

EXPLORANDO ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA DE UM GERADOR DE ENERGIA ONDOMOTRIZ COM UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO.

Exploring some physics concepts in a wave energy generator with a low-cost prototype.

Miguel Nuno de Oliveira Ferraz [miguelnof@gmail.com]

Aline Guerra Dytz [afisica@gmail.com]

Everaldo Arashiro [earashiro@furg.br]

Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF - Polo 21)

Universidade Federal do Rio Grande

Av. Itália, km 8, bairro Carreiros, Rio Grande, RS, Brasil, 96203-900

João Francisco Prolo Filho [joaoprolo@furg.br]

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO)

Universidade Federal do Rio Grande

Av. Itália, km 8, bairro Carreiros, Rio Grande, RS, Brasil, 96203-900

Recebido: 16/01/26

Aceito: 23/03/26

Resumo

Este artigo apresenta uma proposta didática desenvolvida em São José do Norte - RS, utilizando a forte relação da comunidade com os recursos hídricos para contextualizar o ensino de Física. Para isso, construiu-se um protótipo de gerador de energia ondomotriz de baixo custo (com tubos e conexões de PVC, hélice do tipo Wells e um pequeno motor simples DC), capaz de converter o movimento das ondas em eletricidade. A implementação da proposta em uma turma do 3º ano do Ensino Médio, e foi fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O protótipo serviu como organizador prévio, integrando experimentação e teoria para abordar conteúdos como fontes renováveis de energia, transformação e conservação de energia, hidrodinâmica e eletromagnetismo. Os resultados indicam que aliar contexto sociocultural e prática experimental promove uma aprendizagem mais profunda e significativa, fortalecendo o papel da escola na formação de cidadãos críticos, informados e conscientes sobre os desafios e as possibilidades da geração de energia a partir de fontes renováveis.

Palavras-chave: energia ondomotriz; energia renovável; protótipo de baixo custo; ensino médio; produto educacional.

Abstract

This paper presents a didactic proposal developed in São José do Norte - RS, utilizing the community's strong relationship with water resources to contextualize Physics teaching. To this end, a low-cost wave energy generator prototype was constructed (using PVC pipes and fittings, a Wells-type turbine, and a simple small DC motor), capable of converting wave motion into electricity. The proposal was implemented in a 12th-grade high school class and was grounded in Ausubel's

Meaningful Learning Theory. The prototype served as an advance organizer, integrating experimentation and theory to address topics such as renewable energy sources, energy transformation and conservation, hydrodynamics, and electromagnetism. The results indicate that combining socio-cultural context with experimental practice promotes deeper and more meaningful learning, strengthening the school's role in forming critical, informed, and conscious citizens regarding the challenges and possibilities of power generation from renewable sources.

Keywords: wave energy; renewable energy; low-cost prototype; high school; educational product.

1. Introdução

O ensino de Física no Ensino Médio, muitas vezes, enfrenta dificuldades relacionadas ao desinteresse dos estudantes. A prevalência de uma abordagem tradicional - essencialmente caracterizada pela memorização, excesso de formalismo matemático e escassez de conexões com o mundo tangível - tende a reforçar uma visão da disciplina como abstrata e sem aplicações práticas. Alguns autores têm apontado que essa percepção de falta de sentido é um dos fatores que mais prejudica a aprendizagem efetiva (Ausubel, 2003; Moreira & Masini, 1982).

Contudo, a realidade circundante dos estudantes oferece, frequentemente, um amplo laboratório natural ignorado pelas práticas pedagógicas. É o caso do município de São José do Norte - RS. Inserido em uma geografia entre Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico, o território possui uma dinâmica socioeconômica e cultural ligada aos recursos hídricos, seja pela pesca, pelo transporte aquaviário ou pelas atividades costeiras. Apesar dos jovens locais possuírem uma rica bagagem empírica sobre a dinâmica das águas, observa-se um contraste: esses saberes raramente figuram como ponto de partida nas aulas de Física, estabelecendo um hiato entre o "mundo vivido" pelo estudante e o "mundo conceituado" pela escola.

Sob a ótica da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, essa desconexão é uma oportunidade desperdiçada. Ausubel, Novak & Hanesian (1978) postulam que o fator isolado mais importante na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Nesse sentido, a vivência cotidiana dos estudantes de São José do Norte atua como fonte de "subsúncos" — conceitos prévios que servem de ancoragem cognitiva para a assimilação de novos conhecimentos (Moreira & Masini, 1982).

