



Estudos de novas abordagens para energia gerada por ondas sonoras

Studies on new approaches for sound wave generated energy

Antonio Cabral Rebello

rebello.acr@gmail.com

Resumo:

Este artigo visa a consolidar informações pertinentes às possibilidades de geração de energia a partir de ondas sonoras, partindo de materiais derivados de pesquisas para futura dissertação acadêmica de mesma autoria. A combinação destes dados sob uma ótica especulativa do design permite-nos condições de elaborar princípios conceituais de produtos e serviços que promovem o aproveitamento de uma fonte de energia abundante e limpa, que ainda apresenta desafios singulares para ser integrada em capacidade significativa. A produção de som, de forma geral, é encontrada em ambientes naturais e também objetos manufaturados, apresentando a possibilidade de obtenção desta energia por meios sequer imaginados até então. Como inspiração, aqui é comentado o sistema auditivo humano e algumas de suas funções, como a conversão de sinais mecânicos para elétricos, auxiliando em uma compreensão elaborada da escuta e carregando oportunidades criativas para formulação de soluções em matéria de geração de energia. Investigando também o fenômeno da piezoelectricidade, as *Wireless Sensor Networks*, e a produção de carga elétrica por meio de materiais sintéticos, abre-se espaço para novas formas de manipular propriedades biológicas. As conclusões aqui presentes, são abordagens, neste contexto, para as condições de implementação das frequências e ondas sonoras como fontes de energia.

Palavras-chave: Design Especulativo, Neurociência, Ondas sonoras, Energia Elétrica

Abstract:

*This article aims to consolidate information pertinent to the possibilities of generating energy from sound waves, using materials derived from research for a future academic dissertation by the same author. The combination of this data from a speculative design perspective allows us to develop conceptual principles for products and services that promote the use of an abundant and clean energy source, which still presents unique challenges to be integrated into a significant capacity. Sound production, in general, is found in natural environments and also manufactured objects, presenting the possibility of obtaining this energy through means not even imagined until then. As inspiration, the human auditory system and some of its functions are discussed here, such as the conversion of mechanical signals to electrical ones, helping in an elaborate understanding of listening and providing creative opportunities for formulating solutions in terms of energy generation. Also investigating the phenomenon of piezoelectricity, *Wireless Sensor Networks*, and the production of electrical charge through synthetic materials, opens up space for new ways of manipulating biological properties. The conclusions presented here are approaches, in this context, to the conditions for implementing frequencies and sound waves as energy sources.*

Keywords: *Speculative Design, Neuroscience, Sound waves, Electrical Energy*

1. Introdução:

Em Sacramento, na Califórnia, a companhia Linevision comentou sobre o princípio do uso de uma caixa de sensores a laser em torres de transmissão de energia. John Marmillo, representante da companhia nesta reportagem, identifica que a implementação desta tecnologia a várias utilidades, principalmente as torres de transmissão, poderia alterar significativamente a distribuição de energia com de forma limpa e com rapidez, pois ele levanta que as necessidades energéticas atuais visam substituir os combustíveis fósseis claramente o mais rápido possível, e comenta que muitos outros projetos ainda se encontram em espera para se mostrarem mais concretos e entrarem em vigor.

Deve ser entendido que a proposta envolvendo as torres de transmissão se assemelha a como as *Wireless Sensor Networks* funcionam, abastecidas por uma fonte energética e usadas para transmissão de dados entre dispositivos para monitoramento de áreas com diversos objetivos. Existem estudos particulares sobre elas, buscando torná-las mais eficientes e sustentáveis, através de soluções para o reabastecimento da rede, uma vez que os sensores precisam de troca de baterias (Akhtar, 2015).

Como atualmente nos encontramos em uma transição energética com uma crescente propagação de acesso a painéis solares, motores elétricos e tecnologias para melhorar acesso e eficiência a energia, investir em mais uma fonte de energia é algo que deve acontecer mais adiante, considerando que o domínio do potencial de uso das ondas sonoras ainda não se apresenta firme para ser desenvolvido em projetos mais elaborados, como será discorrido a seguir.

