

APRENDIZAGEM POR INTERAÇÃO EXPERIMENTAL: “UMA EXPERIÊNCIA PEDAGÓGICA NA ÁREA DO SOM”

Carlos F. Ferreira¹², Maria C. Costa¹³

¹ Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar

² Ci2 - Smart Cities Research Center, Instituto Politécnico de Tomar

{cferreira@ipt.pt}

³ CICS.NOVA - Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais, Universidade Nova de Lisboa

{ccosta@ipt.pt}

Resumo

No presente artigo apresenta-se um trabalho referente à implementação de uma abordagem ao ensino da física do som com base numa perspetiva construtivista do conhecimento. Esta abordagem assenta num projeto de intervenção pedagógica destinado a alunos e professores do ensino básico e secundário, o qual tem por objetivo motivar os alunos para a aprendizagem das STEAM (Ciências, Tecnologia, Engenharia, Arte e Matemática).

Neste contexto, foram desenvolvidas atividades práticas *hands-on* e protótipos com o objetivo de ensinar conceitos fundamentais da onda sonora assim como de proporcionar uma interação experimental. Para além das atividades práticas e dos protótipos desenvolvidos. Verificou-se que esta abordagem, para além de adequada aos conteúdos curriculares, promove o interesse e a aprendizagem dos alunos.

Palavras-chave: Física do som, atividades práticas *hands-on*, protótipos, educação.

Abstract

This article presents the dissemination of a project related to the implementation of an approach to the teaching of sound physics based on a constructivist knowledge perspective. This approach is based on a pedagogical intervention project aimed at students and teachers of elementary and secondary education levels, which aims at motivating students to learn STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics).

In this context, practical *hands-on* activities and prototypes were developed to teach fundamental concepts of the sound wave as well as to provide an experimental interaction. It was found that this approach, in addition to being suitable for curricular content, promotes students' interest and learning.

Keywords: Sound physics, *hands-on*, prototypes, education.

PACS no. 43.10.Sv

1 Introdução

Nesta secção, refere-se a importância de realizar atividades práticas *hands-on* e faz-se um breve resumo do projeto mais amplo onde este trabalho se insere.

1.1 Motivação

São cada vez mais os estudos que defendem a importância de realizar atividades práticas *hands-on* com o objetivo de os estudantes desenvolverem atitudes positivas relativamente às ciências e obterem melhorias significativas no seu desempenho [1]. Em particular, é referida a necessidade de familiarizar os estudantes, desde muito cedo, com conceitos básicos de ciências, para assegurar o seu interesse por estas matérias a médio e longo prazo e, por conseguinte, promover o seu sucesso em níveis posteriores de aprendizagem [2], sendo fundamental implementar práticas científicas de qualidade conduzidas por adultos cientificamente bem preparados [3]. Neste sentido, é essencial motivar os estudantes para a aprendizagem das ciências o mais cedo possível, nomeadamente através de atividades práticas *hands-on* e *minds-on* de ciências, cuidadosamente preparadas por especialistas na área e implementadas em aula, com vista a promover a aprendizagem dos estudantes com maior eficácia.

A denominação *hands-on* e *minds-on* surge num contexto onde os materiais são manipulados pelos estudantes enquanto estes observam, refletem e questionam os resultados das experiências orientados pelo professor [4]. É nesta perspetiva que foram criadas e desenvolvidas as atividades práticas relacionadas com o som que se apresentam neste artigo. De facto, a acústica é um domínio que tem vindo a ganhar cada vez mais protagonismo na comunidade nacional e internacional. Desde associada ao desenvolvimento tecnológico, ao currículo das universidades até às atividades de arte e lazer, são inúmeras as aplicações, sendo este o tema de aprendizagem sobre que se debruça o presente artigo.

