



Uma abordagem alternativa para o ensino da transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas

Alternative approach to teaching electromagnetic waves transmission and reception

RODRIGO TEIXEIRA ROSSINI¹

¹Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-CTUR.

Resumo

Desde Hertz, um novo mundo de oportunidades surgiu, onde a comunicação através de ondas eletromagnéticas fez com que distâncias ficassem menores e a sociedade mudasse a forma de se comunicar. Junto a essa inovação, tecnologias emergem a todo instante e siglas como AM e FM se tornaram corriqueiras em nossas vidas, sendo amplamente utilizadas e pouco discutidas em sala de aula. O objetivo deste trabalho é trazer uma abordagem alternativa sobre a transmissão de ondas eletromagnéticas, utilizando representações da técnica de modulação de uma maneira mais agradável e simples, utilizando-se de analogias figuras e animações que, utilizadas em sala de aula, podem aumentar e muito o potencial de aprendizado de alunos em um tema tão atual como este. Alunos que demonstram bastante curiosidade em aprender este tema, mas esbarram e desanimam com os formalismos teóricos e matemáticos.

Palavras-chave: Ensino de física. Eletromagnetismo. Analogias. Transmissão de ondas.

Abstract

Since Hertz, a new world of opportunity has emerged, where communication through electromagnetic waves has caused distances to become smaller and society has changed the way it communicates. Along with this innovation, technologies emerge all the time and acronyms like AM and FM have become commonplace in our lives, being widely used and little discussed in the classroom. The objective of this work is to bring an alternative approach on the transmission of electromagnetic waves, using representations of the modulation technique in a more pleasant and simple way, using analogies figures and animations that, used in the classroom, can increase and much the learning potential of students in a subject as current as this. Students who are very curious to learn this subject, but come up against and discourage theoretical and mathematical formalisms.

Keywords: Physics teaching. Electromagnetism. Analogies. Wave transmission.

I. INTRODUÇÃO

Estudar a transmissão de uma onda eletromagnética (OEM) nos leva a um novo mundo e uma nova maneira de enxergar a propagação de informações e dados. Desde seus primeiros estudos experimentais com Hertz¹, a sociedade mudou drasticamente a forma com que os indivíduos se comunicam. Graças aos inventos decorridos desse estudo, a sociedade não precisou mais de navios ou de telégrafos para transmitir informações e hoje, na velocidade da luz, uma informação é transmitida e recebida. O aluno que hoje vivencia este estágio da humanidade é bombardeado com novas tecnologias da informação e comunicação (TIC's). Conceitos surgem, siglas e formas de se comunicar emergem, e no meio deste emaranhado está o aluno, o qual muitas vezes é o público de maior potencial de utilização destas ferramentas que são amplamente utilizadas, mas seus princípios científicos e de funcionamento são pouco explorados e compreendidos na escola. Se boa parte destas TIC's são baseadas na transmissão e recepção de uma OEM (Wi-Fi, Bluetooth, comunicação por celular e comunicação via satélite), por que não explorar alguns conceitos relacionados a estas tecnologias em sala de aula?

II. PRINCÍPIOS BÁSICOS

Com as equações de Maxwell² para o eletromagnetismo e seus desdobramentos, a humanidade criou as bases teóricas para a propagação de ondas eletromagnéticas. Algumas de suas aplicações serão discutidas neste momento como base para este trabalho, discutindo apenas alguns aspectos gerais e relevantes a esse assunto, usando de analogias, figuras e animações na tentativa de evitar certos formalismos matemáticos que estão, na maioria das vezes, fora do escopo curricular de um aluno de ensino médio. Começaremos nossa discussão estudando um sistema de comunicação básica, onde as presenças de alguns elementos são indispensáveis e representados na Figura 1.



Figura 1: Diagrama em blocos de uma comunicação analógica simples.

Como um simples exemplo da Figura 1, analisaremos a comunicação entre duas pessoas através de um sistema de telefonia analógica convencional, representado pela Figura 2.

