

## FAÇA VOCÊ MESMO: PRODUÇÃO E DETECÇÃO DE PULSOS ELETROMAGNÉTICOS<sup>++</sup>

---

*Dario Eberhardt*

Centro de Ciências Exatas, da Natureza e de Tecnologia  
Universidade de Caxias do Sul  
Bento Gonçalves – RS

*Odilon Giovannini*

*Francisco Catelli*

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia  
Universidade de Caxias do Sul  
Caxias do Sul – RS

### **Resumo**

*São descritos os detalhes da montagem de um dispositivo elétrico de produção e detecção de pulsos eletromagnéticos. Inicialmente, é apresentado um breve apanhado histórico dos experimentos pioneiros de Hertz com pulsos eletromagnéticos. Em seguida, é descrito o material para a montagem de um dispositivo similar, com materiais atuais e, então, são propostos experimentos que evidenciam a polarização dos pulsos produzidos; também é apresentada uma alteração no dispositivo de recepção do sinal eletromagnético (uma antena) que possibilita a recepção do sinal em distâncias maiores. Finalmente, a aplicação do dispositivo no contexto do ensino médio é discutida.*

**Palavras-chave:** *Ensino de Física. Pulsos eletromagnéticos. Produção e recepção de sinais eletromagnéticos.*

---

<sup>+</sup> Do it yourself: emission and receiving of electromagnetic pulses

<sup>\*</sup> *Recebido: julho de 2012.  
Aceito: outubro de 2012.*

## Abstract

*This work describes the assembly of an electrical device for production and detection of electromagnetic pulses. Initially, we present a brief historical overview of the pioneering experiments using electromagnetic pulses performed by Hertz. The materials needed for assembling the device are described and then some experiments are proposed to show the polarization of the pulses produced. A modification in the receiving device allows the capture of the electromagnetic signal over great distances. Finally, applications of this device in the High School level are discussed.*

**Keywords:** *Physics teaching. Electromagnetic pulses. Emission and receiving of electromagnetic signals.*

## I. Introdução

Michael Faraday, por volta de 1820, e depois James C. Maxwell, com sua complementação da lei de Ampère, estabeleceram uma relação de importância decisiva no eletromagnetismo: a um campo elétrico variável estará associado um campo magnético variável, e vice versa (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, p. 309 e seguintes). Maxwell, entre 1861 e 1862, completando um trabalho iniciado em 1855, dois anos após ter concluído sua graduação (KNIGHT, 2009, p. 1062) apresentou suas agora famosas quatro equações, classificando a luz como uma onda eletromagnética. Essa era, para a época, uma previsão bastante ousada, a tal ponto que a Academia de Ciências de Berlim, em 1867, ofereceu um prêmio a quem conseguisse demonstrar experimentalmente a existência destas ondas eletromagnéticas. Doze anos depois, em 1879, Heinrich Hertz consegue completar a proeza, e recebe o prêmio.

Um dos dispositivos originalmente concebidos por Hertz<sup>1</sup> consistia basicamente de um solenóide, cujos extremos eram conectados a um gerador (conhecido como “bobina de Ruhmkorff”), o qual produzia periodicamente descargas elé-

---

<sup>1</sup>Veja, por exemplo,

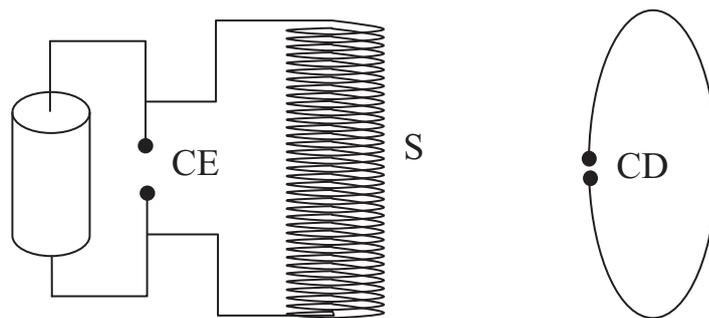
<[http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu\\_lectures/lecture6/hertz/Hertz\\_exp.html](http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture6/hertz/Hertz_exp.html)>

