

# O DEBATE TEORIA VS. PRÁTICA: DAS ORIGENS DO ELETROMAGNETISMO AO MÉTODO ATUAL DE ENSINO NOS CURSOS DE ENGENHARIA

**Aderilson V. C. Júnior; Jefferson Z. Moro ; Moisés R. N. Ribeiro**

Programa de Educação Tutorial (PET) - Departamento de Engenharia Elétrica

Centro Tecnológico

Universidade Federal do Espírito Santo,

Av. Fernando Ferrari, sem número, Goiabeiras

29060-900 – Vitória, Es

pet.eletrica.ufes@gmail.com

***Resumo:** O ensino da engenharia se defronta com o dilema da teoria vs. prática na reformulação dos programas de disciplinas. Além disso, os adventos de novas tecnologias tendem a colocar em segundo plano, ou até mesmo eliminar dos programas, informações sobre os desenvolvimentos históricos. Mostra-se neste artigo que a tentativa e erro (prática) teve um papel fundamental no desenvolvimento dos primeiros sistemas de comunicação sem fio. Isso contrasta com o viés essencialmente teórico dos programas atuais de disciplinas como eletromagnetismo. Apresenta-se ainda uma discussão que foi apagada dos livros texto em eletromagnetismo sobre as raízes do embate entre a teoria e a prática. Finalmente, propomos um protótipo baseado no “coherer”, a invenção chave que possibilitou as primeiras transmissões sem fio. A proposta é que tal sistema de baixo custo funcione como uma motivação para o estudo dos aspectos históricos bem como uma plataforma para o exercício da tentativa e erro nos cursos de eletromagnetismo.*

***Palavras-chave:** História do eletromagnetismo, Teoria vs. prática, Sistemas sem fio, “coherer”.*

## 1. INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia enfrenta o problema de dimensionar currículos e programa de disciplinas de forma a contemplar os avanços tecnológicos mais recentes. O objetivo seria preparar os alunos da melhor maneira possível para o tipo de tarefa e tecnologias que são encontradas no mercado de trabalho. Naturalmente, a exclusão de tecnologias ultrapassadas se faz necessária para a acomodação de novas técnicas e métodos. Com é fácil observar isso tem se processado com frequência nas reformas curriculares e programáticas de disciplinas básicas.

Outro dilema constantemente enfrentado é a discussão de conteúdo teórico e prático associado a cada disciplina. A disciplina de eletromagnetismo, em particular, é tradicionalmente ministrada sobre uma base predominantemente teórica, em parte, pelo suposto sucesso de James Clerk Maxwell em sintetizar num sistema de equações a modelagem das relações entre os as entidades de campo (elétrico e magnético) e as características de interação com o meio físico (permissividade elétrica e permeabilidade magnética). Dessas equações derivam-se inúmeras aplicações como o estudo da equação de

onda, a qual fundamenta as comunicações sem fio, a teoria de linhas de transmissão, a teoria de antenas, a óptica física, a teoria de máquinas elétricas etc.

No conteúdo programático da disciplina, o qual geralmente segue o enfoque adotado pelos livros textos (que são verdadeiros manuais de solução de problemas), o conhecimento é apresentando pronto ou, no melhor dos casos, a teoria eletromagnética é apresentada como a resultante de uma trajetória histórica linear de mera acumulação de conhecimento. Personagens dessa história são frequentemente apresentados como heróis, ou gênios excêntricos, com habilidades muito distantes da capacidade intelectual dos alunos. Nossos livros de referência, e portanto as nossas disciplinas, falham em mencionar os descaminhos, os embates e obstáculos pessoais, políticos, ideológicos, econômicos enfrentados por esses pioneiros. O papel fundamental da tentativa e erro é simplesmente apagado da história mencionada nos nossos livros de referência. Muitas vezes sem seguir (ou mesmo contrariando) uma fundamentação teórica, descobertas práticas foram essenciais para o entendimento de mundo que temos hoje.

A proposta desse artigo é resgatar parte deste conteúdo histórico omitido nos livros texto e programas das disciplinas introdutórias ao eletromagnetismo. Um protótipo experimental de baixíssimo custo para telegrafia sem fio é também proposto. Ele se utiliza do “*coherer*” (fabricado artesanalmente) para detecção das ondas eletromagnéticas geradas, no transmissor, por variações de campo oriundas de centelhas elétricas. Além de ferramenta de demonstração para a introdução de conceitos de eletromagnetismo, o protótipo tem por objetivo motivar o interesse por aspectos históricos, propiciar experiências diretas de tentativa e erro na associação de aspectos teóricos com suas características construtivas (e.g., teoria de antenas, propagação etc.). O restante deste artigo é dividido da seguinte forma. Uma breve discussão sobre as escolas filosóficas empiristas e racionalistas é apresentada na Seção 2 como fundamentação teórica do debate teoria vs. prática. Na seção 3 o embate teoria vs. prática que ocorreu no final do século XIX protagonizados pelos seguidores de Maxwell e pelos engenheiros práticos da época é apresentado. Na Seção 4 discute-se o “*coherer*”, peça fundamental da parte prática de desenvolvimento dos projetos de comunicação sem fio na década de 1890. Na seção 5 propomos um protótipo, para fins didáticos, baseado nos primeiros sistemas de comunicação desenvolvidos por Marconi.