Diante dessa lacuna e fundamentado nessa premissa teórica, este trabalho propõe a energia ondomotriz, a geração de energia elétrica a partir do movimento das ondas, como tema gerador. Além de sua relevância contemporânea nos debates sobre sustentabilidade e matriz energética, o tema dialoga diretamente com o ambiente costeiro local, transformando a experiência de vida dos estudantes em uma ponte para a compreensão de conceitos físicos complexos, como hidrodinâmica e eletromagnetismo.

Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF – Polo 21/FURG), este artigo apresenta uma proposta didática centrada na construção e análise de um protótipo de gerador de energia ondomotriz. Produzido com materiais de baixo custo, o dispositivo atua não apenas como ilustração, mas como um organizador prévio experimental,

permitindo aos estudantes observar, testar e discutir fenômenos que, na ausência de tal contextualização, permaneceriam restritos à abstração teórica.

2. Fundamentação teórica

A revisão bibliográfica realizada nas dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e no Google Acadêmico, abrangendo a última década, tendo como palavras-chave os termos, “energia”, “energias renováveis”, “ensino de Física”, “ensino médio” e “protótipos” revelou a ausência de material referente ao ensino da energia ondomotriz. Enquanto propostas pedagógicas envolvendo energia solar (Souza, 2016; Cruz, 2019; Seguro, 2019) e eólica (Monteiro, 2018; Carvalho, 2021; Alves, 2023; Rodrigues, 2023) são frequentes, a energia oceânica permanece praticamente inexplorada como objeto central no ensino de Física, a despeito do Brasil possuir uma extensa zona costeira, superior a 8.500 km, o que justifica a pertinência de investigar o potencial didático deste recurso. A abordagem da energia ondomotriz mostra-se promissora tanto para o ensino de conceitos físicos quanto para a formação crítica e ambiental dos estudantes, inserindo-se no contexto da crise energética global e da necessidade de diversificação da matriz energética através de fontes renováveis.

Do ponto de vista pedagógico, a intervenção fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1978), selecionada em virtude das características socioculturais locais. Segundo essa perspectiva, a aprendizagem ocorre quando novos conhecimentos se relacionam de forma substantiva e não arbitrária com a estrutura cognitiva prévia do aluno, ancorando-se em conhecimentos já existentes, denominados subsunçores. Para facilitar esse processo e evitar a aprendizagem mecânica, utiliza-se um protótipo conversor de energia das ondas (Figura 1) como um organizador prévio. A interação com o dispositivo físico em contexto real visa superar a passividade discente, estimulando a formulação de hipóteses, o debate e a postura investigativa, alinhando-se a uma abordagem construtivista onde o professor atua como mediador de reflexões e questionamentos.



Figura 1: Versão final do protótipo gerador de energia ondomotriz. Fonte: Arquivo dos autores.

No âmbito dos conceitos físicos, o funcionamento do protótipo permite explorar três eixos temáticos: energias renováveis, hidrodinâmica e eletromagnetismo. O princípio de funcionamento baseia-se na coluna de água oscilante (Falcão & Henriques, 2016), onde as ondas do mar, que possuem uma combinação de energia cinética e potencial, provocam a oscilação de uma coluna de água no interior de uma câmara. Esse movimento desloca o ar retido, gerando um fluxo bidirecional de compressão e expansão que é canalizado para uma turbina (Figura 2).