Em Português, veja, por exemplo,

<[http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/nota\\_historica/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/nota_historica/)>. Veja também

<[http://www.feiradeciencias.com.br/sala03/03\\_01.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala03/03_01.asp)>. Acessos em: 25 jul. 2012.

tricas através do ar, na região dos extremos do solenóide (ver a representação esquemática na Fig. 1). Estas descargas elétricas estavam associadas a pulsos de corrente elétrica na bobina, os quais, por sua vez, geravam campos magnéticos variáveis no tempo. Ora, a lei da Indução de Faraday prevê que, nestas condições, aparece um campo elétrico variável, associado ao campo magnético (que também varia no tempo): este “pulso” eletromagnético se propaga então pelo espaço. Mas, à época em que Hertz realizou este experimento, não havia meios de detectar à distância este pulso, cuja existência não era nem mesmo reconhecida. Hertz concebeu então um detector, que consistia simplesmente de uma espira aberta, com seus terminais próximos um do outro. Em condições controladas, para cada pulso produzido no sistema gerador, aparecia uma faísca entre os terminais do receptor, colocado a certa distância. Era uma primeira evidência experimental da existência de ondas eletromagnéticas. Hertz mostrou também que estas ondas eram polarizadas, se refletiam em obstáculos e eram refratadas, exibindo assim um comportamento nitidamente ondulatório.



*Fig. 1 – Representação esquemática simplificada de um dos dispositivos de Hertz para a geração e detecção de ondas eletromagnéticas. O cilindro à esquerda representa uma “bobina de Ruhmkorff” (outros elementos, como um capacitor da época, uma “garrafa de Leyden”, não foram representados; ver a nota 1). Este dispositivo, que produz periodicamente picos de tensão de grande intensidade, é acoplado a um solenóide S; o conjunto constitui o circuito emissor CE. O circuito detector (CD, na figura) é constituído de uma espira aberta, nas extremidades da qual duas esferas metálicas são colocadas a uma distância bastante pequena uma da outra.*

## II. O dispositivo de produção e detecção de pulsos eletromagnéticos

Seria possível repetir hoje a proeza de Hertz, com materiais que possam ser encontrados / fabricados facilmente? Mais: seria possível fazer isso de maneira que o fato de se tratarem de ondas eletromagnéticas fique estabelecido de maneira aceitável, no contexto do ensino médio<sup>2</sup> (GASPAR, 2000; MÁXIMO; ALVARENGA, 1997)? A resposta é, por certo, afirmativa; são apresentadas a seguir duas versões de dispositivos que atendem a estes requisitos. Tomando a Fig. 1 como ponto de partida, a bobina de Ruhmkorff será substituída por uma bateria de 6 V (ou quatro pilhas “C”), um alto-falante ou um fone de ouvido farão o papel de detector (em vez das faíscas nos terminais da espira aberta). Será apresentada a seguir uma primeira montagem na qual são empregadas bobinas de um dispositivo didático<sup>3</sup> para o estudo de transformadores. No dispositivo empregado nesta primeira montagem, cada uma das bobinas possui 500 espiras. Se este material não estiver disponível, há várias alternativas de (muito) baixo custo. Uma delas consiste no uso de transformadores, os quais podem ser obtidos na sucata de aparelhos fora de uso, como televisores, monitores, fontes de computadores, reatores de lâmpadas fluorescentes, entre outros. No caso de usar uma sucata de transformador, o núcleo de ferro deste deve ser retirado conservando os enrolamentos, cuidando para não danificá-los na desmontagem. Outra possibilidade é a de enrolar a mão, em suportes ociosos (cano de PVC, por exemplo) duas bobinas com várias centenas de voltas de fio, fino e munido de capa isolante (verniz ou capa isolante de polímero).