## 2. JUSTIFICATIVAS E FUNDAMENTAÇÃO

A simplificação da história no processo educacional do conhecimento científico e tecnológico não passou despercebida do filósofo da ciência Thomas Kuhn quando analisava a paradigmas consolidados na estrutura das revoluções científicas:

*Deste modo, os manuais começam truncando a compreensão do cientista a respeito da história e de sua própria disciplina e em seguida fornecem um substituto para aquilo que eliminaram. É característica dos manuais científicos conterem apenas um pouco de história, seja um capítulo introdutório, seja, como acontece mais frequentemente, em referências dispersas aos grandes heróis de uma época anterior. Através dessas referências, tanto os estudantes quanto os profissionais sentem-se participando de uma longa tradição histórica. Contudo, a tradição derivada dos manuais, da qual os cientistas sentem-se participantes, jamais existiu. Por razões ao mesmo tempo óbvias e muito funcionais, os manuais científicos (e muitas das antigas histórias da ciência) referem-se somente àquelas partes do trabalho de antigos cientistas que podem facilmente ser consideradas como contribuições ao enunciado e a solução dos problemas apresentados pelo paradigma dos manuais. (Kuhn. 1962).*

Um exemplo das conseqüências desse enfoque histórico formatado pelos livros texto é o desconhecimento geral (professores e alunos) sobre os sistemas de comunicação sem fio que surgem como conseqüência da consolidação da teoria de Maxwell propiciada pela prova experimental de Hertz. Como eram convertidos ao espaço livre, e posteriormente detectados, os sinais nos sistemas de telégrafo sem fio (atribuídos a Marconi) numa época onde não havia teoria de antenas, semicondutores, dispositivos termo-iônicos (válvulas) ou qualquer coisa do gênero? Como eram operados sistemas comerciais transatlânticos, com alcance muito além dos protótipos de demonstração em laboratório como o do Hertz, sem absolutamente nenhum auxílio de teoria de antenas e de propagação e de dispositivos eletro-eletrônicos que conhecemos hoje? Quantos professores e pesquisadores de eletromagnetismo e sistemas de comunicação conhecem um dispositivo denominado “*coherer*” que foi fundamental na viabilização dos primeiros sistemas comerciais?

A orientação recente do ensino de engenharia excessivamente voltado às tecnologias mais recentes pode ser uma estratégia problemática por limitar a visão dos alunos a uma versão extremamente simplificada; quase uma “ficção científica”. A própria consolidação da teoria eletromagnética não foi um caminho linear como apresentam os livros texto.

*The evolution of (Maxwell theory) in the year after Maxwell's death provides a striking example of a process quite common in science, as in other fields of intellectual endeavor. Scientific theories rarely spring fully formed from the mind of one person; a theory is likely to be so refined and reinterpreted by latter thinkers that by the time it is codified and passes into general circulation, it often bears little resemblance to the form in which it was first propounded. (Hunt, 1991)*

Embora o crédito de parte das equações seja dado a outros heróis (e.g., Faraday e Ámpère), o conjunto de equações atribuído a Maxwell na realidade sofreram contribuições fundamentais de desconhecidos como Oliver Heaviside para atingir a forma atual que encontramos nos livros. Mais ainda, personagens como George F. FitzGerald e Oliver Lodge explorando a geração e detecção de ondas eletromagnéticas.

Além da teoria em si, idéias para serem aceitas enfrentam outros obstáculos ainda mais difíceis. Intensos debates entre os engenheiros (com formação prática) e teóricos que defendiam as idéias (ainda não comprovadas experimentalmente) de Maxwell. Os primeiros atuavam corriqueiramente com procedimentos bem aceitos entre seus pares em áreas de geração e distribuição de energia (de corrente contínua), dimensionamento de proteção contra descargas elétricas atmosféricas (aterramento e pára-raios) e linhas telegráficas. Em contraste, os teóricos apenas tinham a oferecer equacionamentos com ferramental matemático fora da compreensão da maioria dos engenheiros e argumentos de difícil verificação experimental com os aparatos da época. Hoje em dia com a teoria eletromagnética estabelecida (um paradigma, na visão de Kuhn), temos um natural afastamento das origens do conhecimento, da turbulência de sua fase pré-paradigmática. Do ponto de vista da formação dos novos engenheiros tal afastamento é aceitável se encararmos a educação de um ponto de vista funcional. Afinal, o sistema de formação deve ser também de algum modo pragmático e eficiente, como também observado por Kuhn.

*Dada a confiança em seus paradigmas, que torna essa técnica educacional possível, e poucos cientistas gostariam de modificá-la. Por que deveria o estudante de física ler, por exemplo, as obras de Newton, Faraday, Einstein, ou Schrödinger, se tudo que ele necessita saber acerca desses trabalhos está recapitulado de uma forma mais breve, mais precisa e mais sistemática em diversos manuais atualizados? (Kuhn. 1962)*

Todavia, se consideramos o processo de formação nas Universidades como algo além de seu caráter meramente funcional, estamos falhando por não apresentarmos essa visão complexa e conflituosa da evolução das ciências e das tecnologias. Não apenas a formação ideológica é prejudicada, mas também por não apresentarem um pensamento límpido, preciso e direto como os dos heróis e suas teorias dos livros textos, muitos alunos se acham incapazes de dar alguma contribuição científica. O papel da tentativa e erro, da persistência, da intuição no desenvolvimento das comunicações sem fio são características que suplantaram as expectativas teóricas pessimistas dos melhores cientistas da época.