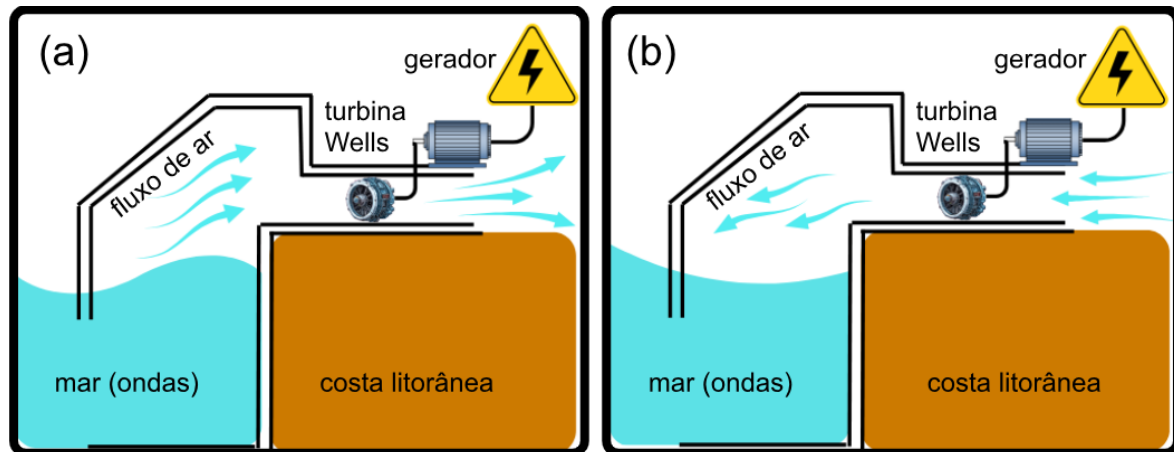


Figura 2: Representação esquemática do conversor ondomotriz do tipo coluna de água oscilante. (a) Elevação da superfície livre. (b) Rebaixamento da superfície livre. Fonte: Arquivo dos autores.

No esboço do dispositivo desenvolvido (Figura 3), a geometria da tubulação propicia a discussão da equação da continuidade

$$A_1 v_1 = A_2 v_2, \quad (1)$$

em que a base onde as oscilações das ondas são captadas (A_1), apresenta uma área de seção transversal maior do que a seção transversal do cano (A_2) que deriva para a turbina, onde o ar entra e sai. Sendo assim, de acordo com a equação da continuidade, ao diminuir a área da seção transversal, a velocidade do fluido obrigatoriamente aumenta, otimizando a rotação da turbina.

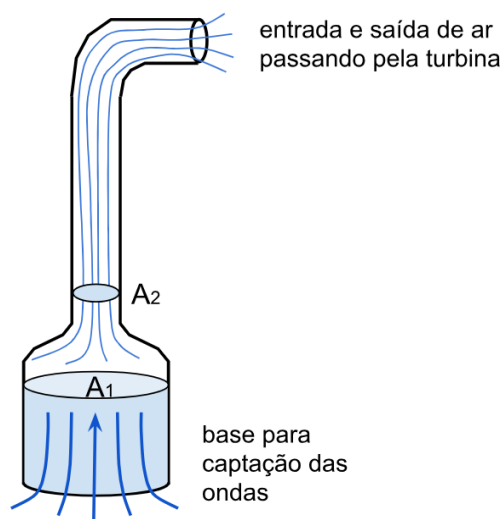


Figura 3: Esboço do protótipo ondomotriz mostrando o estreitamento na tubulação de A₁ para A₂.
Fonte: Arquivo dos autores.

A alteração da velocidade de escoamento de um fluido também interfere na pressão exercida por ele e na sua altura dentro de uma coluna. É o princípio de Bernoulli (Figura 4), outro conceito fundamental da hidrodinâmica que relaciona essas variáveis e também pode ser abordado.

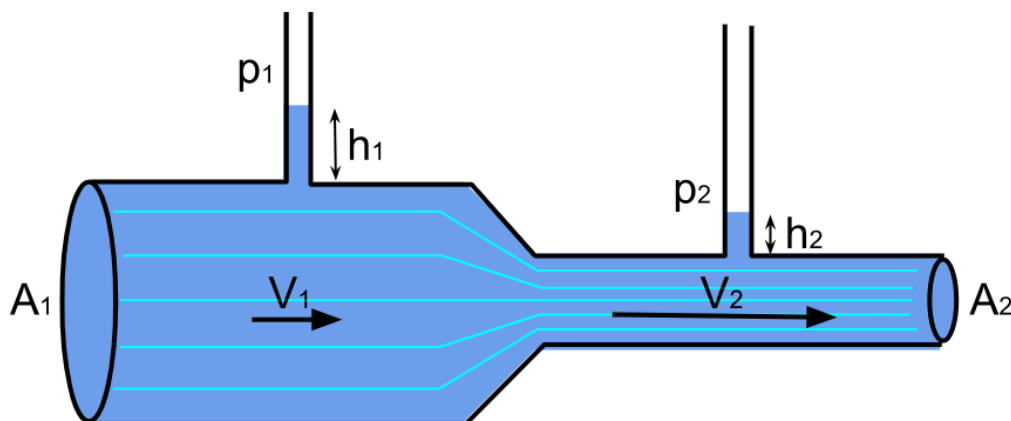


Figura 4: Esquema representativo do princípio de Bernoulli. Fonte: Os autores

O princípio de Bernoulli pode ser representado por uma equação que se origina da lei da conservação da energia mecânica e demonstra que, quando a velocidade (v) do fluido de certa densidade (ρ) aumenta, a sua pressão (p) diminui e vice-versa.