Cada passo dessa comunicação tem um correspondente ao diagrama em blocos da Figura 1:

¹ Heinrich Rudolf Hertz (22/02/1857 —01/01/1894): físico alemão, de origem judaica. Foi o responsável pela descoberta das ondas eletromagnéticas em 1888, tendo sido atribuído à unidade de frequência o seu nome, em sua homenagem (WIKIPÉDIA, 2015).

² James Clerk Maxwell (13/06/1831 — 5/11/1879): Foi um físico e matemático britânico. Ficou conhecido por ter dado uma forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a ótica (WIKIPÉDIA, 2016).

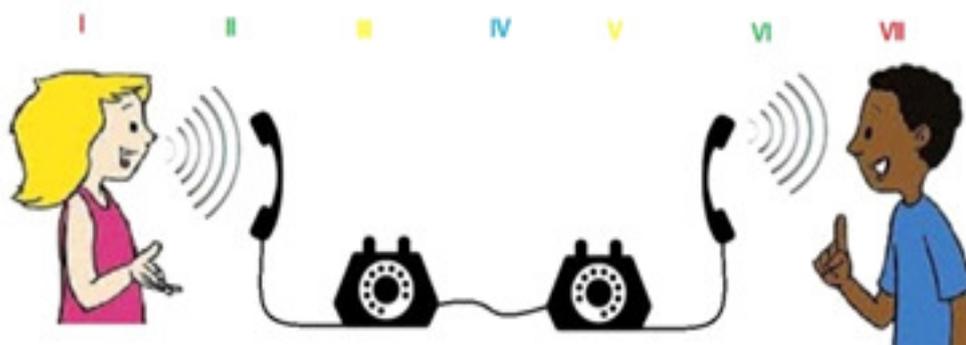


Figura 2: Comunicação através da telefonia analógica.

1. Fonte da informação: geradora da mensagem que neste caso é a menina da Figura 2;
2. Transdutor³ de emissão: que neste caso é o microfone convertendo as vibrações mecânicas do som em sinais elétricos;
3. Transmissor: é a parte interna do circuito do telefone que oferece condições para que o sinal elétrico percorra o canal de comunicação;
4. Canal de comunicação: é o meio físico por onde as mensagens em forma de sinais elétricos trafegam, indo do transmissor ao receptor;
5. Receptor: é a parte do circuito interno do telefone de recepção que recebe os sinais elétricos e os direciona ao transdutor de recepção;
6. Transdutor de recepção: componente que converte os sinais elétricos recebidos em vibrações mecânicas (som) para o destinatário;
7. Destinatário: receptor do sinal sonoro que, neste caso, é o menino da Figura 2.

Para um sistema simples de comunicação baseado em ondas eletromagnéticas, a situação é parecida, em vez de um sinal elétrico percorrer um canal cujo meio é um fio, dessa vez o que será transmitido será uma onda cujo canal será agora o meio em que essa onda se propaga, geralmente o ar ou o vácuo.

Ao analisarmos o exemplo da Figura 3, uma primeira pergunta natural surge: como realizamos uma transmissão e recepção de uma OEM? Basicamente, quando temos uma carga acelerada periodicamente em uma antena⁴, a mesma gera, em certas condições físicas e de engenharia, uma onda periódica que se propaga até atingir a antena de recepção⁵. Por conta da chegada dessa onda na antena de recepção, elétrons começam a se mover nessa

³ Por definição, transdutor (transducer) é todo dispositivo capaz de converter uma forma de energia em outra. e sendo de vários tipos e formas: Microfone - converte som em sinal elétrico; Auto-falante - Converte sinal elétrico em som.; Célula fotovoltaica - Converte energia luminosa em energia elétrica; Etc.

⁴ Antena: transdutor de vários formatos diferentes que transforma uma corrente elétrica variável em onda eletromagnética.