1.2 Projeto

No contexto apresentado foi desenvolvida por professores do ensino superior uma abordagem ao ensino da física do som com base numa perspetiva construtivista do conhecimento. Esta abordagem assenta num projeto de intervenção pedagógica mais lato (e.g., www.academiacap.ipt.pt), o qual tem por objetivo motivar os alunos para a aprendizagem das STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics), as quais têm vindo a integrar o currículo de vários países [5]. Para além do desenvolvimento de atividades destinadas a alunos do ensino básico e secundário também é promovido o desenvolvimento profissional de professores. Neste sentido, têm sido desenvolvidos vários protótipos, assim como atividades práticas *hands-on* adequadas aos currículos das escolas [6,7].

No presente artigo apresenta-se a divulgação de um trabalho referente à implementação de uma abordagem ao ensino da física do som, nomeadamente sobre conceitos e propriedades relacionados com a onda sonora. Assim, na secção dois apresenta-se a física do som dando conta dos conceitos teóricos e relacionando-os com fenómenos e aplicações da vida real e utilizando protótipos desenvolvidos para o efeito.

2 Experiências com o Som

Nos próximos itens descrevem-se os conceitos teóricos fundamentais da onda sonora que se pretende que os alunos apreendam e os respetivos métodos e protótipos utilizados, nomeadamente: *Conceito de ligação Som-vibração e respetiva frequência*; *Nível de Pressão Sonora*; *Velocidade do som* e *Comprimento de onda*. Por último adiciona-se o aspeto lúdico e social com: “*O som do teu corpo*”, uma brincadeira personalizada com o som.

2.1 Conceito de ligação Som-vibração e respetiva frequência

A relação entre a vibração, a produção de som, e o conceito de onda é um conceito muito antigo. Resultados experimentais obtidos por Marin Mersenne (1588-1648) com antecedentes desde Pitágoras

(550 A.C.) e por Galileo Galilei (1564-1642) em *Mathematical discourses concerning two new sciences relating to mechanics and local motion, in four dialogues* estiveram relacionados com a utilização de molas vibrantes e a teoria da consonância musical: “O movimento do ar gerado por um corpo vibrante reproduzindo uma única nota musical é também vibratório e da mesma frequência do corpo”.

A teoria matemática da propagação do som inicia-se com Isaac Newton (1643-1727), com “*Principia*” (1687): “Som são pulsos de “pressão” transmitidos através de partículas vizinhas de um fluido”.

A ausência de som radiado pelo “tic-tac” de um relógio colocado num recipiente de vidro com vácuo parcial (experiência clássica realizada por Robert Boyle), mostrou que é necessária matéria para a produção e propagação do som, ou seja, o som é uma onda mecânica.

No presente trabalho, pretende-se promover a compreensão da propagação da vibração. De acordo com o anteriormente referido é utilizada como experiência uma mola onde são realizadas perturbações numa extremidade e verificada a sua propagação. É pedido também aos alunos que façam a “onda humana” (Figura 1).