A montagem é muito simples, uma vez que os materiais descritos acima estejam disponíveis: o emissor consiste de uma bobina, nas extremidades da qual está conectada através de uma chave, em série, uma bateria (ver Fig. 2 e 3). Esta chave pode simplesmente consistir do toque repetido dos fios de conexão, de modo a fechar intermitentemente o circuito, ou de uma “régua” de contato, como sugerido na Fig. 4. Se desejado, uma lâmpada de 6 V pode ser também conectada em série, para evitar que a bateria fique (momentaneamente, a cada toque dos fios) em

---

<sup>2</sup> Diversos trabalhos, associados a leis de indução, com foco no Ensino Médio, foram publicados em periódicos da área; ver, por exemplo, HESSEL (1999) e CANALLE; MOURA, (1997).

<sup>3</sup> Trata-se, neste trabalho, do transformador didático do fabricante de equipamentos didáticos Leybold®: espira de 500 voltas, n. catálogo 562 14; espira de 5, 10 e 15 voltas, n. catálogo 562 18; núcleo em U, n. catálogo 562 11/12. Praticamente qualquer dispositivo similar (e há uma grande variedade deles nos laboratórios de Física) deverá servir.

curto circuito; sua vida útil será assim prolongada. Uma vantagem adicional do uso da lâmpada é a de que o brilho desta é uma evidência que o contato elétrico está de fato ocorrendo. O circuito emissor de pulsos eletromagnéticos está pronto.

O circuito detector (inspirado, como dito acima, no dispositivo de Hertz) consiste de uma segunda bobina idêntica, com algum tipo de sensor de corrente elétrica conectado entre seus terminais<sup>4</sup>. Seguindo o princípio da simplicidade e acessibilidade, foi escolhido um alto-falante; este transforma correntes elétricas variáveis em sinais sonoros; praticamente qualquer alto-falante disponível deverá funcionar. Na montagem feita pelos autores, uma pequena caixa de som de computador foi empregada.

### III. Resultados e discussão

Quando esta montagem é executada e manipulada pelos estudantes, uma verdadeira enxurrada de perguntas surge. “Como é que dá para saber que são mesmo ondas eletromagnéticas?” “Porque o som desaparece quando as bobinas estão cruzadas?” “Não dá para captar o sinal a distâncias maiores?” “Dá para transmitir música?” Estas são amostras de algumas das perguntas que surgem. Nos parágrafos que seguem, alguns dos conceitos físicos envolvidos nesta atividade serão explorados.

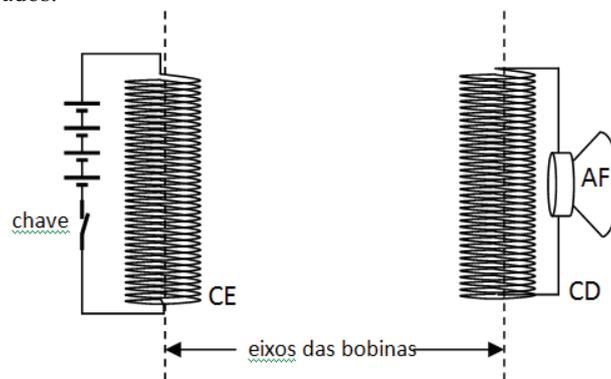
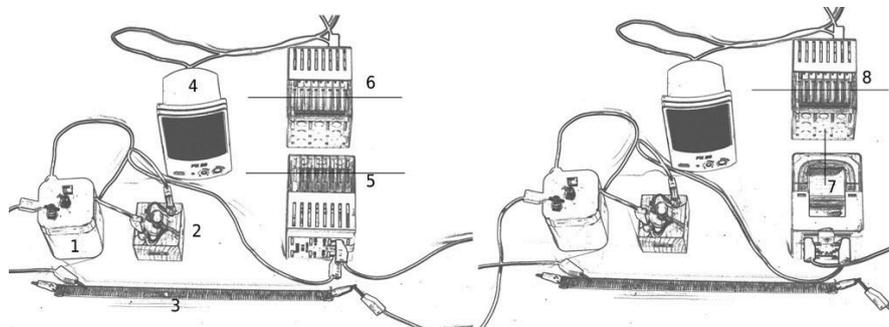
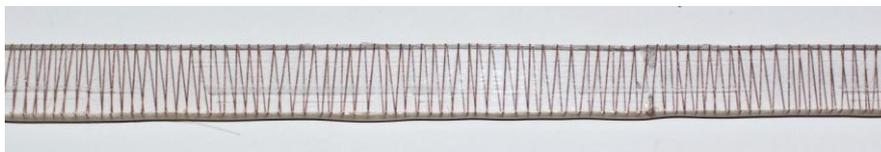