A poucos experimentos (prática) em favor de várias horas de aula expositiva e de exercícios (teoria) têm caracterizado o ensino de eletromagnetismo. Iniciativas que dêem ao aluno a possibilidade de experimentar livremente (não em kits didáticos com experimentos pré-moldados) as dificuldades dos pioneiros da área, exercitar a tentativa e erro, associar conceitos teóricos à prática podem ajudar a despertar uma visão mais integrada no processo de aprendizagem. O protótipo que propomos neste artigo reproduz os princípios de sistemas demonstrados inicialmente por Oliver Lodge (em 1894) como mera curiosidade acadêmica. Sua aplicação comercial surge quando Guglielmo Marconi apresenta um sistema semelhante a William Preece, engenheiro chefe dos correios e telégrafos britânico, em 1896. Curiosamente, Preece também esteve bastante envolvido no debate teoria vs. prática citado acima resistindo ao lado dos práticos às investidas dos teóricos defensores de Maxwell.

### **3. TEORIA VS. PRÁTICA**

O debate sobre enfoque teóricos e práticos no ensino não é recente. Suas bases certamente encontram-se na epistemologia, na disputa racionalismo vs. empirismo. O objetivo dessa seção é apresentar brevemente as reviravoltas históricas do prestígio de cada uma das vertentes citadas acima, cobrindo um período de apenas 20 anos, mas que foi fundamental na consolidação do eletromagnetismo não apenas como ciência acadêmica, mas também como tecnologia de serviço e de consumo na figura de sistemas de comunicação sem fio.

O embate entre teóricos e práticos foi uma briga ideológica acirrada iniciada no Reino Unido entre os seguidores de Maxwell e os engenheiros práticos e conservadores na década de 1880. Do lado dos teóricos estavam nomes como: Poynting, FitzGerald, Lodge e Heaviside, conhecidos na época como os “Maxwellians”, porque deram continuidade aos trabalhos de Maxwell. E do lado dos práticos: expoentes como Preece, chefe do governo britânico em serviços de telégrafos e até mesmo de forma indireta Thomas Edison (do outro lado do atlântico).

#### **3.1 A vitória da teoria nas origens do eletromagnetismo**

Em 1873, Maxwell publicou “O Tratado da Eletricidade e do Magnetismo”, um estudo geral sobre a teoria eletromagnética. Seis anos depois ele morre deixando o trabalho com muitas lacunas e pontos obscuros. Para demonstrar a sua tendência ao racionalismo, nem cogitando qualquer possibilidade de técnica experimental para demonstração da existência de ondas, citamos a última sentença do volume dois do seu tratado mencionado acima:

*Hence all these theories lead to the conception of a medium in which the propagation takes place, and if we admit this medium as an hypothesis, I think it ought to occupy a prominent place in our investigations, and that we ought to endeavour to construct a*

*mental representation of all the details of its action, and this has been my constant aim in this treatise.* (HUNT, 1991)

No mesmo ano da sua morte, os teóricos começam a trabalhar sobre a sua teoria. Heaviside, em particular, usando métodos operacionais e estudo vetorial de sua própria autoria, lançou a Teoria de Maxwell nas quatro equações que estudamos hoje. Esse estudo formalizado revelou a possibilidade de uma ampla utilização prática para a teoria eletromagnética, provocando uma comoção contrária por parte dos engenheiros da época, que viram seu controle sobre o desenvolvimento tecnológico ameaçado em suas bases.

Os teóricos tiveram imensas dificuldades em divulgar seu trabalho, por causa das ações contrárias, e não muito éticas, de Preece, que sendo um funcionário do alto escalão do governo britânico, exercia influência para impedir difusão dos trabalhos dos continuadores do trabalho de Maxwell. Foi somente quando Hertz, em 1888, desenvolveu o “Ressonador”, uma máquina capaz de detectar as ondas eletromagnéticas no espaço livre (visualizando-se centelhas elétricas numa antena receptora), que os teóricos finalmente tiveram uma evidência concreta de que seus estudos estavam corretos. A experiência de Hertz foi o marco da vitória dos teóricos. É bom lembrar que até então todas as proposições dos “Maxwellians” eram estritamente teóricas e, por isso, gozando de pouco crédito entre os engenheiros com formação prática da época.