⁵ Para evitar formalismos matemáticos e obter uma noção básica e visual do fenômeno, sugiro ao leitor a visualização de duas simulações interativas contidas no sítio https://phet.colorado.edu/pt_BR/ cujos nomes são: Irradiando carga, Ondas de Rádio e Campos eletromagnéticos.



Figura 3: Esquema básico de comunicação via rádio.

antena, enviando sinais ao circuito receptor o qual será responsável por enviar a mensagem ao transdutor de recepção e conseqüentemente ao destinatário. Contudo, realizada a comunicação, uma segunda pergunta natural também surge: qual seria a melhor forma ou técnica para enviar informações entre transmissor e receptor a fim de se obter uma comunicação mais eficiente? Uma das técnicas mais rudimentares em telecomunicações para atingir esse objetivo é a de comunicação via código Morse. Nela, um sinal ou onda transmitidos eram chaveados⁶ a fim de se criar uma informação inteligível pelo receptor, sendo amplamente utilizada pelos telégrafos sem fio no início do século XX e tendo papel importantíssimo principalmente nas comunicações marítimas da época. Sua velocidade de transmissão da informação dependia da capacidade de chavear a fonte de energia e da capacidade de interpretação dos sinais que chegavam ao receptor, criando assim, um limite operacional relativamente baixo. Um esquema simplificado desta técnica utilizada em equipamentos rudimentares é mostrado na Figura 4.

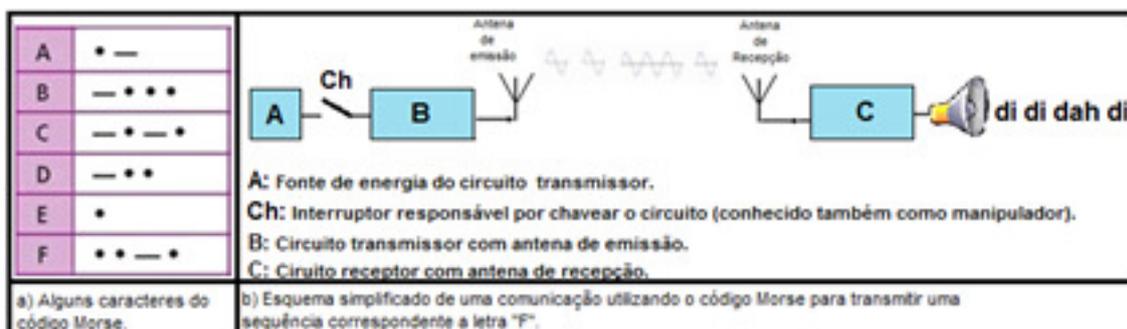


Figura 4: Esquema básico de comunicação utilizando código Morse.

Em uma analogia aplicada em sala de aula dessa técnica, ponderaremos que, apesar de mesma natureza, a OEM emitida pela antena emissora do equipamento real é de frequência bem menor do que a luz visível. Contudo, faremos o uso de uma fonte de luz visível para facilitar a visualização e entendimento dessa técnica em uma comunicação via OEM.

Nessa analogia, o circuito emissor e sua antena serão substituídos por uma lanterna que iremos supor emitir luz polarizada, monocromática da cor verde e toda a recepção será

⁶ Processo pelo qual uma espécie de interruptor é ligado e desligado para fim de estabelecer ou interromper o processo de transmissão de uma OEM.

substituída pela visão humana⁷. No caso da comunicação via Morse, a mensagem seria transmitida desligando e ligando sucessivamente a lanterna em intervalos curtos e mais longos de tempo a fim de se criar os códigos exemplificados na “Figura 4(a)”, sendo estes códigos interpretados pela visão humana como sendo as letras e caracteres responsáveis pela comunicação. A aplicação em sala de aula dessa analogia é ampla e dependerá do tempo que o professor queira dispor para o tema, podendo variar desde uma explanação de como seria esta analogia, passando por uma apresentação que utilize uma animação de uma lanterna até a proposta relatada a seguir: divida a turma em dois grupos, cada grupo terá que ter um aluno responsável por enviar através de piscadas longas e curtas da lanterna uma palavra via código Morse. O aluno que emitirá a mensagem terá em mãos uma tabela de código Morse para produzir a mensagem e enviá-la ao seu respectivo grupo. O grupo, que também possui uma tabela de código Morse, decifrará a mensagem o mais rápido possível. Feito isso, o grupo que realizar essa tarefa, em menos tempo e consequentemente falar a palavra certa, ganhará a disputa.