Fig. 2 – Diagrama esquemático do circuito emissor (CE) e do circuito detector de pulsos (CD). O dispositivo detector é um alto-falante (AF).

<sup>4</sup> Se houver a disponibilidade de um osciloscópio, ele também pode ser empregado como detector.



*Fig. 3 – Montagens realizadas. 1 – bateria de 6 V; 2 - lâmpada de 6 V; 3 - “régua” de contato intermitente; ver Fig. 4; 4- alto-falante; 5- enrolamento de 500 espiras, ao qual a bateria, a régua de contato e a lâmpada estão ligadas em série; 6- enrolamento de 500 espiras ao qual está ligado o alto-falante (note que o eixos dos enrolamentos 5 e 6, representados por linhas, são paralelos. Nestas condições, há sinal no alto-falante); 7 e 8 – agora os eixos dos enrolamentos estão perpendiculares entre si; nestas condições, o sinal no alto-falante torna-se inaudível.*



*Fig. 4 –Uma maneira prática de ligar e desligar: o contato é efetuado repetidamente deslizando o pino conector sobre a régua isolante (acrílico), na qual foi enrolado um fio de cobre desencapado. Esta régua pode ser substituída por uma lima ou por um parafuso longo.*

Há um fato que imediatamente salta aos olhos: o circuito emissor (CE) e o circuito detector (CD) **não** estão conectados eletricamente. E, mesmo assim, à ação de produzir um pulso elétrico no CE corresponderá a emissão simultânea de um som no alto-falante do CD. Algo se propagou de um circuito para o outro, e esta passagem não se deu através de nenhum fio!

Outra característica desta perturbação pode ser explorada (por comodidade, ela poderá ser chamada a partir de agora pela sua denominação usual: “pulso eletromagnético”). Trata-se da “polarização”: ver as duas montagens da Fig. 3 e suas representações esquemáticas, as Fig. 5 e 6. Na Fig. 5, a corrente elétrica, ao circular pela bobina do CE, provoca o surgimento de um campo magnético, variável no tempo; um “instantâneo” dele aparece nas Fig. 5 e 6, representado por linhas. (Incidentalmente, esta representação do campo magnético por linhas foi proposta originalmente por Faraday). Algumas destas linhas passam ao longo do eixo do núcleo oco da segunda bobina, que detecta o pulso. Isto já não ocorre na Fig. 3 (na montagem à direita) e sua representação esquemática, na Fig. 6; a consequência prática é a de que o som no alto-falante torna-se inaudível. A lei da indução de Faraday “dá conta” deste tipo de evento: sempre que um campo magnético varia, estabelece-se um campo elétrico, também variável (e vice versa). No caso específico aqui descrito, o campo magnético<sup>5</sup> produzido na bobina do CE induzirá, na bobina do CR, uma corrente, e é ela que será a responsável pelo “estalo” ouvido no alto-falante. Mas, se as linhas de campo magnético (variável) não passarem paralelamente ao eixo do núcleo oco da bobina do CD não haverá corrente induzida nela<sup>6</sup>.