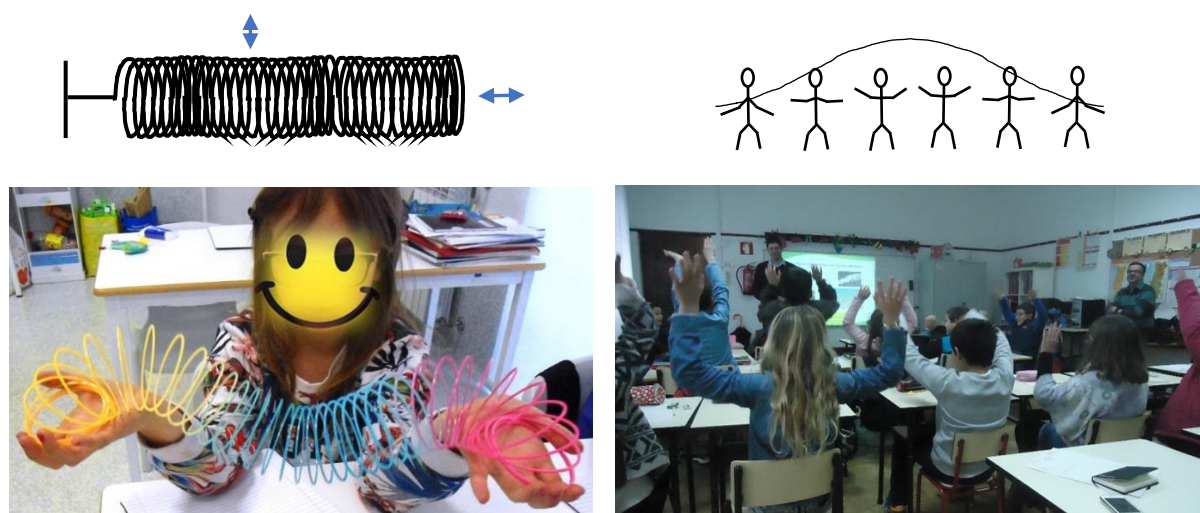


Figura 1 – Exemplo de ondas mecânicas e sua propagação: ondas numa mola (longitudinais ou transversais) (esquerda); fazer a onda humana (direita).

Ao explicar o conceito de ligação entre vibração e som é realizada a experiência de ligar um gerador de funções a um altifalante para reproduzir som de frequências muito baixas e com amplitudes elevadas. Através da visão e do tato é possível ver/sentir a vibração (Figura 2). É pedido aos alunos que tentem avaliar a frequência das vibrações em causa. Após esta experiência inicial vai-se subindo a frequência. Ao questionar acerca das suas expectativas, estes expressam que com algumas dezenas a centenas de Hz se está já a frequências muito elevadas.

Para determinar a gama de frequências audíveis (tipicamente entre 20 Hz a 20 kHz) efetua-se um varrimento iniciado em 20 kHz e vai-se reduzindo a frequência e dizendo em voz alta o seu valor. Pedese aos alunos que estejam de olhos fechados e levantem a mão quando começarem a ouvir. Alguns detetam o som a partir de sensivelmente 18-19 kHz, muitos só aos 16-17 kHz. Os docentes, tipicamente, só ouvem a partir de 13-15 kHz, isto devido às perdas relacionadas com a exposição ao ruído, otites, etc.



Figura 2 – Exemplo da geração de sons e sua ligação à vibração.

De modo a realizar a verificação de que o som num ponto corresponde de facto a uma oscilação/vibração construiu-se o protótipo representado na Figura 3 (esquerda). Este é constituído por um tubo com uma das extremidades recoberta com um balão. No balão é colocado um pedaço de material refletor (e.g. pedaço de CD) e um laser a apontar para ele. Ao falar na base do tubo (extremidade aberta) o balão vibra, mudando o ângulo de reflexão da película refletora do laser, o que permite produzir figuras dependentes do som produzido.



Figura 3 – Protótipo de sistema para visualizar a vibração produzida pela voz (esquerda); exemplo da utilização do protótipo construído e figura produzida (direita).

2.2 Nível de pressão Sonora

A “intensidade” da pressão medida em escala logarítmica (dB) em relação ao limiar da audição humana ($20 \mu\text{Pa}$) é denominada Nível de Pressão Sonora ou *Sound Pressure Level* (SPL). Esta é dada pela Equação 1 e permite identificar se um som é mais ou menos intenso. Os níveis de pressão sonora (correspondentes a P_{rms} numa escala logarítmica) variam tipicamente entre os 0 dB (limiar de audição, correspondente a P_0) e os 140 dB (limiar de dor).

Para que exista uma perceção dos níveis em situações concretas optou-se por utilizar um sonómetro para medir o SPL em várias situações: pede-se à turma para ficar em silêncio; a movimentar os membros; a falar; e a gritar (Figura 4).

$$NPS = 20 \log_{10} P_{rms} / P_0 . \quad (1)$$



Figura 4 – Medição de NPS em várias situações: todos em silêncio; a movimentar os membros; a falar; a gritar.