É claro que, com o passar do tempo, essa técnica se mostrou pouco conveniente para outras aplicações, dando início a corrida para introdução de outras formas de transmitir informações, sempre com objetivo de aumentar a eficiência na transmissão e recepção de sinais e superar problemas de engenharia. Essas formas ou técnicas de transmissão são chamadas, em muitos casos, de modulação que pode ser definida como:

“Processo pelo qual uma propriedade ou característica de um sinal é modificada conforme um outro sinal (que contém a informação a ser transmitida), a fim de se obter maior eficiência de transmissão (LAMAR, 2005) ”

Então se tomarmos uma representação simples do campo elétrico $E(t)$ de uma OEM emitida como sendo da forma $E(t) = A(t) \cdot \cos[\omega(t) \cdot t + \phi(t)]$, podemos inserir, com técnicas principalmente eletrônicas, o sinal desejado (informação ou mensagem) em alguns de seus parâmetros conforme a Figura 5.

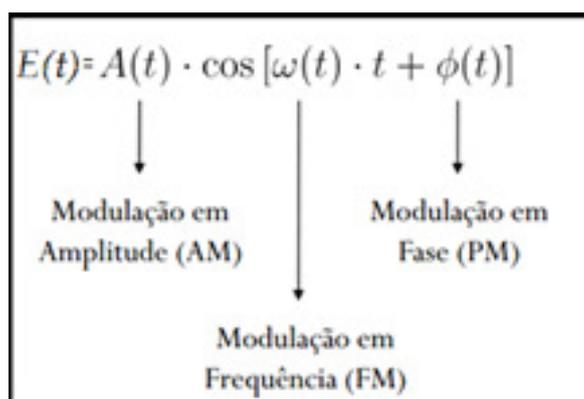


Figura 5: Alguns tipos de modulações analógicas.

Em que o sinal de maior frequência onde a mensagem será embutida é chamado de **portador** (ou onda portadora), o sinal ou mensagem que será embutido é chamado de **modulante** (ou onda modulante) e o sinal resultante já com o sinal embutido é chamado

⁷ Chamaremos de visão humana todos os órgãos nervos e entidades responsáveis pelo processamento da imagem pelo homem, desde o olho humano até o cérebro.

de **modulado** (ou onda modulada). Tomaremos como exemplo dois tipos tradicionais de modulação: a modulação AM (Amplitude Modulada) e a modulação FM (Frequência Modulada). Nesses, os parâmetros a serem modificados serão respectivamente a amplitude e a frequência da onda transmitida. Desta forma, consideraremos um exemplo simples onde o sinal a ser transmitido (informação ou mensagem) seja uma onda harmônica simples $m(t)$ que alterará o parâmetro da amplitude $A(t)$ da onda original (portadora) conforme a Figura 6.



Figura 6: Modulação em amplitude de um sinal harmônico simples.

Imaginemos um sinal sonoro senoidal (onda mecânica) sendo captado pelo transdutor de emissão (microfone) e que é transformado em sinal elétrico. Este sinal, através do circuito transmissor, modifica a onda transmitida pela antena de emissão. Esta onda, chamada agora de modulada, se propaga pelo espaço livre até interceptar a antena de recepção. Com isso, o sinal elétrico gerado na antena de recepção após a chegada da onda modulada é tratado pelo circuito do receptor o qual se encarregará de separar a mensagem do sinal modulado e entrega-la ao transdutor de recepção (autofalante), como mostrado na Figura 7.