“Não dá para ‘mandar’ este sinal mais longe?” protestou um aluno, frustrado talvez com o pequeno alcance das “transmissões”. Sim, é possível. Tanto CEs quanto CDs mais eficientes podem aumentar este alcance. Uma primeira medida consiste em substituir o alto-falante por um fone de ouvido: a distância de detecção pode aumentar para mais de um metro.

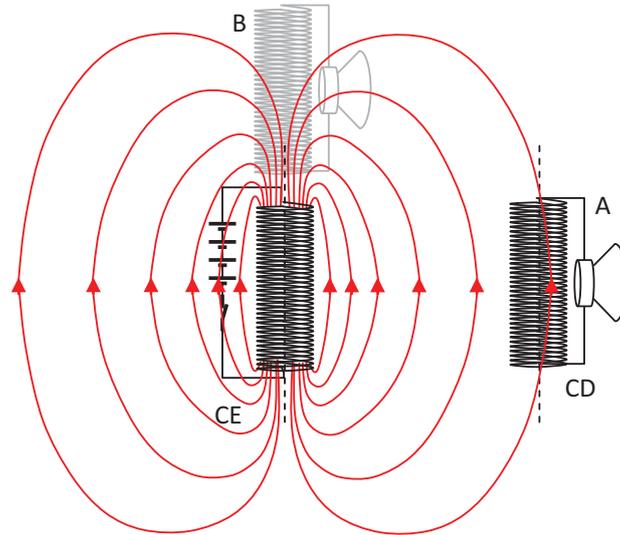
Distâncias ainda maiores podem ser obtidas modificando o CD: o diagrama na Fig. 7 e a foto de uma montagem realizada pelos autores na Fig. 8 mostram uma destas possibilidades. O circuito emissor é o mesmo descrito acima; já o circuito receptor conta agora com uma antena, uma barra metálica conectada a um dos bornes da entrada do transformador. O segundo borne da entrada é ligado à terra, como mostrado no diagrama. O enrolamento de entrada possui 500 espiras, e

---

<sup>5</sup> Esse campo magnético é variável, já que a corrente elétrica é de duração breve: ela cresce a partir do zero e volta a se anular em seguida.

<sup>6</sup> Esta explanação é, evidentemente, bastante resumida. Detalhes adicionais podem ser encontrados em qualquer texto geral de eletromagnetismo. Sugerimos, para o nível de ensino médio os textos do GREF: <<http://www.if.usp.br/gref/eletromagnetismo.html>>, em especial as partes “eletro 4” e “eletro 5”. Também não entramos em detalhes sobre o pulso eletromagnético, depois que ele “descola” do circuito emissor. A referência acima também pode ser útil no caso de esta explicação merecer um aprofundamento em aula.

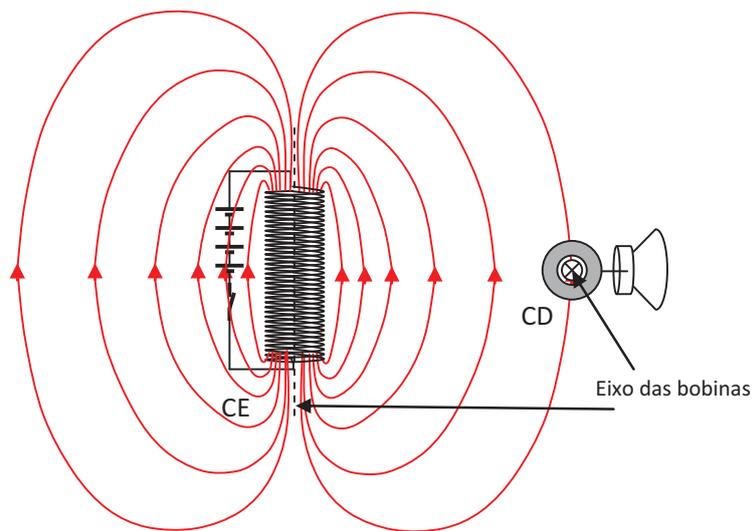
o da saída, 5 espiras; o amplificador (de pequena potência, destinado originalmente à amplificação de instrumentos musicais) é conectado aí.