A Tabela 1 expressa o SPL típico das situações anteriormente referidas. Chama-se também a atenção dos alunos para o facto de que a partir de 80 a 90 dB a exposição ao som provoca perdas auditivas. De modo a enquadrar a área do ruído, é ainda referida a importância da identificação dos níveis de ruído produzido por vários aparelhos através da sua identificação na etiquetagem dos eletrodomésticos, nos livretes dos veículos a motor, etc. (Figura 5).

Tabela 1 – SPL medido para várias situações.

Situação	SPL
Silêncio	40 dB
Movimentos dos membros	50 a 60 dB
Falar	70 a 80 dB
Gritar	140 dB

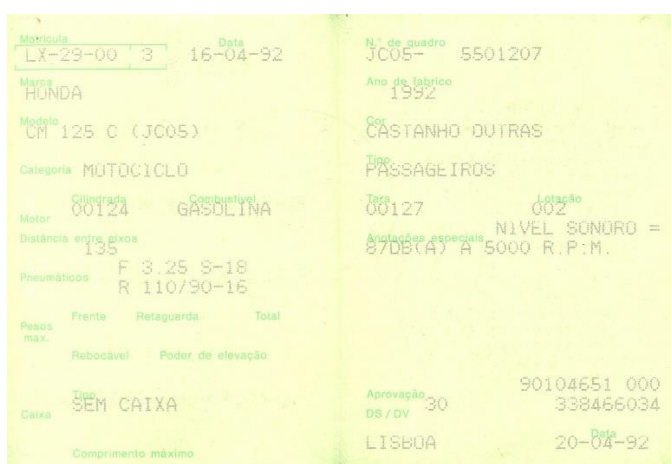


Figura 5 – Etiqueta energética com identificação do ruído produzido (esquerda). Identificação, no livrete, do ruído produzido por um veículo a motor (direita).

2.3 Velocidade do som

A velocidade de propagação, v , de uma onda depende do meio. As ondas sonoras no ar correspondem à troca de energia entre dois campos: a pressão do ar e a velocidade oscilatória das partículas em torno da sua posição de repouso. Devido à transparência elevada do ar a onda sonora não é visível neste.

Vários efeitos, como a reverberação ou o eco, estão relacionados com a velocidade de propagação do som.

Para permitir a interação com o fenómeno das ondas sonoras de um modo sem ser “às cegas”, desenvolveu-se um kit que corresponde a uma tina de vidro com água para colocar em cima de um vulgo “projektor de acetatos”. Através do uso de um atuador com um oscilador ajustável é possível provocar ondas na água de acordo com o representado na Figura 6. Nestas, o nível da água aumenta ou diminui em relação ao seu valor em repouso.

As ondas superficiais na água propagam-se de forma muito mais lenta que o som no ar. Através da refração devido à mudança de meio ar-água é possível projetar as ondas numa tela e fazer experiências em tempo real. O conceito do protótipo, uma fotografia dele e um exemplo do resultado obtido através da sua utilização encontram-se representados na Figura 7.

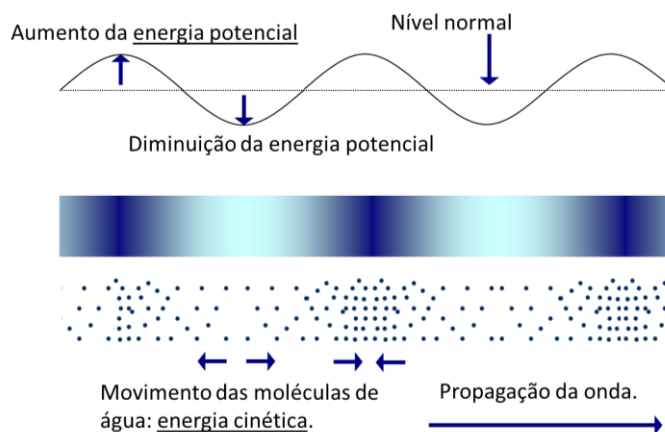


Figura 6 – Exemplo de ondas na água para entender as ondas e os efeitos ligados à velocidade de propagação.