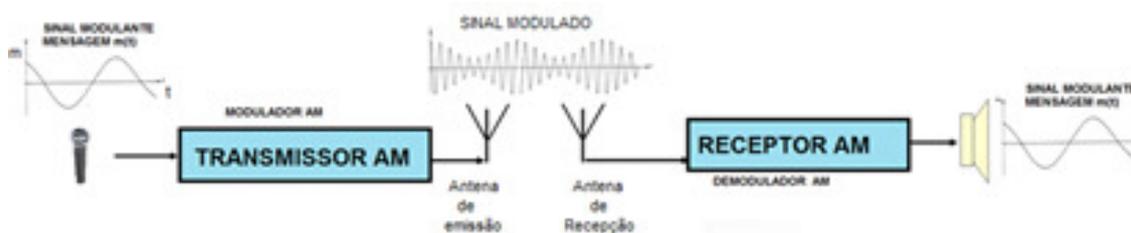


Figura 7: Esquema simplificado de uma transmissão em AM de um sinal harmônico.

Para uma segunda análise desta técnica em sala de aula, utilizaremos novamente uma lanterna e a visão humana, definidas anteriormente, como respectivamente sendo a transmissão e a recepção de uma OEM. Nessa analogia, percebemos que ao ligar a lanterna, a única informação percebida pela visão humana é a chegada da onda eletromagnética (luz supostamente verde). Para que outras informações sejam percebidas, parâmetros da

luz emitida devem ser alterados para que essas alterações sejam interpretadas pela visão como sendo novas informações. Desta forma, como a modulação em AM seria percebida e interpretada pela visão? Para tal, sabemos que a intensidade de uma OEM depende de sua amplitude da forma:

$$I = \frac{1}{c\mu_0} E_{rms}^2 \quad (1)$$

Desta maneira, ao embutirmos a mensagem no parâmetro da amplitude da onda, a visão humana perceberia uma luz com sua intensidade luminosa variando entre um mínimo e um máximo, onde cada valor de intensidade seria interpretado como uma parte da informação transmitida⁸. A mensagem funcionaria como uma espécie de DIMMER⁹ interligado a lanterna e responsável por variar a intensidade luminosa da luz emitida pela mesma. Para uma aplicação em sala de aula dessa analogia, poderíamos fazer uma exposição sobre o tema, utilizar animações que consigam mostrar essa variação de intensidade da luz emitida pela lanterna¹⁰ ou levar para sala de aula uma lanterna (constituída de uma lâmpada incandescente) ligada a um reostato que fará o papel de modificar os parâmetros de corrente e tensão elétrica na lâmpada e conseqüentemente alterar seu brilho. A alteração periódica do brilho da lâmpada simulará a variação de intensidade da onda transmitida.

Um desdobramento óbvio desta ideia é embutir a mensagem em outro parâmetro da OEM transmitida pela antena de emissão, como por exemplo, inseri-la no parâmetro da frequência desse sinal ou onda enviados (Frequência Modulada).

Nessa técnica, uma mensagem ou sinal harmônico simples inserido no parâmetro da frequência da onda portadora fará com que a frequência da mesma varie entre valores mínimos e máximos em torno de uma frequência fixa chamada de frequência central, conforme a Figura 8¹¹.

⁸ Sabemos que na prática, a visão humana reconhece um número máximo de quadros em um determinado tempo, podendo alterar a percepção da variação de intensidade da onda pela visão. Por isso, iremos ignorar esse fato para o funcionamento da analogia.

⁹ Dispositivo de uso geralmente doméstico que junto ao interruptor é responsável por alterar a intensidade de corrente elétrica em aparelhos eletrodomésticos e lâmpadas, mudando a luminosidade do ambiente e velocidade de funcionamento de aparelhos.