*Fig. 5 – O campo magnético produzido no CE, tal como “visto” pelo sistema de detecção CD: quando este campo varia, uma corrente será induzida no solenóide do CD, produzindo um ruído no alto falante (desde que a intensidade da corrente seja suficiente). Quando o CD é colocado na posição “B”, o sinal aumenta de intensidade, pelo fato de um número maior de linhas de campo magnético passar pelo eixo da bobina do circuito detector. A colocação de um núcleo de ferro na bobina do CE também provoca um aumento de sinal.*

Com esta configuração, foi detectado um sinal perfeitamente audível no amplificador para uma separação de aproximadamente 6 m entre o CE e o CD. Explorar em detalhe a física das antenas envolve conceitos e fórmulas fora do escopo de um trabalho em nível de ensino médio, o que não exclui a possibilidade de, neste ponto, chamar a atenção dos estudantes para vários aspectos adicionais. O primeiro deles é o de que a radiação emitida será mais eficiente se o for por uma antena. Em segundo lugar, pode-se mencionar que a intensidade (densidade de potência) do sinal em sistemas sem fio cai com o inverso do quadrado da distância  $r$ , o que explica em parte a dificuldade na recepção de mensagens. Por fim, nas condições aqui descritas, o campo elétrico e o campo magnético da radiação caem

com o inverso da distância, o que explicaria em boa parte a (muito) maior eficiência das antenas na emissão e recepção de sinais (FEYNMANN, 2008, 28-1 a 28-3).



*Fig. 6 – Uma modificação na geometria (o eixo da bobina do CD está agora perpendicular ao da bobina do CE) faz com que o sinal deixe de ser detectado. Várias outras configurações perpendiculares que também provocam a atenuação da resposta no alto-falante podem ser exploradas a partir desta montagem.*

#### **IV. Conclusão**

É possível, como foi mencionado na introdução deste trabalho, recriar uma versão moderna do experimento de Hertz, com material facilmente acessível. A segunda demanda foi: esta recriação permite que “o fato de se tratarem de ondas eletromagnéticas fique estabelecido de maneira aceitável?” Novamente a resposta é afirmativa: o experimento permite inferir que um sinal foi transmitido entre um emissor e um receptor sem que nenhuma conexão física fosse necessária; além disso, percebe-se claramente (nas montagens das Fig. 3, 5 e 6) que este sinal é polarizado, sendo esta uma evidência do comportamento ondulatório deste sinal.