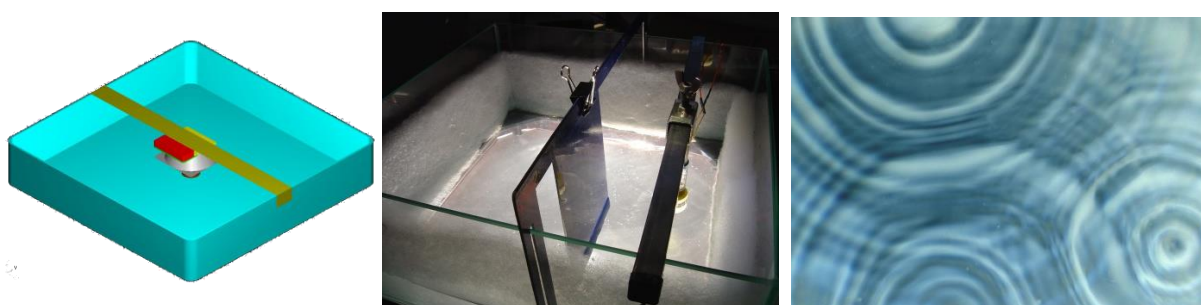


Figura 7 – Protótipo de visualização de ondas na água: esquema de modelação (esquerda); fotografia (centro) e exemplo de imagem obtida (direita).

Na Figura 8 encontra-se representada a colocação de um objeto (placa plana) e a verificação das ondas diretas e das ondas refletidas, representando assim o fenómeno da reflexão.

Na Figura 9 encontra-se representada a colocação de dois objetos semelhantes (placa plana), um sem revestimento e outro revestido com um material absorvente, com os quais se pretende observar a

verificação das ondas diretas e das ondas refletidas. Verifica-se assim que se pode controlar a reflexão através da utilização de materiais próprios, o que ilustra a absorção da onda.

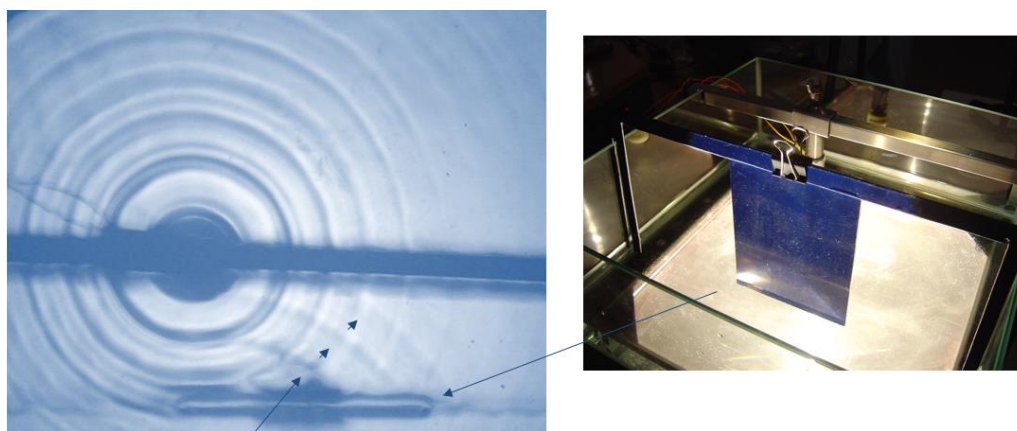


Figura 8 – Visualização de reflexões das ondas por objetos.