Através de um olhar especulativo no âmbito do design, busca-se aqui apresentar maneiras as quais a energia captada por uma fonte sonora pode começar a ajudar na formação de conceitos para auxílio aos novos aparelhos responsáveis por entregar energia que estão se tornando cada vez mais comuns, além de possibilitar a integração da energia gerada por ondas sonoras plenamente no futuro, sendo assim uma nova fonte de energia sustentável independente.

2. Captação de áudio para energia:

A execução de uma onda sonora é uma agitação nas moléculas de ar variando a pressão do ambiente. A movimentação de componentes correspondente a este feito é o que muitos mecanismos em equipamentos eletrônicos realizam durante um processo de transdução, a exemplo de um microfone que por meio deste processo faz com que nossa voz se transforme em um sinal elétrico. Estes equipamentos estão ilustrados a seguir.

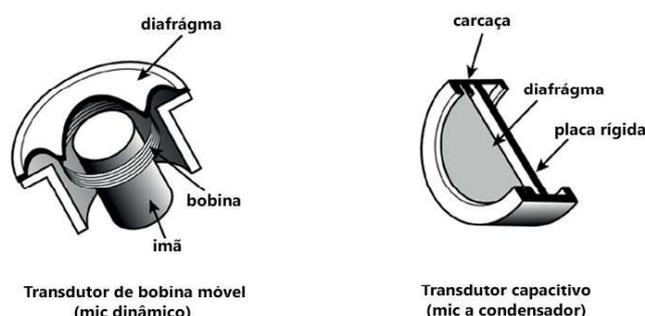


Figura 1: Transdutores em microfones dinâmicos e condensadores (fonte: Clube Home Studio)

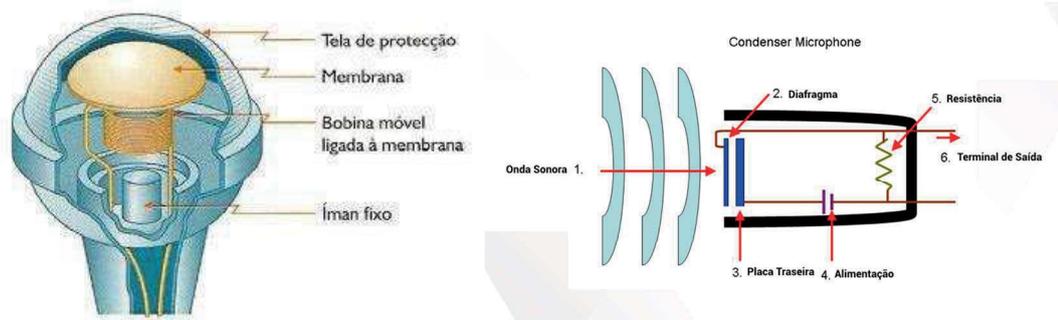


Figura 2: sistemas transdutores em um microfone dinâmico (fonte: perceber o mundo.blogs) e condensador (fonte: AvMakers)

O que é importante compreender é que a transdução irá permitir a mudança, mecanicamente, entre estados do elemento em questão, áudio como sinal mecânico para sinal elétrico. Diferentemente, um experimento realizado em laboratório pela FAZU utilizou o processo de indução magnética, evidenciado por Michael Faraday em 1831, como um princípio para geração de energia elétrica (Freitas 2010).

Foram colocados um gerador de sinal, um speaker de som e um gerador elétrico em conjunto. De forma simples, em uma sala de 60m² evidenciou-se que as ondas sonoras podem ser captadas e realizam a indução neste gerador. Ao aplicar um material simulando a forma de um funil virado para a fonte sonora, pois assim aumenta a área de contato, dispersando menos ondas.