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2. \quad (2)$$

A conversão da energia cinética do ar que escoar pela tubulação para a energia mecânica rotacional é realizada por uma turbina Wells (Figura 5a), inventada na década de 1970 e é

caracterizada por ter pás com perfis aerodinâmicos simétricos posicionados a 90° em relação ao eixo. Essa configuração permite que o rotor gire sempre no mesmo sentido, independentemente da direção do fluxo de ar (da Cunha Dias *et. al.*, 2013).

A explicação física para o torque gerado também reside na aplicação do princípio de Bernoulli. Devido à simetria das pás, o ar percorre distâncias diferentes nas superfícies, criando uma diferença de velocidade e, consequentemente, um diferencial de pressão que resulta em uma força de sustentação perpendicular ao fluxo, impulsinando o rotor (Figura 5b).

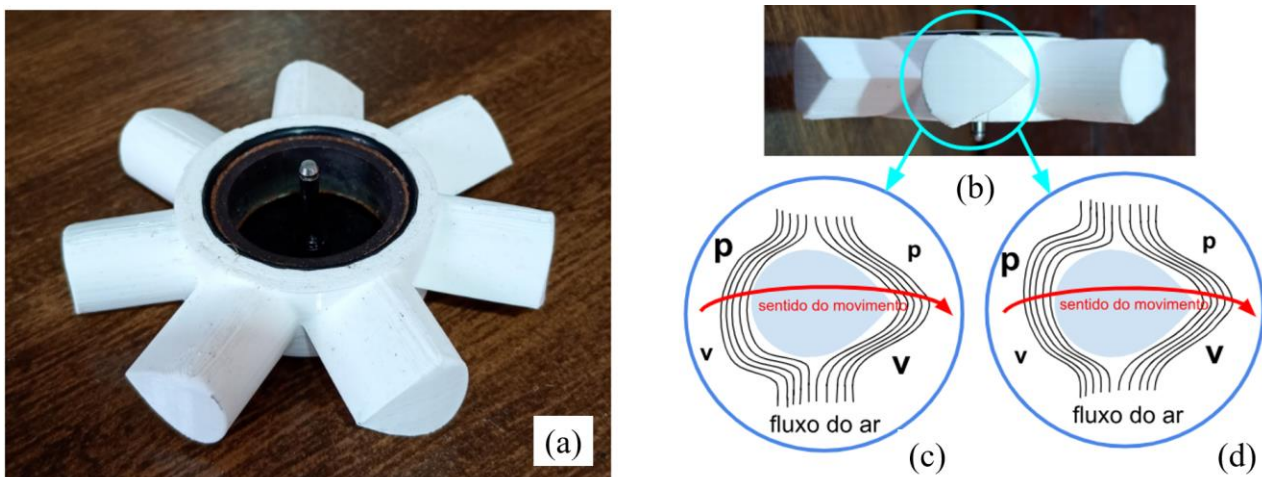


Figura 5: (a) Turbina Wells usada no protótipo ondomotriz. (b) Turbina Wells em perfil. (c) Esquema representativo do efeito do princípio de Bernoulli nas pás da turbina Wells com fluxo de ar ascendente; (d) Esquema representativo do efeito do princípio de Bernoulli nas pás da turbina Wells com fluxo de ar descendente. Fonte: Os autores.

A etapa final do processo do gerador ondomotriz envolve a transformação da energia mecânica em elétrica através do eletromagnetismo. O acoplamento da turbina a um motor DC (utilizado como gerador) para acender um LED (Figura 6), concretiza os conceitos de indução eletromagnética.



Figura 6: Imagem do dispositivo gerador de energia ondomotriz em funcionamento com a luz do LED acesa no detalhe. Fonte: Arquivo dos autores.