Depois disso, os estudos teóricos do eletromagnetismo começaram a abrir caminho para a aplicação em áreas básicas como teoria de circuitos, linhas de transmissão e sistemas de comunicação. Com o tempo, os práticos não poderiam mais ignorar os estudos e as novas aplicações da teoria de Maxwell, as velhas regras práticas que utilizavam começavam a falhar em comparação com os resultados da nova teoria na resolução de problemas antigos. Um exemplo disso foi o estudo feito por Lodge sobre pára-raios. Tal estudo trazia uma contribuição fundamental a uma área de competência que os práticos diziam dominar plenamente em função do número de tais dispositivos que foram instalados sob sua responsabilidade. Lodge afirmara que o parâmetro que mais importava para a eficiência do equipamento era a reatância indutiva (conhecida na época pelos teóricos como auto-indutância) dos cabos de aterramento e não a sua resistividade como acreditavam os práticos como é explicado por HUNT (1983). Os ganhos objetivos para análise das linhas telegráficas de longa distância foram também significativos, minando outro nicho de trabalho dos engenheiros práticos que não conseguiam explicar determinados fenômenos observados em tais sistemas. Talvez um sinal claro da vitória seja um representante dos práticos do porte de Thomas Edison, apesar de seus inúmeros feitos práticos, admitir em 1892, logo após uma grande jornada de trabalho contra a corrente alternada, que ele “verdadeiramente não sabia de nada sobre eletricidade” (HUNT, 1983).

### **3.2 A prática contra-ataca: Marconi e o telégrafo sem fio**

Em 1894, ano do falecimento de Hertz, o jovem italiano Guglielmo Marconi ficou sabendo de seu trabalho em transmissão de ondas eletromagnéticas exatamente por seu obituário. Marconi tinha o típico perfil de um prático. Este fato pôde ser comprovado quando ele começou seus experimentos para a construção de um aparelho de telégrafo sem fio inspirado pelos experimentos de Hertz. Quando os testes não correspondiam da maneira prevista, ele mudava parâmetros do protótipo sem qualquer base teórica, tudo era feito por instinto, no método da tentativa e erro sem qualquer fundamentação teórica. Certa vez quando ele não conseguia aumentar a distância de transmissão do equipamento, Marconi achou que o problema estava na recepção, pois considerava a magnitude da faísca bem satisfatória. Então ele começou a fazer diversas combinações de diferentes tipos de metais, em diferentes

concentrações para a construção de seu “*coherer*” (esse dispositivo será mais bem descrito posteriormente) durante semanas até que um dia chegou a uma composição que ele considerava ideal: noventa e cinco por cento de níquel e cinco por cento de prata com traços de mercúrio. (LARSON, 2007)

Na verdade Oliver Lodge já havia demonstrado a viabilidade da telegrafia sem fio já em 1894 utilizando exatamente o “*coherer*” no lugar do ressonador de Hertz. Mas foi apenas uma demonstração acadêmica na Royal Society. Todavia não percebia a utilidade prática desse aparato. Chegou até a prever (sem provas) que a máxima distância de comunicação por meio de ondas eletromagnéticas seria de oitocentos metros:

*One may also fairly consider Lodge the father of the idea of telegraphing with electric rays and such tubes; but he fixes as the farthest distance that can be reached one half an English mile (eight hundred meters), without ever having given any practical proof of the theory.* (SLABY, 1898)

Marconi avançava cada vez mais com a distância em seus experimentos, quando ainda na Itália, ignorando as estimativas de Lodge. Estes avanços não eram impulsionados nem por seus estudos formais tampouco baseados em estudos de outros cientistas. Um fato que caracteriza tal situação aconteceu quando, intuitivamente, ele levantou um dos cabos que eram utilizados como antena e conseguiu atingir distâncias de transmissão muito superiores às que ele já havia conseguido. Quando o alcance do seu sistema excedeu 1500 metros (sem linha de visada), considerou hora de tentar comercializar o seu invento; o que o levou à Londres ao encontro de influentes familiares de sua mãe (que era Irlandesa). Na capital britânica, Marconi iniciou negociações com o governo através de um dos nossos personagens da batalha entre teoria e prática: William Preece que ainda era engenheiro chefe dos correios e telégrafos britânico, em 1896. Tal negociação não progride e Marconi resolve fundar a própria companhia (The Wireless Telegraph and Signal Company Ltd.) com auxílio de capital captado por seus parentes como menciona LARSON (2007).

Por não ter qualquer formação teórica, Marconi representou o ressurgimento dos práticos no cenário da discussão teoria vs. prática. O que interessava agora era a exploração das aplicações comerciais das ondas eletromagnéticas, em particular a telegrafia sem fio. Foi assim que Marconi, utilizando-se de persistência, capital, rede de influências, marketing e uma boa dose de intuição, lançou a era da comunicação sem fio, indo contra as previsões dos teóricos. Muitos dos teóricos se lançaram nessa onda comercial, incluindo Oliver Lodge.