¹⁰ Para o uso de uma animação, sugerimos o link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/color-vision

¹¹ Sabemos que os transdutores converterão sinais sonoros da faixa de 20 Hz a 20 KHz em sinais elétricos que conseqüentemente serão modulados. Esses sinais têm frequências muito menores que a portadora (de faixa 500-1600 kHz para AM e 88 a 108 MHz para FM) fazendo com que o sinal modulado não seja de fácil visualização. Desta forma, optamos por criar figuras fora de escala no intuito de facilitar o entendimento do tema.

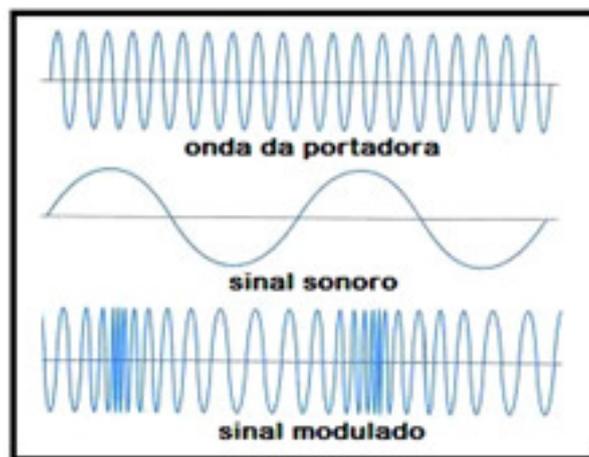


Figura 8: Modulação em frequência de um sinal harmônico simples.

A grande vantagem do FM é a sua qualidade de áudio e sua boa imunidade ao ruído, pois uma grande quantidade de ruído estático e elétrico acontece em AM e em baixas frequências. Ao contrário de um receptor FM que opera em uma faixa de frequência mais alta e não responderá a esses sinais indesejados.

Ao fazermos novamente uma analogia em sala de aula com a luz visível, em que a frequência da onda emitida pela antena é mais uma vez trasladada para faixa do visível, a onda emitida (luz) agora pela lanterna irá sofrer um desvio em sua frequência. Esta luz, inicialmente definida na cor verde (frequência central), sofrerá um desvio que tenderá para o vermelho quando o valor da frequência for mínimo, e um desvio de frequência para o violeta quando o valor de frequência tender ao máximo. A visão humana, responsável pela recepção, perceberá cada mudança de cor como uma modificação da informação inicial. Cada tonalidade de cor pode ser interpretada como uma parte diferente da informação¹².

III. CONCLUSÃO

A transposição didática que tem que ser feita para adequar as novas tecnologias ao cotidiano do aluno nem sempre acontece em sala de aula. Por isso, o objetivo deste tema foi trazer aspectos básicos de uma tecnologia que, apesar de ter mais de cem anos, continua em evolução e pouco abordada em sala de aula. Então, o maior objetivo após o aprendizado do tema é criar um encultramento científico nos alunos. Grande parte desses não serão técnicos, mas estarão inseridos em um mundo onde esta tecnologia estará permeando seus cotidianos, onde notícias sobre a transmissão de OEM e suas técnicas estarão por todas as partes. As TVs, rádios, telefonia móvel, satélites e a internet são apenas alguns exemplos de tecnologias baseadas em transposição de OEM. Deste modo, se ao final da aplicação desta proposta, mesmo com as limitações provocadas pelas analogias e simplificações, o aluno tiver condições de interpretar o mundo relacionado ao tema de uma forma mais consciente,

¹²Sabemos que a faixa de frequências da luz visível é muito estreita, criando uma banda de frequências muito pequena para a informação emitida. Além disso; a interpretação de cada informação nesta analogia está sujeita ao limite operacional em que as células do olho humano (cones e bastonetes) conseguem interpretar as diferentes cores em um determinado tempo.