Esse princípio gerador, por conter uma característica construtiva simples e funcional, pode se tornar viável a utilização para fins de produção de energia elétrica, podendo atender as necessidades de pessoas onde o acesso à energia convencional não se torna viável, pois o custo com linhas de transmissão é alto e mesmo alimentando diversos aparelhos de pequeno porte, no somatório será capaz de economizar muita energia gerada nos moldes convencionais. (Freitas, 2010)

Dentre os dados da proposta por Freitas (2010) ao longo da descrição de seu experimento estão documentadas as melhores frequências, que emitidas pelo gerador de sinal utilizado, permitiram melhor valor de rendimento na parte da geração de eletricidade, (118Hz a 120Hz), e a influência da distância entre os componentes que interferem no desempenho final. A principal conclusão é de que a proporção de aproveitamento em geração de energia elétrica é

maior em condições que captam o máximo da frequência emitida, no caso, utilizando o acessório em forma de funil, aumentando em 6 vezes a eficiência do sistema.

A fonte de transmissão citada e o custo ainda podem ser encarados como uma barreira para a eficiência em nossa busca por distribuição de energia sustentável, já há alguns anos. O estado atual desta questão, de forma geral, pode ser melhor compreendido olhando com mais afinco a situação enfrentada nos Estados Unidos em relação a estrutura das linhas de transmissão, de acordo com a reportagem na National Public Radio (Simons, 2023), da qual podem ser lidos os seguintes trechos:

The climate crisis demands replacing fossil fuels with green energy quickly, but thousands of wind and solar projects are looking at several-year wait times to get connected to transmission lines. To reach the country's goals to sharply cut planet-warming pollution, the U.S. needs to expand transmission capacity by 43% by 2035, according to the REPEAT Project led by Princeton University.

Sensors can help utilities get real-time data on their power lines, which can allow them to send more renewable electricity through the wires. This tech is part of a suite of innovations that could help the U.S. increase its grid capacity faster and cheaper than building new transmission lines.

A questão que precede a concretização de propostas para novas formas de se obter energia renovável é, portanto, a capacidade da infraestrutura atual. O Co-fundador da Linevision, companhia que cria sensores a laser, foi destacado nesta matéria sobre a aplicação destes sensores à grade de energia comentando que esta seria uma excelente resposta que poderia facilitar esta situação e que reduziria o custo e tempo dessa projeção de aumento na capacidade das linhas de transmissão.

Encontra-se nesta situação um exemplo de um conceito para um projeto que se relaciona à qualidade de entrega desta energia renovável. Uma nova realidade energética demanda ajustes em logística também, este é o princípio que nos auxilia a entender onde se encaixaria a energia por pressão sonora, e seu potencial futuro. O ponto levantado pelo co-fundador da empresa Linevision é de que poderíamos começar a resolver um problema que pode impactar positivamente o andamento dos projetos diretamente ligados à aquisição de energia renovável. Pensando nos sensores a laser como alicerces às tecnologias já empregadas a sistemas de transmissão, como é o caso das WSN. Como dito no início, são sistemas usados para monitorar áreas com finalidades distintas como temperatura, proximidade, gás que são operadas sem fio por uma fonte de energia (Choi, 2019),

Estas redes de sensores são abastecidas e possuem sensores levemente energizados, como citado antes. Naturalmente, desde que permitam que sejam recarregados, energia a base de som poderia otimizar esta etapa, pois dependendo de onde o sistema estiver é provável que haja alguma fonte sonora. Nas frequências otimizadas documentadas anteriormente, a energia foi gerada a partir de frequências baixas, menores que 250Hz, como indicaria o espectro sonoro.