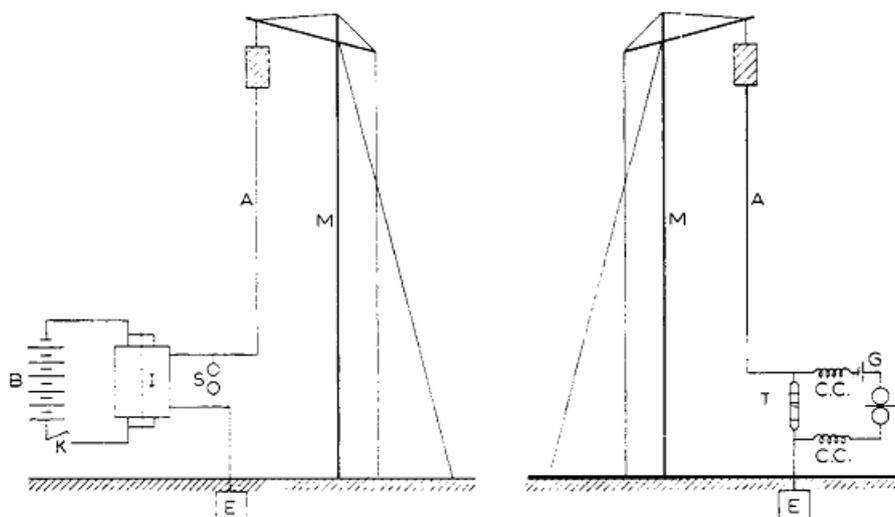
### **3.3 A teoria encontra a prática: a sintonia, o aumento de potência e a propagação ionosférica**

“The Wireless Telegraph and Signal Company Ltd.” fazia progressos em recordes de distância e a existência de múltiplas estações exigiu a sintonia de transmissores e receptores. Lodge já havia conseguido demonstrar em 1889 o primeiro sintonizador, com pedido de patente em 1897. Marconi, por tentativa e erro mais uma vez, desenvolve o seu próprio sistema em 1898 (Thrower, 1995). Mas fatos novos eram necessários para chamar a atenção do público e dar mais visibilidade ao seu invento (e sua companhia). Marconi decide tentar um experimento impensável: uma transmissão telegráfica transatlântica. Sua intuição, seguindo uma lógica linear, foi aumentar absurdamente a potência e dimensões das antenas seguindo os sucessos suas experiências prévias. Do ponto de vista teórico mais uma vez ele ia contra o saber estabelecido. Até aquela época, acreditava-se que a onda eletromagnética deveria propagar em linha reta, como a luz, e, portanto, não alcançaria receptores além da linha do horizonte.

*At the time (twelve years ago) when communication was first established by means of radiotelegraphy between England and France, much discussion and speculation took place as to whether or not wireless telegraphy would be practicable for much longer distances than those then covered, and a somewhat general opinion prevailed that the curvature of the Earth would be an insurmountable obstacle to long distance transmission, in the same way as it was, and is, an obstacle to signaling over considerable distances by means of light flashes. (Marconi, 1909)*

Com o novo objetivo de fazer uma transmissão transatlântica, Marconi necessitou construir estações transmissoras mais potentes do que aquelas que ele dispunha até aquele momento. Como ele não tinha conhecimento para projetar tanto os geradores, quanto as instalações das novas estações, contratou John Ambrose Fleming, professor do University College em Londres, como consultor técnico da sua companhia. As novas estações construídas e projetadas sob o comando de Fleming tinham geradores capazes de produzir uma potência de até 75.000 Watts em Glace Bay (E.U.A) e 25.000 Watts em Poldhu (Reino Unido). Fleming passa a fazer parte da equipe da Companhia, completando não só com seu conhecimento teórico a lacuna de formação de Marconi, mas também trazendo credibilidade à Empresa.

As antenas que Marconi projetava para as suas estações eram frutos de seu instinto sobre o comportamento das ondas hertzianas. Elas tinham as mais inusitadas configurações, mas uma coisa em comum: o tamanho. Marconi constatou, através das suas experiências, que quanto maior a altura das antenas suspensas por mastros, maior seria a distância de transmissão. Além disso, em agosto de 1895 descobriu que se uma das terminações do transmissor e uma do receptor fossem conectadas ao terra, como ilustrado na figura (1), a transmissão parecia ficar independente do fato da existência ou não da linha de visada. Posteriormente, Marconi chega até a desenvolver antenas direcionais em 1905 sem ajuda de base teórica, e pela primeira vez na área de antenas, a teoria encontra a prática. Fleming publica em 1906 um modelo para explicar o funcionamento dessas antenas direcionais (FLEMING, 1906). Entretanto, o projeto de antenas seguiu majoritariamente procedimentos empíricos até meados da década de 1920 OLVER (1995).



**Figura 1 – Antenas sugeridas por Marconi com aterramento**

Um fato marcante foi o sucesso da comunicação transatlântica contra as expectativas teóricas ainda em 1901. A teoria de propagação era ainda muito incipiente na época, mesmo quando Marconi recebeu o Prêmio Nobel em Física em 1909 seus comentários para a explicação dos fenômenos físicos que permitiam a comunicação entre os continentes são ainda meras especulações. O grande mistério era a influência do sol nas transmissões diurnas como disse MARCONI (1909). Porém, Heaviside em 1902 já havia levantado a hipótese da existência de uma camada na atmosfera que poderia refletir as ondas hertzianas pela presença de elétrons livres. Os estudos feitos sobre a reflexão de ondas eletromagnéticas através da ionosfera só confirmados na década em meados da década de 1920.