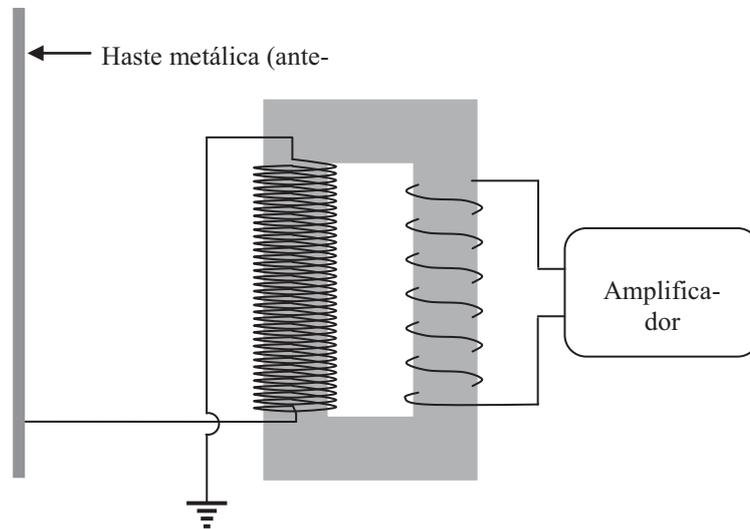


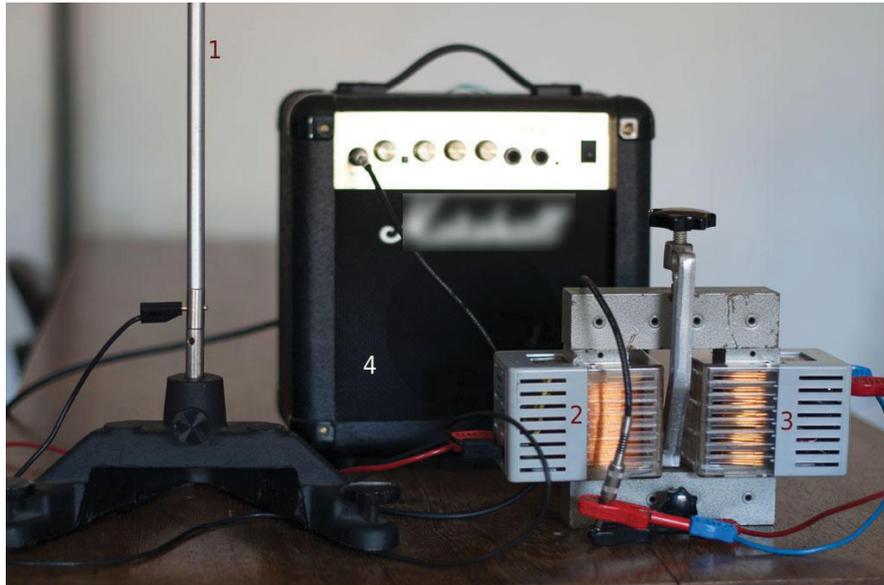
Fig. 7 – Diagrama de um circuito detector (CD) mais sensível, com antena e amplificador (fora de escala). O enrolamento da bobina à esquerda, cujos terminais estão ligados a uma barra metálica (antena) e à terra, possui 500 espiras. O enrolamento da direita, com 5 espiras, é conectado diretamente à entrada do amplificador.

O estabelecimento destas evidências é consistente com o contexto do ensino médio? A resposta pode ser novamente afirmativa, por conta das três considerações que seguem.

Na primeira, cabe destacar que as atividades aqui descritas e seus resultados conclusivos não configuram uma “prova” científica, apenas foi recriada uma montagem histórica do experimento de Hertz com recursos modernos; não há assim manipulação (pelo menos não no contexto da Física) de *conhecimento novo*.

Na segunda consideração, convém lembrar que o experimento de Hertz ocorreu em outro contexto histórico, e naquela ocasião a comunidade científica reconheceu as contribuições originais feitas por este cientista, premiando-o, como foi citado na introdução. À época, sim, talvez fosse possível falar numa “prova” à comunidade de físicos, pela qual ficaria “demonstrada” a existência de ondas ele-

tromagnéticas<sup>7</sup>. Mas não é o caso aqui, não se trata de apresentar nenhuma prova; isso é mencionado na primeira consideração, e será retomado a seguir.



*Fig. 8 – Foto da montagem realizada: 1 – haste metálica, que funciona como antena, de 1 m de comprimento; 2 – enrolamento de 500 voltas de fio. Um dos seus terminais está ligada a antena, o outro está ligado à terra; 3 – enrolamento de 5 voltas de fio (os enrolamentos 2 e 3 estão associados por meio de um núcleo de ferro de modo a formar um transformador). Os terminais desta segunda bobina estão ligados à entrada do amplificador; 4 - amplificador.*

Por fim, a terceira consideração diz respeito à adequação deste trabalho ao contexto do ensino médio, do ponto de vista dos programas de física – eletricidade e eletromagnetismo. Essa adequação pode existir, sob diversas formas. Uma delas em especial é destacada a seguir, e será chamada livremente de “cadeia de plausibilidades”. Essa “cadeia” consiste basicamente no seguinte: é possível construir uma ideia consistente (convém lembrar: num contexto de ensino médio) da propagação destas ondas, com os elementos que os alunos dispõem? Sim: no caso espe-

