís I. Esta solução permitiu a passagem dos carros eléctricos normais, sem quaisquer aspectos construtivos diferentes dos carros que percorriam a restante rede. Esta solução técnica manteve-se até Dezembro de 1958, altura em que os carros eléctricos com um só trólei, foram substituídos por troleicarros na travessia da Ponte D. Luís I, nunca tendo sido detectados problemas de corrosão electrolítica com prejuízo para a segurança daquela obra de arte.

## Síntese

Quando em 1903 se inicia o processo administrativo de obtenção de uma licença para atravessamento da Ponte D. Luís I por carros eléctricos, dava-se continuidade a um movimento de melhoria da rede de transportes públicos da cidade do Porto, procurando-se atingir, nessa fase, as zonas periférica da cidade e para além do rio Douro.

Esta acção ocorria, quando no concelho do Porto já existia uma rede de carros eléctricos com uma extensão de  $25,095 \text{ km}$  e nesse ano de 1903 se construíram mais  $6,2 \text{ km}$  de via, o que permitiu que no ano seguinte fosse

## Engenharia Electrotécnica

suprimida, completamente, a tracção animal. O serviço de transporte então oferecido tinha uma boa aceitação da população, e a exploração dos transportes públicos — tracção animal, tracção a vapor e tracção eléctrica — permitiu que a Companhia Carris de Ferro do Porto oferecesse um dividendo de 8% naquele ano, [20].

Para se ligar o centro urbano da cidade do Porto — Praça de D. Pedro — com zonas populacionais importantes de Vila Nova de Gaia — Devesas e S. Ovídio — havia que proceder à passagem do rio Douro, o que nessa época se encontrava bem definido através das vias que convergiam para a Ponte D. Luís I.

Para estabelecimento das linhas de transporte público que percorriam essas vias existia já uma experiência técnica baseada na electrificação da rede existente, e que se tinha acumulado ao longo de oito anos. Mas para realizar a electrificação da via no tabuleiro da ponte metálica D. Luís I apenas existia a informação avulsa sobre problemas, acidentes, experiências e tentativas de solução que tinham surgido no estrangeiro quando uma via electrificada, com os carris servindo de circuito de retorno, se desenvolvia na vizinhança de estruturas metálicas.

A utilização dos carris enterrados no solo como circuito de retorno permitia a ocorrência de fenómenos de circulação de correntes eléctricas em percursos que envolviam porções do terreno circundante e nas peças metálicas enterradas nessas zonas. Eventualmente, essas correntes eléctricas vagabundas eram acompanhadas de uma acção electrolítica que se traduzia na corrosão violenta daquelas peças metálicas.

Como esses problemas tinham surgido logo nas primitivas electrificações (1887), em 1903 eram já conhecidas algumas soluções técnicas ou medidas preventivas para esses fenómenos. Existia também, desde 1894, o exemplo de um Regulamento que procurava estabelecer regras para a execução de instalações de tracção eléctrica seguras.

Torna-se, por tudo isso, surpreendente o rigor exagerado, e o carácter excepcional, das medidas impostas por despacho ministerial para concessão da licença de atravessamento da Ponte D. Luís I por carros eléctricos. O princípio técnico em que essas imposições se baseiam — *isolamento completo do circuito eléctrico da estrutura metálica da ponte* — não permite realizar a protecção pretendida da estrutura metálica contra os problemas de corrosão criados pelas correntes vagabundas.

Já uma análise deste problema técnico baseada num modelo com uma idealização dos circuitos possíveis e o seu tratamento pelos leis dos circuitos eléctricos, permitiu, num processo de racionalização característico do trabalho em Engenharia Electrotécnica, estabelecer uma solução que resolveu o problema durante todo o tempo que durou o serviço de tracção na ponte com carros eléctricos normais (até 1958) [18]. Essa solução baseada num princípio técnico realista — *estabelecimento de um paralelo de todos os possíveis circuitos eléctricos de retorno com um circuito envolvendo os carris mas com muito baixa*

*resistência eléctrica* — foi conseguida com o lançamento ao longo da ponte de um cabo eléctrico de elevada secção, ligado aos carris em vários pontos e, também, ligado nas extremidades à estrutura metálica da ponte.

Este caso, retirado da História da Electrotecnia em Portugal, permite detectar as intensas e complexas relações da Tecnologia com a Sociedade. A necessidade social de melhoria e expansão dos transportes públicos obrigou ao estabelecimento de uma linha de carros eléctricos sobre o tabuleiro superior da Ponte D. Luís I. Daí resultou um importante factor de influência no desenvolvimento urbanístico da cidade do Porto e da região de Gaia. Essa electrificação levantou o problema técnico da preservação da estrutura metálica sobre a ponte, a que a Administração Pública respondeu com a imposição de uma solução complexa, tecnicamente imperfeita, mas que prejudicou a normal e suave circulação dos carros eléctricos na passagem da ponte. Os inconvenientes para a população e para o sistema de transporte foram grandes, embora disfarçados pela falta de meios alternativos de transporte público.