Curiosamente outro teórico Oliver Lodge numa publicação em 1902 propõe uma explicação de uma camada ionizada que faria a obstrução da passagem de ondas eletromagnéticas durante o dia e descreve com detalhes inclusive da influência da radiação ultravioleta:

*Mr. Marconi's Results in Day and Night Wireless Telegraphy. I can assure Prof. Joly that his explanation will not do. The observed effect, which if confirmed is very interesting, seems to me to be due to the conductivity, and consequent partial opacity, of air, under the influence of ultra-violet solar radiation. No doubt electrons must be given off from matter (dust as well as other matter) in the solar beams; and the presence of these will convert the atmosphere into a feeble conductor. (LODGE, 1902)*

#### **4. A PRÁTICA AINDA SEM UMA TEORIA ESTABELECIDADA: O COHERER**

Édouard Eugène Désiré Branly (1844-1940), físico francês, foi o primeiro cientista a estudar os fenômenos que mais tarde seriam a base de funcionamento do “*coherer*”. Em 1890, observando a mudança de resistividade em filmes metálicos finos devido a centelhas elétricas, Branly decidiu estudar o fenômeno. Eventualmente ele chegou a um encapsulamento de pó metálico, nomeado por ele de “radiocondutor”, que quando conectado a um circuito elétrico oferecia uma grande resistência à circulação de corrente elétrica. Porém, ao ser exposto às ondas eletromagnéticas geradas pelo centelhador, essa resistência era extremamente reduzida. Esse efeito de condutividade somente era desfeito com uma perturbação mecânica no tubo, que então voltava a apresentar grande resistência elétrica. Porém, Branly nunca chegou a usar seu invento na transmissão sem fio, simplesmente porque sua linha de pesquisa seguia um rumo diferente, em direção à área médica, formação que Branly também possuía PEREIRA (2006).

O “*coherer*” foi o primeiro dispositivo capaz de captar ondas eletromagnéticas com uma aplicação em circuitos elétricos. Antes dele, Hertz já havia desenvolvido uma antena capaz de captar as ondas, chamado ressonador, porém essa antena não passava de um aro metálico com uma pequena falha, onde se podia ver pequenos arcos voltaicos quando as ondas eletromagnéticas induziam uma tensão na estrutura condutora. Porém, as características estruturais e eletromagnéticas da antena de Hertz não davam margem a uma aplicação prática.

Em contrapartida, o “*coherer*” exibia uma característica extremamente útil em circuitos elétricos, sua resistência elétrica era drasticamente reduzida quando captava uma onda, agindo como uma chave no circuito em que estava conectado. Foi, portanto, o “*coherer*” que possibilitou o avanço tecnológico nos circuitos de transmissão e recepção de comunicação sem fio.

Mas no decorrer de suas experiências, Marconi percebeu que o “*coherer*” era um dispositivo instável, ora detectava os sinais a mais de 10 metros e ora nem a 10 centímetros e também apresentava dificuldades para a detecção de sinais contínuos, como formas de onda.

Diversas teorias são propostas para explicar o fenômeno do princípio de funcionamento do “*coherer*”. Alguns autores dizem que poucos elétrons começam a circular pelos grânulos

do metal que compõe o dispositivo e essa corrente resulta num efeito Joule, que conseqüentemente, “solda” os grânulos fazendo com que os elétrons tenham um caminho com o comportamento de um condutor PEREIRA (2006). Em 1903 o “*coherer*” foi substituído pelo detector magnético, um equipamento mais sensível que consistia numa tira de ferro-mole em movimento contínuo, que estava ligada a dois enrolamentos. O primeiro enrolamento, da antena, captava a onda eletromagnética que gerava um campo magnético e variava o magnetismo na fita. Essa variação de magnetismo induzia uma corrente no segundo enrolamento, que ligado a um fone de ouvido, produzia sons de acordo com o sinal recebido. Eventualmente o próprio detector magnético foi substituído pelo cristal, e mais tarde pela válvula (MARCONICALLING)

## 5. PROPOSTA DE PROTÓTIPO

Os alunos nos períodos de engenharia muitas vezes não conseguem relacionar, ou sequer imaginar, uma aplicação prática para a teoria ensinada em sala de aula ou pelos livros texto. Este problema começa quando um determinado assunto é ensinado sem uma contextualização, sem contar, ao menos, o motivo, ou a necessidade que gerou a elaboração de tal teoria. Em outros momentos as experiências propostas para a comprovação da teoria não estimulam ou não despertam a atenção do aluno a fazer uma ligação entre a teoria e a prática. Por outro lado, os enfoques baseados em roteiros de experiência acabam por não estimular os alunos ao questionamento dos dados obtidos com os resultados esperados via análise teórica. E se a experiência, ou o protótipo montado não corresponde ao esperado, os alunos logo pedem a ajuda do professor, não têm a perspicácia e nem a liberdade de utilizar estratégias de tentativa e erro, tão essenciais ao desenvolvimento das comunicações sem fio.