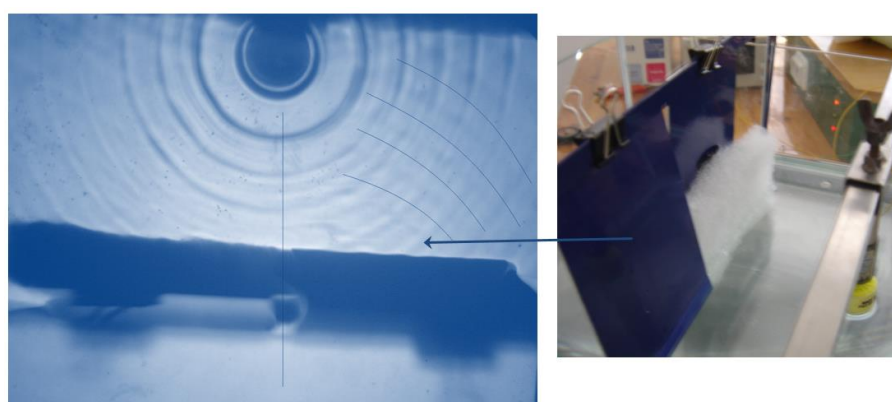


Figura 9 – Visualização de reflexões das ondas por objetos com coeficientes de reflexão diferentes.

Os fenómenos da reflexão e absorção são de extrema importância porque estão ligados à acústica de espaços, inteligibilidade da palavra, diminuição do ruído, entre outros.

Os mecanismos base de deteção da direção de uma dada fonte sonora por parte do ser humano têm também parcialmente por base a velocidade de propagação do som.

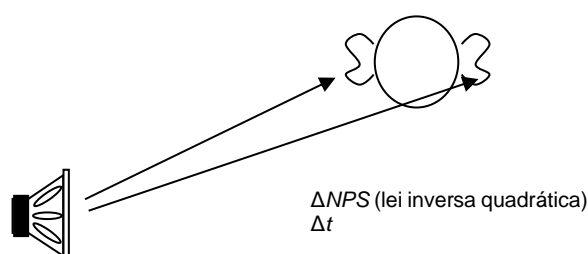


Figura 10 – Esquema representativo dos mecanismos base de deteção da direção da fonte sonora.

Para além da diferença da intensidade sonora (ΔNPS) (que provoca uma menor intensidade no ouvido mais distante) estes baseiam-se no desfasamento da onda (Δt) do som que atinge os dois ouvidos, o qual

depende da distância destes à fonte e, portanto, da orientação da cabeça. Apresenta-se um esboço na Figura 10. Este mecanismo é importante para evitar acidentes, pois permite, por exemplo a um indivíduo desviar-se de uma ameaça.

Como exercício prático pode-se pedir para que os alunos fechem os olhos e apontem para uma dada fonte sonora móvel. Deve-se ter, no entanto, em conta que obstáculos existentes no espaço, superfícies curvas, etc., devido às reflexões que provocam, podem tornar este exercício menos eficaz.

De modo a permitir uma audição correta, o ser humano tem tendência a integrar e considerar como sendo um único som réplicas com atrasos até cerca de 30 milissegundos. A partir de cerca de 80 milissegundos inicia-se a percepção de dois sons distintos. Quando existem distâncias entre ouvintes e obstáculos na ordem de dezenas de metros ocorre a sensação de eco.



Figura 11 – Utilização de filmes de descargas atmosféricas e determinação da distância a que ocorrem com base na velocidade do som

([https://pt.wikipedia.org/wiki/Raio_\(meteorologia\)#/media/Ficheiro:Krunwerke_-_IMG_4515_\(by-sa\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Raio_(meteorologia)#/media/Ficheiro:Krunwerke_-_IMG_4515_(by-sa).jpg)).

Para ilustrar a aplicação do conhecimento da velocidade do som, que no ar, ronda os 340 m/s, utiliza-se um filme de uma descarga atmosférica (Figura 11). Considerando que a velocidade da luz é extremamente elevada em comparação com a do som, podendo ser assim desprezada. Pede-se aos alunos que contem os segundos desde que vêm a descarga elétrica até que ouvem o som. Pode-se assim calcular, aproximadamente, a distância em km a que esta ocorreu através do tempo em segundos a dividir por três.