Num acto de Engenharia, com recurso a processos de modelização e de análise racional, foi estudado o problema no âmbito da Electrotecnia e foi encontrada uma solução técnica correcta para a protecção da ponte e para a normal circulação dos carros eléctricos, como ficou provado com a sua aplicação e com a passagem do tempo.

## Notas e Referências

- [1] Manuel Vaz Guedes; “Uma Linha de Carros Eléctricos para os Afazeres e a Distracção dos Habitantes do Porto”, *Ingenium*, II Série, n.º 6, pp. 74–80, Fevereiro 1996
- [2] caracterização de correntes vagabundas segundo a definição 30–10–040 do Vocabulário Electrotécnico Internacional Grupo 30 – Tracção Eléctrica, CEI 1957
- [3] aproximadamente, uma corrente eléctrica vagabunda de intensidade 1 A pode dar origem a uma transformação de 5 kg de ferro num ano com 5 000 horas de actuação
- [4] A. Monmerqué; “Tramways Électriques — conditions d’établissement au point de vue des dangers électrolitiques”, *L’Éclairage Électrique*, IX, pp. 5–11, 1896
- [5] A. H.; “Actions Destructives des Courants Électriques sur les Conduites Métalliques Souterraines”, *L’Éclairage Électrique*, I, pp. 78–80, 1894
- [6] ver “The Electrician”, de 24 de Novembro de 1893 até 23 de Março de 1894
- [7] existiam outros regulamentos, como um regulamento alemão de 31 de Dezembro de 1897, que nunca foram invocadas pelas autoridades portuguesas
- [8] Manuel Vaz Guedes; “Porto 1895 — a

- electrificação da Linha da Restauração”, *Electricidade*, nº 327, pp. 271–274, 1995
- [<sup>9</sup>] A. Blondel F. Paul-Dubois; “La Traction Électrique sur Voies Ferrées”, Librairie Baudry 1898
- [<sup>10</sup>] Decreto Fiscalizador das Indústrias Eléctricas, 24/Dez/1901; Indústrias Eléctricas — estabelecimento e exploração, 19/Jul/1901; Concessão Estabelecimento e Exploração de Indústria Eléctricas, 28/Fev/1903
- [<sup>11</sup>] Regulamento para o Serviço de Tracção Eléctrica, Decreto de 12/Mar/1903
- [<sup>12</sup>] não se vislumbra qualquer aproveitamento das críticas ao regulamento e das novas soluções técnicas entretanto apresentadas nas revistas da especialidade
- [<sup>13</sup>] segundo o “Título de Licença para o Estabelecimento duma Instalação Eléctrica” existente no Museu do Carro Eléctrico (*MCE*) da Sociedade de Transportes Colectivos do Porto
- [<sup>14</sup>] adoptou-se o nome de *Ponte D. Luís I* por ser o que figura em todos os documentos referindo o tema deste trabalho; não se utilizou a designação primordial de “Ponte Luís I” que vem sendo perpetuada nos estudos sobre a ponte como estrutura mecânica ou urbanística, nem se aplicou a
- simples lógica popular que a designa por “Ponte de D. Luís”, porque apenas existiu um Rei com aquele nome!...
- [<sup>15</sup>] A. Barbosa de Abreu; “Implicações Urbanísticas das Pontes Metálicas sobre o Douro, no Porto”, *Boletim Informativo Nacional da Ordem dos Engenheiros*, nº 11, Maio 1978
- [<sup>16</sup>] segundo Relatórios no Arquivo da Junta Autónoma de Estradas
- [<sup>17</sup>] só em 1930 foram montados os característicos pórticos de sustentação da linha aérea e dos candeeiros de iluminação
- [<sup>18</sup>] como registo histórico desta imposição governamental existe uma gravura no cabeçalho das acções da Companhia Carris de Ferro dessa época, que apresenta dois erros: dos dois tróeis, um está dirigido para a parte de frente e o outro para a parte de trás do carro eléctrico; a manivela do travão está do lado esquerdo do condutor
- [<sup>19</sup>] Luís Couto dos Santos; “Estação Central Geradora de Massarelos — Memória Descritiva do Requerimento para Completar a Execução Total do Projecto de 1909”, *Massarelos*, 1912 (*MCE*)
- [<sup>20</sup>] Diogo Pacheco de Amorim; “A Companhia Carris de Ferro do Porto”, *Separata de O Instituto*, vol. CXXV, 1965