Para cumprir a proposta de estudo, nosso protótipo foi construído com os mesmos fundamentos utilizados por Marconi na época da origem da comunicação sem fio. Montamos um circuito de recepção, no qual o “*coherer*” funciona como uma chave, e um circuito de transmissão gera a onda eletromagnética por centelhamento. O “*coherer*” foi confeccionado limando-se uma pequena placa de aço inoxidável e confinando o pó num tubo de vidro (de fusível) com contatos nas pontas. Resultados melhores foram obtidos com terminais inseridos dentro da limalha para a redução da quantidade de grânulos e, portanto, aumento da sensibilidade do receptor. A tensão de condução do “*coherer*” foi de aproximadamente 13 volts, assim este foi polarizado com 9 Volts e uma antena dipolo de aproximadamente 3 m foi conectada em paralelo com o “*coherer*” e fornecia o restante da tensão necessária toda vez que uma centelha era produzida. Valores superiores de polarização tornavam o “*coherer*” muito sensível a ruídos eletromagnéticos de outras fontes, levando-o ao estado de condução freqüentemente sem que uma centelha fosse gerada no transmissor. A centelha foi conseguida no transmissor através da variação súbita de corrente em três indutores colocados em série. Cada indutor possui uma indutância de cerca de 100 mH e em paralelo com o interruptor uma antena dipolo com aproximadamente 3 metros foi conectada para emissão das ondas eletromagnéticas.

Um relé é acionado pelo “*coherer*”, como mostra o esquemático da figura (2), quando este fechava os seus contatos normalmente aberto (NA), acionava uma campainha ligada à rede elétrica. A bobina da campainha foi adaptada para emitir o sinal sonoro e perturbar mecanicamente, pela atração do êmbolo pela bobina, o “*coherer*”, fazendo com que ele perdesse a sua característica de condução. Isso restaura o receptor para uma nova transmissão. Cada sinal sonoro emitido pela campainha indicava a captação da onda eletromagnética emitida pela centelha.