2.4 Comprimento de onda

O comprimento de onda, λ , corresponde ao espaço percorrido num período da onda, tal como o expresso na Equação 2.

$$\lambda = \frac{v}{f} . \quad (2)$$

Tabela 2 – Comprimentos de onda de diversas frequências.

Frequência	Comprimento de Onda
20 Hz	$\lambda = 17,13$ m
200 Hz	$\lambda = 1,713$ m
2 kHz	$\lambda = 17,13$ cm
20 kHz	$\lambda = 1,713$ cm

Comprimentos de onda de diversas frequências de ondas sonoras encontram-se representados na Tabela 2.

A velocidade finita de propagação do som e a sua reflexão faz com que no mesmo espaço coexistam o campo direto e o refletido. Em certos valores de frequência, relacionados com as dimensões físicas do sistema, a sua soma provoca ondas estacionárias. Os efeitos destas frequências permitem perceber a ordem de grandeza do comprimento de onda.

Ernest Chladni foi um físico e músico alemão considerado por muitos o “Pai da acústica”. Este realizou o estudo dos padrões obtidos pela distribuição de um material móvel colocado sobre uma placa vibratória (figuras de Chladni).

Com o intuito de demonstrar o efeito em causa, construiu-se um protótipo constituído por uma coluna vibratória Bluetooth acoplada a um prato metálico onde é colocada areia por cima. Os três elementos em causa encontram-se representados na Figura 12.



Figura 12 – Protótipo de gerador das figuras de Chladni.

A título de exemplo, apresentam-se na Figura 13 algumas figuras obtidas e as respetivas frequências. O mesmo fenómeno acontece em salas. Para ilustrar o conceito coloca-se um reproduzidor com uma frequência fixa sintonizado para um modo da sala, depois pede-se aos alunos que percorram a sala “como fosse uma piscina de ondas invisíveis”. Eles verificam que existem pontos onde a intensidade é muito elevada e outros onde esta é praticamente nula.

Se eles forem suficientes e procurarem deslocar-se todos para os mínimos, formarão figuras semelhantes às de Chladni. Na Figura 14 encontra-se a representação da realização da experiência em causa.



Figura 13 – Figuras de Chladni.



Figura 14 – Verificação das ondas estacionárias numa sala sujeita a uma frequência constante.

2.5 “O som do teu corpo”: brincadeira social.

Porque o humor e a interação social são também importantes na aprendizagem [8] desenvolveu-se um protótipo de um sistema eletrónico, chamado de “O som do teu corpo”. Este produz um som com uma frequência dependente da resistência entre os seus dois terminais (Figura 15).



Figura 15 – Protótipo de “O som do teu corpo” (esquerda); Utilização individual do “som do teu corpo” (direita).



Figura 16 – Utilização do “som do teu corpo” aos pares ou toda a turma.

A experiência em causa corresponde a pedir a cada aluno para colocar um dedo da mão em cada um dos terminais enquanto todos escutam o som correspondente. Este revela-se reiteradamente um momento de boa disposição onde as diferenças anatómicas e de estado de espírito de cada um se revelam (o nervosismo e a sudorese afetam a resistência elétrica da pele). Experimenta-se também testar cadeias de pessoas em contacto umas com as outras (aos pares ou toda a turma, Figura 16) e a variação da frequência produzida com a variação da pressão do toque.

3 Considerações finais

Este artigo teve como principal foco dar conta de atividades práticas *hands-on*, na área do som, que foram desenvolvidas no âmbito de um projeto de intervenção pedagógica na comunidade envolvente a uma instituição do ensino superior, nomeadamente em escolas do ensino básico e secundário e também em colaboração com municípios, por exemplo em feiras de aprendizagem e comemorações internacionais como é o caso do dia da criança. As referidas atividades também têm vindo a ser implementadas em programas de desenvolvimento profissional de professores.