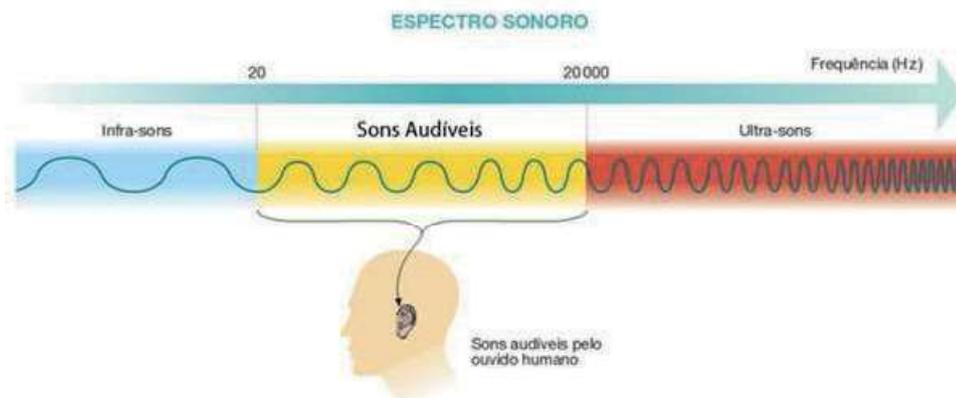


Figura 3: Localização da audição humana no espectro sonoro (fonte: Appublico)

Segundo Choi (2019) os desafios estão relacionados à baixa densidade da onda sonora oferecendo pouca eficiência energética, embora isto possa depender do contexto. Os sons ultrassônicos também são estudados para gerar energia, de acordo com Zhou (2023) e apresentam relações mais concretas com seu uso e o potencial real. Os relatos de seu trabalho mostram que a coleta de energia por ondas ultrassônicas é factível e pode gerar mais de 50 mW o que seria mais do que suficiente para alimentar certos aparelhos eletrônicos de baixa potência. Estes dados ainda não são conclusivos em relação a sensores especificamente, mas de acordo com a informação, para produzir a quantidade de energia mencionada foram utilizados dois componentes em formato anelar, um sendo um atuador piezoelétrico que responde a outro contendo características de polarização apropriadas para coletar a energia das vibrações ultrassônicas.

Há um lastro grande de vibrações que permitem um processo de transdução. Altas frequências parecem ser mais comumente estudadas, diz Zhou (2023), do que as baixas, apesar de estas possuírem uma resistência e transmissibilidade maior. É perceptível que esta forma de produção de energia, de maneira independente, é ainda imatura, mas demonstra um potencial relevante para a necessidade infraestrutural atual.

Para que não se deixe de explorar o potencial energético através das ondas sonoras, seria importante começar por questionar o que poderia ser feito desta forma em relação à capacidade de armazenamento de energia, por configurar uma situação fora da problemática de distribuição. Para esta elaboração, seria benéfico um entendimento maior sobre o rumo o qual as frequências do som tomam, principalmente dentro de um corpo humano, pois a audição é um processo que gera carga elétrica.

3. Inspiração na neurociência:

Tendo estabelecido anteriormente a definição de transdução, ela ajudará a entender com mais facilidade como o aparelho auditivo humano funciona. Ele é um transdutor natural que todos os seres humanos possuem, transformando a movimentação das moléculas de ar em carga elétrica no sistema nervoso.

Este é o mais complexo de nossos sistemas sensoriais e que se divide em múltiplas camadas no cérebro, além do aparelho auditivo que compreende o exterior e o interior do ouvido, como é colocado por Nina Kraus (2021).

"An intact ear and a full complement of functioning subcortical nuclei, dutifully firing electrical impulses in response to sound, will not result in what we perceive as sound without the auditory cortex"

Seguindo a extensão dos dados que a autora apresenta, a partir do ouvido externo as frequências tomam forma no canal auditivo e são levadas até a membrana timpânica, onde as moléculas de ar em movimento realizam pressão. Uma pressão de uma ordem infinitesimal, que a exemplo de uma corda de guitarra sendo tocada, Nina descreve uma mudança de 14.7psi para 14.700003psi. (2021, pg 25, 34)

Este movimento é o que guia todo o estímulo do conjunto ócio e então para a cóclea, esta estrutura que lembra uma concha que contém um líquido chamado perilinfa, recebendo todos os impulsos citados e através de pequenos fios. O movimento, agora deste líquido, irá estimulá-los para gerar a carga elétrica por uma combinação de componentes químicos em nosso corpo especificamente íons de cálcio e potássio (Kraus, 2021, pg 37).