---

<sup>7</sup> Essa é uma questão que poderia merecer um aprofundamento nas aulas de Filosofia, em especial naquelas de Filosofia da Ciência.

cífico descrito aqui, admite-se que os estudantes já interagiram com os seguintes conceitos e (ou) leis:

- A toda carga elétrica está associado um campo elétrico;
- Se uma carga elétrica se move, há corrente elétrica;
- Se há corrente elétrica, um campo magnético está associado a ela<sup>8</sup>;
- Se há variação de um campo magnético, surgirá em consequência um campo elétrico, também variável, e vice versa (lei da indução de Faraday, mencionada no texto);
- A cada “liga-desliga” da chave do circuito emissor, um pulso eletromagnético é produzido, e pode se “descolar” do sistema que o cria, viajar pelo espaço e ser detectado (eventualmente a muito longas distâncias).

Se a atividade aqui descrita colaborar para o estabelecimento de conexões entre os conceitos e leis acima mencionados (e outros, sempre que surge a oportunidade), então sua validade – num contexto de ensino aprendizagem - estará reforçada.

Mas talvez o elemento essencial tenha sido omitido até esse momento, a *motivação* que tais eventos suscitam no contexto do ensino de Física em nível médio. Estudá-la (a motivação) exige, é claro, muito trabalho de investigação, e ele não foi feito, nem mesmo parcialmente, aqui.

Então, para concluir, enuncia-se a seguir uma conjectura, bastante plausível com certeza, mas que não deixa de ser uma conjectura: o fato de poder aumentar a possibilidade de conexão entre os diversos conceitos mencionados acima através de recursos familiares (sucatas, alto-falantes, fios e seu manuseio criativo) pode ser um forte elemento que concorra para essa motivação, que, para alguns, será quem sabe não apenas passageira e incidental, mas duradoura e persistente. Essa durabilidade e persistência viriam em especial da crescente habilidade que é desenvolvida para detectar e explicitar relações entre os diversos elos que constituem um experimento.

E como estas relações são detectadas e explicitadas? Num trabalho bem feito, as perguntas (e as respostas) emanam de todo o grupo participante, no qual o professor é um elemento de certa forma privilegiado, pela experiência e habilidade de coordenar que exhibe. Mas nem por isso é o único detentor do “direito de perguntar e responder”, pelo contrário. Pergunta mais quem é mais curioso... Com

---

<sup>8</sup> Oersted, em 1820, percebeu que a circulação de uma corrente elétrica por um fio nas proximidades de uma bússola provocava a deflexão desta: estabelecia-se aí uma conexão entre a eletricidade (a corrente elétrica) e os efeitos desta (o efeito magnético, comparável ao de um ímã natural).

isso, desenvolve-se pouco a pouco uma cultura científica, aprende-se a “falar em físicos”. Tudo isso é, no mínimo, muito divertido. E, neste tema das ondas eletromagnéticas, bem como em outros, há sempre diversões à vista: procuremo-las por nós mesmos!

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem as valiosas sugestões dadas pelos revisores do CBEF.

### **Referências**

CANALLE, J. B. G.; MOURA, R. Demonstre em aula: a lei de Faraday e a lei de Lenz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 229-301, 1997.

FEYNMAN, R. P. **Lições de Física de Feynman**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

GASPAR, A. **Física**: livro do aluno. 1. ed. São Paulo: Ática, 2000. v. 3.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1996. v. 3.

HESSEL, R. Laboratório Caseiro: a lei de Faraday e a de Lenz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 3 p. 340-343, 1999.

KNIGHT, R. **Física**: uma abordagem estratégica. Eletricidade e Magnetismo. Porto Alegre: Bookman, 2009. v. 3.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997. v. 3.