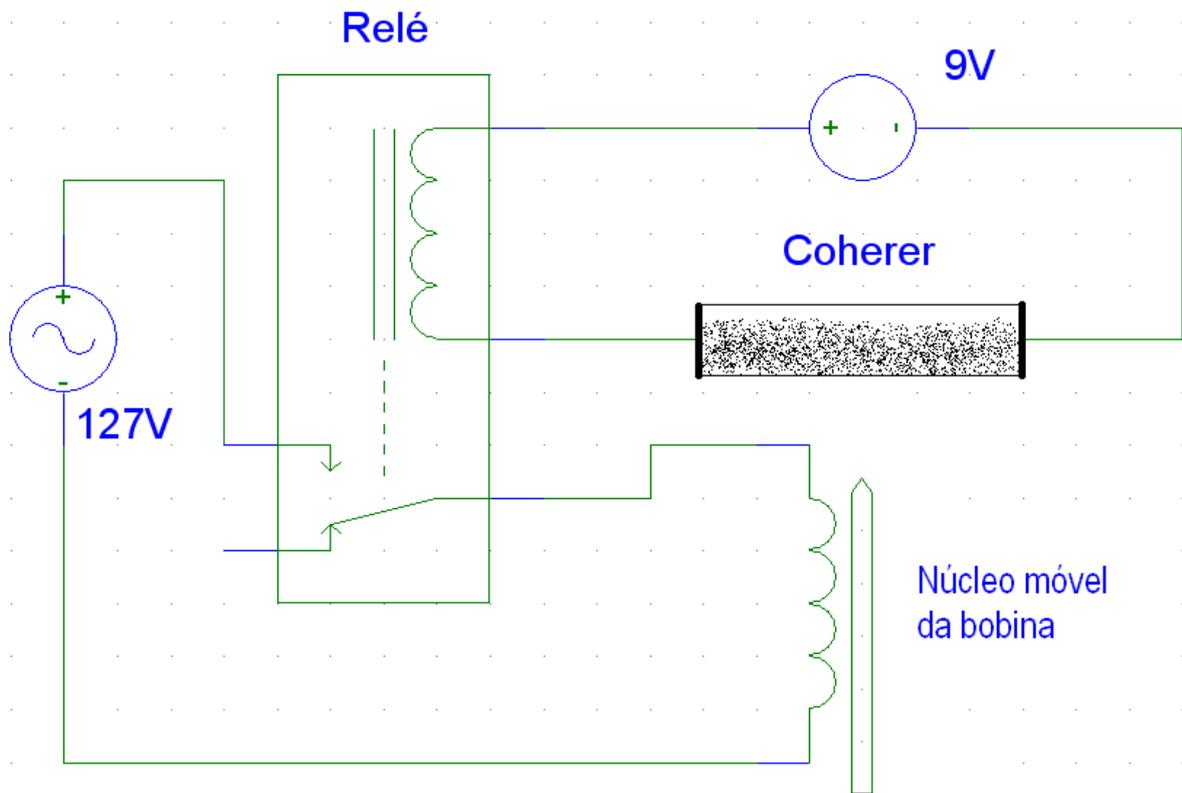


Figura 1 – Esquemático do circuito receptor

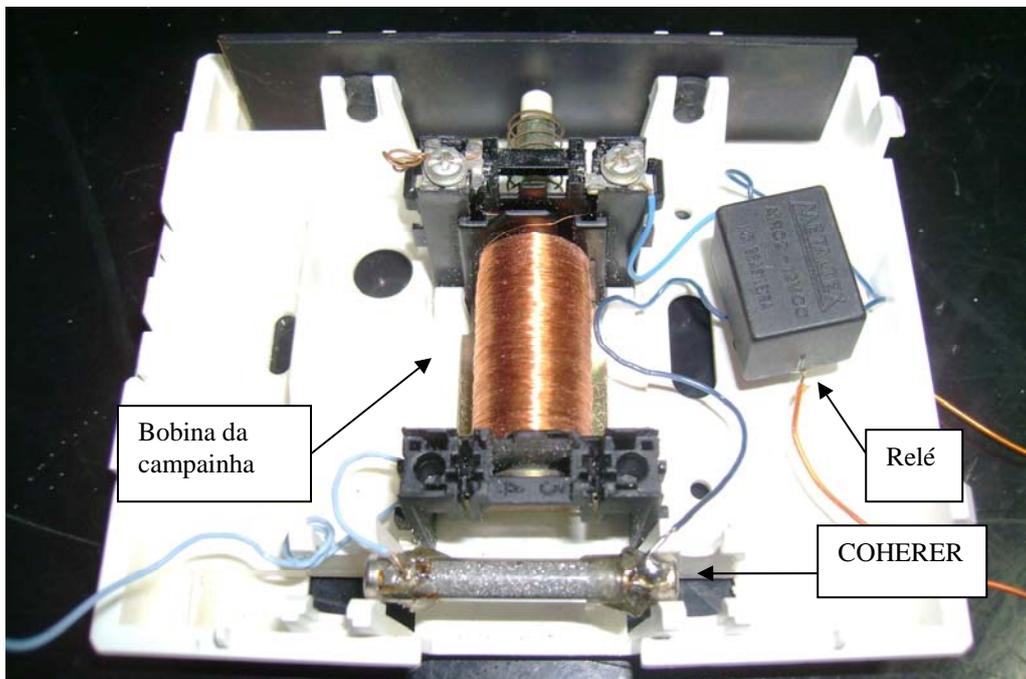


Figura 2 – Sistema receptor: o “coherer” e o sistema perturbador

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como aconteceu com Marconi, o protótipo implementado também se comportou com muita instabilidade para estabelecer uma comunicação entre os dois pontos. Dentro do laboratório conseguimos alcançar distância que chegava a 3 metros e uma taxa de 5% de erro na detecção das transmissões. Mas num lugar mais aberto, como em corredores, por vezes não conseguimos nem 10 centímetros de distância entre o receptor e o transmissor em virtude da falta de aterramento para as antenas. Um projeto para a construção deste protótipo pode ser sugerido para as disciplinas de eletromagnetismo, não só de introdução, mas também antenas e propagação. Pode-se implementar um melhor sistema de antenas para o protótipo e assim aumentar cada vez mais a distância de transmissão, sintonia e demais evoluções descritas por Marconi. Concursos de engenhosidade podem se basear neste tipo de protótipo de baixo custo pra incentivar o gosto pela história das tecnologias nos alunos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FLEMING, J. A. A Note on the Theory of Directive Antennae or Unsymmetrical Hertzian Oscillators. **Proceedings of the Royal Society of London**. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, Vol. 78, n 521, p. 1-8, 1906.

HUNT, B. J. Practice vs. Theory. **Isis**. The University of Chicago Press. Vol. 74, n. 3, p. 341-355, 1983.

HUNT, B. J. **The Maxwellians**. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1991.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2007.

LARSON, E. **Fulminado por um raio**. Rio de Janeiro: Record, 2007.

MARCONI, G. Wireless Telegraphic Communication. In: NOBEL LECTURE, 1909, Estocolmo.

OLVER, A. D. Trends in antenna design over 100 years. **100 years of radio**. London, 5-7, p. 83-88, 1995.

PEREIRA, Martha C. V. **Relatório Final da disciplina Instrumentação para Ensino**. Instituto de física Gleb Wataghin. Universidade Estadual de Campinas, 2006.

SLABY, A. The new telegraphy. **The Century Magazine**. p. 867-874, 1898

THROWER, K. R. History of tuning. **100 years of radio**. London, 5-7, p. 107-113, 1995.

WILSON J. W. (Org.). **ARRL handbook for the radio amateur**. Newington: American Radio Relay League, 1986.

MARCONICALLING disponível em <<http://www.marconicalling.com/introisting.htm>> acessado em 30/06/2008.

# **THE DEBATE THEORY VS. PRACTICE: FROM THE ORIGINS OF ELECTROMAGNETISM TO THE MODERN ENGINEERING EDUCATION**

***Abstract:** Engineering education faces the dilemma of theory vs. practice on the discipline program reformulation. Moreover, new technologies may put aside historical development. It is shown in this article that trial and error played a fundamental role in the development of the first wireless communication systems. This contrasts with the present form of theory-oriented programs of electromagnetism disciplines. The discussion about the roots of the contend “theory vs. practice”, which has been erased from text books on electromagnetism, is also presented. Finally, it is presented a prototype based on the “coherer”, the key invention that made possible the first wireless transmission systems. The aim is that this low-cost system could serve as: i) a motivation for students to investigate historical aspects of technological developments, and ii) a framework for trial and error in the electromagnetism course.*

***Key-words:** electromagnetism history, theory vs. practice, wireless systems, “coherer”*