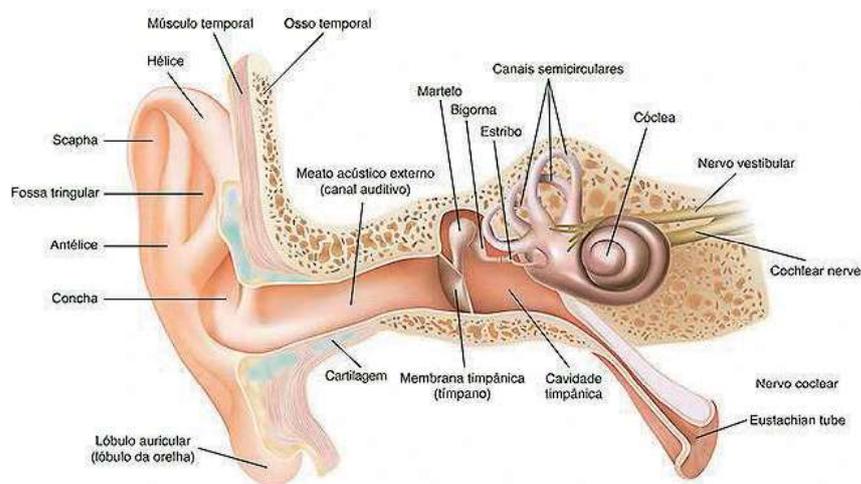


Figura 4: sistema auditivo humano (fonte: Centro Auditivo Lider)

O nervo coclear, situado na figura 4 na extremidade lateral direita é a parte que é responsável por encaminhar todos esses dados na forma de energia elétrica para uma sequência de áreas do cérebro que irão processar propriedades diferentes do som, até chegar ao córtex cerebral, a parte comumente entendida como, imageticamente falando, o cérebro.

O percurso descrito demonstra como o sistema auditivo utiliza o movimento de moléculas de ar como instrumento para gerar a carga necessária para realizar a interpretação do som, assim dependendo de uma transdução para funcionar. Como visto no microfone, mas também agora parecido com uma caixa de som, que transforma o sinal elétrico em sinal mecânico.

4. O Potencial da pressão sonora

Em uma explicação sobre o panorama tecnológico para geração de energia por som, por Jaehoon Choi (2019) coletam-se práticas e reflexões em relação a pesquisas no mundo todo, em tentativas de projetar mecanismos que aumentem seu potencial. O principal componente citado para realizar estas propostas é o ressonador.

“Typical sound energy harvesters usually consist of resonator, membrane and piezoelectric material...”

Apropriando-se deste raciocínio de conversão e geração de energia, é mantido uma espécie de sequência entre os materiais, muito semelhante aos transdutores. As pesquisas derivam de estudos sobre amplificação da pressão sonora e mecanismos de transdução, deixando destacado que o primeiro, expande-se para sistemas geradores por ressonador, que amplificam a frequência e outro por metamateriais.