Apesar de o foco do artigo não ser o impacto das atividades no público alvo, é importante referir que quer nas observações presenciais quer nos inquéritos aplicados a alunos e professores, verificou-se que a abordagem em causa, para além de adequada aos conteúdos curriculares, promove o interesse e a aprendizagem dos alunos. De facto, os alunos participaram nas atividades com entusiasmo e aprenderam os principais conceitos do tema em estudo.

Para além de se verificar a aprendizagem por parte dos alunos das temáticas implementadas, há a destacar o grande entusiasmo com que os mesmos participam nas atividades, fazendo questão de experimentar todos os materiais das experiências realizadas.



Figura 17 – Exemplo de desenho de agradecimento por parte dos alunos.

O empenho dos professores das turmas também foi notório e fundamental para o sucesso destas atividades. Verifica-se ainda que este entusiasmo é maior em turmas do ensino básico, nas quais os alunos manifestam a sua alegria e gratidão pela experiência vivida. Por exemplo, na Figura 17 encontra-se uma composição gráfica com uma ilustração feita pelos alunos de uma turma, a qual foi oferecida aos formadores.

Face ao exposto, destaca-se a importância de realizar atividades práticas *hands-on* de forma a motivar os alunos para a aprendizagem na área das STEAM. Em particular, a temática do som integra os

conteúdos curriculares pelo que deve ser incluída neste tipo de abordagem. Por este motivo foram desenvolvidas as experiências apresentadas na secção 2, as quais foram implementadas em turmas de escolas que vão desde o ensino básico ao secundário. Verificou-se que esta abordagem, para além de adequada aos conteúdos curriculares, promove o interesse e a aprendizagem dos alunos.

Agradecimentos

This work is supported by national funds through:

- FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I. P., no contexto do projeto PTDC/CED-EDG/32422/2017.
- Ciência Viva – Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica, no contexto do projeto Escolher Ciência - Viver com a Energia: PEC241.
- Comunidade Intermunicipal do Médio Tejo pelo apoio prestado no âmbito do PEDIME – Plano estratégico de Desenvolvimento Intermunicipal da Educação no Médio Tejo (Cofinanciado por Centro 2020).
- Centro de formação “Os Templários”, no contexto da formação de professores, inserida na ação do PNPSE - Programa Nacional de Promoção do Sucesso Escolar – candidatura POCH-04-5267-FSE-000042.

Referências

- [1] Mody, C. C. M. Scientific practice and science education. *Science Education*, 99(6), 2015, 1026-1032.
- [2] Lyons, T. Different countries, same science classes: Students’ experiences of school science in their own words. *International journal of science education*, Vol. 28(6), 2006, 591-613.
- [3] Johnston, J., *Early explorations in science: Exploring primary science and technology*. 2nd Edition. England: Open University Press, 2005.
- [4] Abrahams, I.; Reiss, M. J.; Sharpe, R. The impact of the getting practical: Improving practical work in science continuing professional development programme on teachers' ideas and practice in science practical work. *Research in Science & Technological Education*, Vol. 32(3), 2014, 263-280.
- [5] Kim, D.; Bolger, M. Analysis of Korean elementary pre-service teachers’ changing attitudes about integrated STEAM pedagogy through developing lesson plans. *International Journal of Science and Mathematics Education*, Vol. 15(4), 2017, 587-605.
- [6] Ferreira, C., Neves, P., Costa, C., & Teramo, D. Socio-constructivist teaching powered by ICT in the STEM areas for primary school. In *Information Systems and Technologies (CISTI), 2017 12th Iberian Conference on*, 2017, June, (pp. 1-5). IEEE.
- [7] Costa, M. C.; Manso, A.; Patrício, J. M. Design of a mobile augmented reality platform with game-based learning purposes. *Information*, Vol. 11(3), 2020, 127.
- [8] Matos, M. G.; Valadares, J. O efeito da actividade experimental na aprendizagem da ciência pelas crianças do primeiro ciclo do ensino básico. *Investigações em ensino de ciências*, Vol. 6 (2), 2001, 227-239.