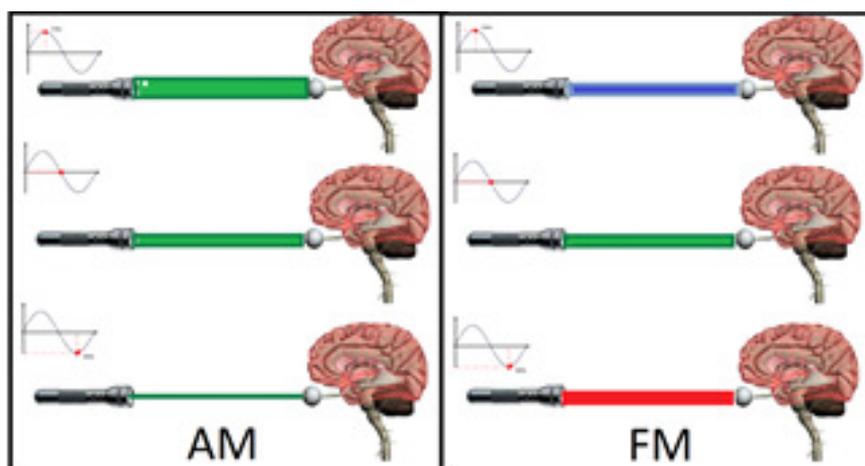


Figura 9: Analogia utilizando a luz visível para o ensino de modulação.

tendo uma noção crítica dessa tecnologia que o cerca, a missão deste trabalho terá sido cumprida.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, V. R. D. *Contextualização e o uso de simulações no ensino médio*, Rio de Janeiro, maio 2015.
- AUSUBEL, D. P. *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: [s.n.]. 1963.
- BALANIS, C. A. *Teoria de antenas*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- BRUSCATO, G. C.; MORS, P. M. *Ensinando física através do radioamadorismo*. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 36, n. 1, março 2014.
- EFÍSICA. *Noções elementares sobre ondas eletromagnéticas*. efisica, 2007. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/ondas_eletromagneticas/>. Acesso em: 2 out. 2015.
- FONTANA, E. *Radiação e antenas*, recife, 2013.
- GLYNN, S. M. *Teaching-with-analogies Model: Build*. Science and children., 2007. 52-55.
- LAMAR, M. V. *Modulação em amplitude*, Universidade Federal do Paraná –Dep. de Engenharia Elétrica, 2005.
- MEDEIROS, J. C. D. O. *Princípios de telecomunicações*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2007.
- MOREIRA, M. A. *O que é afinal aprendizagem significativa?*, Porto Alegre, 2012.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica*. São Paulo: Blucher, v. 3, 1997.
- OTERO, M. R. *¿Cómo usar analogías en clases de física?* Cad. Cat. Ens. Fís., v. 14, n. 2, p. p. 179-187, 1997.
- PEREIRA, S. *Modulação am e fm*. Ebah, 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABqjUAI/modulacao-am-fm>>. Acesso em: 2 maio 2015.
- PIROPO, B. *Modulação am e fm*. IT FORUM 365, 2014.

Disponível em: <<http://itforum365.com.br/blogs/post/113330/telefones-modulacao-am-e-fm>>. Acesso em: 4 nov. 2015.

PORTAL EXPLICATORION. Heinrich Hertz. Portal Explicatórion, 2015. Acesso em: 1 maio 2015.

Disponível em: http://www.explicatorium.com/biografias/Biografia_Heinrich_Hertz.php
Acesso em: 26/01/2015.

RESNICK, H. *Fundamentos da física*. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2009.

ROSSINI, R. T. *transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas: uma abordagem experimental para o ensino médio e técnico* MNPEF UFRJ Rio de Janeiro , maio de 2016

TELECO. A. *Ciclos Evolutivos: Grandes Descobertas*, 2015. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tu>>
Acesso em: 17 abr. 2015.

WIKIPÉDIA. *Tecnologia da informação*. [S.l.]: [s.n.]. 2013.

Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Tecnologia_da_informação acesso em 26/01/2015.

WIKIPÉDIA. *James Clerk Maxwell*. 2016.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell>. Acesso em: 02 jan. 2016.