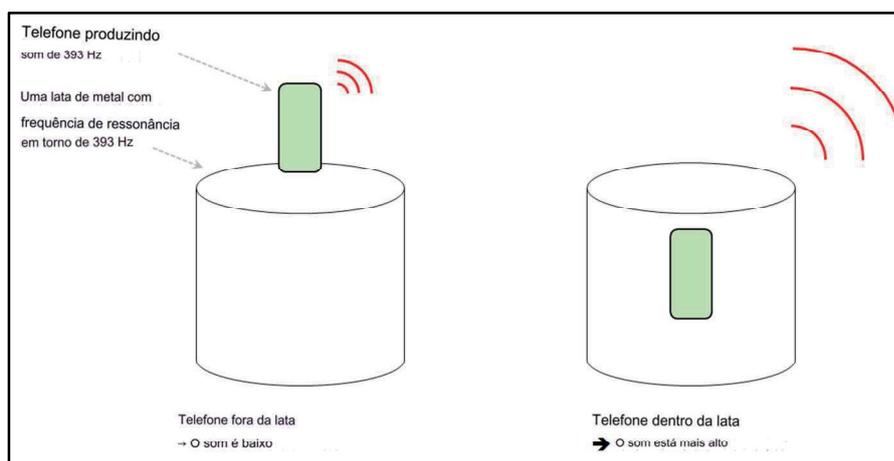


Figura 5: Representação do fenômeno da ressonância (fonte: Physics Stack Exchange)

O ressonador produz oscilação sonora em sua frequência de ressonância. Uma membrana que um lado está ligado a um ressonador e outro ligado a um material piezoelétrico oscila junto por oscilação sonora. O material piezoelétrico converte a energia mecânica em energia elétrica. Ressonadores são geralmente usados em coletores de energia sonora para amplificar o som incidente... (Choi, et al, 2019)

Os materiais denominados dessa forma são confecções sintéticas para realizar os experimentos que possibilitam alterar propriedades eletromagnéticas a fim de se obter resultados além do que é possível através de materiais na natureza (GHATAK; GORAI, 2023).

Uma das principais aplicações dos metamateriais é a manipulação das propriedades das ondas eletromagnéticas, já que cada elemento individual que compõe o metamaterial interage de uma forma diferente com a luz incidente, podendo modificar a amplitude e a fase da onda em cada região de maneira independente. (Pablo Abreu Alves, 2018)

Sua alta capacidade manipulativa tem levado ao seu estudo dentro da geração de energia por ondas sonoras, aplicações que tratam-nos como metamateriais acústicos, que irão trabalhar a partir da propriedade denominada Piezoelectricidade, fenômeno que materiais, no caso

naturais, apresentam quando geram um campo elétrico interno ao sofrerem perturbações mecânicas, cristais como quartzo são minerais piezoelétricos (Damjanovic, 2005).

As interferências ou estímulos mecânicos, funcionam como as frequências que acontecem e são captadas pelo sistema gerador, criam movimentação, no caso vibrações, que geram carga elétrica. Portanto as vibrações não precisam ser derivadas do som, mas considerando que é sabido que o limite humano de audição está entre 20hz e 20.000hz, há de considerar outras frequências fora deste espectro que possam servir ao propósito de maneiras inusitadas.

The acoustic waves are classified into infrasonic, sonic and ultrasonic waves by the ascending order of the frequency. Seismic wave is one common infrasonic wave containing substantial energy and propagating in the earth's crust. The acoustic wave that is audible is the sonic wave. In nature, the sounds of wind flows and raindrops are common sonic energy sources. (Tan, 2019)

Pois então, o potencial energético sonoro será acompanhado da evolução em metamateriais acústicos, para principalmente, baseado em um fenômeno natural, poder gerar um saldo em energia significativo. De formas especulativas, por enquanto, é possível idealizarmos equipamentos ou projetos que levam em conta os dados sobre o comportamento neurológico humano, os desafios apresentados até aqui e as possibilidades materiais atuais.

A primeira indagação desta exploração se relaciona a infraestrutura complexa da audição humana. Retomando o funcionamento da cóclea, o líquido em seu interior que junto às suas células capilares, desencadeia uma reação a diferentes químicos ao ser agitado deixando-os carregados.

Muitas partes orgânicas estão envolvidas neste momento da percepção do som, que incluem uma geração interna de energia elétrica. Como os metamateriais comentados anteriormente apresentam capacidades semelhantes aos materiais naturais piezoelétricos, trabalhar a composição destes materiais sintéticos pensados para reproduzir estas reações químicas, visando a potencialização de geração de energia, permitiria maior coleta de energia e otimização de seu armazenamento em baterias, que a princípio podem abastecer as redes WSNs e terão assim mais velocidade e quantidade de energia a oferecer para lugares com dificuldades de acesso a eletricidade.

Propriedades de metamateriais acústicos também podem ser exploradas com a intenção voltada para as frequências infrasônicas e ultrassônicas, aquelas que humanamente impossíveis de se escutar. As frequências mais baixas são as mais densas e se propagam com maior facilidade, enquanto as mais altas vão oferecer maior oscilação e agitação, estas duas situações conferem respectivamente mais oportunidades de espaço de coleta de energia e potência. Poder captar as vibrações de ondas infrassônicas, presentes na própria superfície terrestre, mudaria o cenário completamente em relação a áreas disponíveis para geração de energia e a exploração de materiais condutores destas vibrações.

É curioso também que sons que são impossíveis para o ser humano reconhecer, podem oferecer cenários relevantes para a questão, mas estes ruídos inaudíveis continuariam a somente poder ser imaginados, mas perceptíveis por outros seres vivos com suas particularidades auditivas, fato que levanta mais perguntas e inspirações para a abrangência e possibilidades por suas capacidades diferenciadas, demonstradas a seguir:

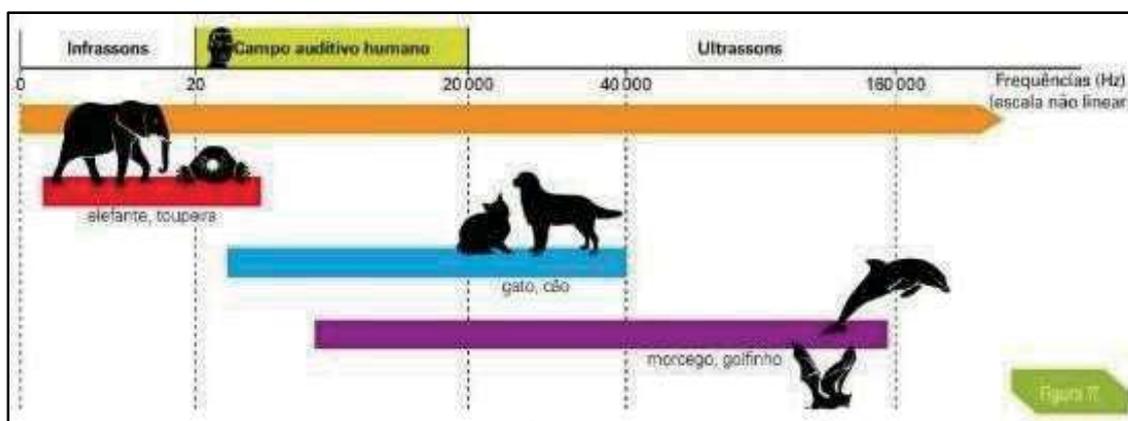


Figura 6: Espectro auditivo entre seres vivos mostrando audição infrassônica (fonte: Brainly)

5. Conclusões:

As relações proporcionadas por todos os dados em relação a tecnologias para coleta de energia e o comportamento do áudio nos corpos humanos mostram uma fronteira do entendimento de frequências e ondas sonoras, também ampliando o conhecimento e aplicação dos metamateriais acústicos para soluções futuras por ser uma fonte abundante e de origem limpa em grande parte dos casos.

É clara a semelhança entre o corpo humano e as formas de produção de energia elétrica utilizadas. Em uma escala pequena, o sistema auditivo conduz os impulsos elétricos para o sistema nervoso que, processados pelo cérebro, resultam no que ouvimos. A inspiração neste sistema em relação ao potencial da energia elétrica gerada por som, sinaliza a proporção entre os elementos antes da transdução e o som ouvido de fato. O resultado vindo deste processo é grandioso proporcionalmente falando, considerando que é desencadeado por um estímulo quase imensuravelmente pequeno.

O longo estudo relacionado a sensores e transmissão sem fio, revela problemas estruturais para o avanço de suas tecnologias a uma escala maior, onde energia gerada por onda sonora possa ser direcionada, em um futuro breve, ao abastecimento de componentes dessas redes de sensores. Um grande benefício também pode ser encontrado nestas capacidades buscando evoluir sua aplicação para atender a projetos de *Smart Cities* aproximando a energia distribuída totalmente sem fio à realidade, o carregamento por proximidade em larga escala e diminuição de metade dos custos entre montagem de infraestrutura e transmissão (Xie, 2023).

Referências:

ALVES, Pablio Abreu. Metamateriais: Uma Breve Introdução. In: Maria das Graças Gomes. PET Química UFC. Fortaleza, 16 nov. 2018. Disponível em:

<http://www.petquimica.ufc.br/metamateriais-uma-breve-introducao/>. Acesso em: 16 set. 2023.

AKHTAR, Fayaz; REHMANI, Mubashir Husain. Energy replenishment using renewable and traditional energy resources for sustainable wireless sensor networks: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Pakistan: Elsevier, ed. 45, p. 769-784, 27 fev. 2015. Anual. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115001094>. Acesso em: 20 out. 2023.

CHOI, Jaehoon; JUNG, Inki; KANG, Chong-Yun. A brief review of sound energy harvesting. *Nano energy*, v. 56, p. 169-183, 2019.

DAMJANOVIC, Dragan. Piezoelectricity. In: *Encyclopedia of Condensed Matter Physics*. Lausanne, Switzerland: Elsevier, 2005. p. 300-309,

FREITAS, Reginaldo. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR ONDAS SONORAS (UMA PROPOSTA DE SUSTENTABILIDADE). *FAZU em Revista*, Uberaba, ano 7, p. 154-158, Anual. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/geração-de-energia-elétrica-por-ondas-sonoras>. Acesso em: 22 ago. 2023.

GHATAK, Rowdra; GORAI, Abhik. Metamaterials: Engineered Materials and its Applications in High Frequency Electronics. *encyclopedia of Materials: Electronics*, India: Academic Press, ed. 3, p. 419-400, 12 abr. 2023. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012819728800022X>. Acesso em: 10 set. 2023.

KRAUS, Nina. *Of Sound Mind: How Our Brain Constructs A Meaningful Sonic World*, Estados Unidos: MIT Press, 2021. 368 p.

SODANO, Henry A.; INMAN, Daniel J.; PARK, Gyuhae. Comparison of piezoelectric energy harvesting devices for recharging batteries. *Journal of intelligent material systems and structures*, v. 16, n. 10, p. 799-807, 2005.

SIMON, Julia. Why lasers could help utilities make the electrical grids greener. *In: .. NPR*. Washington, D.C., EUA, 11 ago. 2023. Disponível em:

<https://www.npr.org/2023/08/11/1193393765/why-lasers-could-help-utilities-make-the-electrical-grids-greener>. Acesso em: 21 set. 2023.

TAN, Ting et al. Renewable energy harvesting and absorbing via multi-scale metamaterial systems for Internet of things. *Applied Energy*, v. 254, p. 113717, 2019.

WU, Nan; BAO, Bin; WANG, Quan. Review on engineering structural designs for efficient piezoelectric energy harvesting to obtain high power output. *Engineering Structures*, v. 235, 2021.

XIE, Haonan et al. Wireless energy: Paving the way for smart cities and a greener future. *Energy and Buildings*, China: Elsevier, ed. 297, 15 out. 2023. Anual. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778823006990>. Acesso em: 19 out. 2023.



ZHOU, Suo et al. Ultrasound vibration energy harvesting from a rotary-type piezoelectric ultrasonic actuator. *Mechanical Systems and Signal Processing*, China: Elsevier, ed. 197, 15 ago. 2023. Anual. Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/S0888327023002443](https://www.sciencedirect.com/science/article/S0888327023002443). Acesso em: 19 out. 2023.