O fenômeno observado permite introduzir conceitos como campo magnético (B) e suas linhas de campo (Figura 7a), bem como o fluxo magnético (Φ) (Figura 7b),

$$\Phi = BA \cos \theta, \quad (3)$$

que depende da intensidade do campo magnético (B), do tamanho da área (A) e da inclinação da área em relação às linhas do campo, ou seja, o ângulo (θ) entre B e a normal da área A .



Figura 7: Representação esquemática (a) das linhas de campo magnético e do (b) do fluxo magnético Φ passando por uma determinada área A . Fonte: Imagem gerada por Inteligência Artificial (Google Gemini), elaborada pelos autores.

Esses conceitos são fundamentais para a compreensão da Lei de Faraday, também conhecida como lei da indução eletromagnética, a qual afirma que a variação no fluxo de campo magnético através das bobinas do gerador com N voltas induz o surgimento de uma corrente elétrica e, conseqüentemente de um potencial elétrico medido em volts (V) que, por razões históricas, é chamado de força eletromotriz induzida (ε),

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (4)$$

O sentido da corrente induzida e a conservação da energia são explicados pela Lei de Lenz, que estabelece que o campo magnético induzido atua de forma a opor-se à variação do fluxo magnético que o originou (Figura 8).

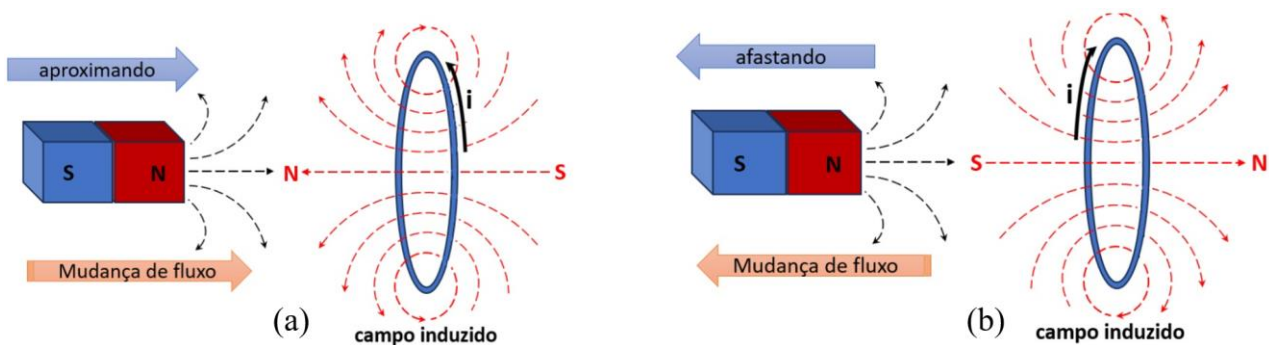


Figura 8: (a) Para se opor ao norte magnético do ímã que se aproxima, a bobina produz também um norte magnético. (b) Para se opor ao norte magnético do ímã que se afasta, a bobina produz um sul magnético. Fonte: Os autores.

Matematicamente, a lei de Lenz determina o sentido da corrente elétrica induzida pela variação do fluxo magnético. Isso traduz-se em um sinal negativo atribuído à lei da indução eletromagnética.

A determinação vetorial do sentido da corrente pode ser didaticamente ilustrada pela regra da mão direita (Figura 9),

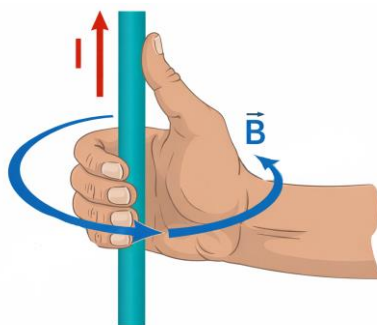


Figura 9: Regra da mão direita, o campo magnético (B) que é gerado ao redor desse fio irá girar no mesmo sentido dos quatro dedos curvados. Já o sentido da corrente elétrica (I) é apontado pelo dedão. Fonte: Imagem gerada por inteligência artificial (ChatGPT / OpenAI), elaborada pelo autor.

3. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do produto educacional partiu de um desenho conceitual (Figura 10) visando a construção de um protótipo capaz de converter a energia das ondas em energia elétrica. O funcionamento baseia-se na oscilação do nível da água em uma câmara, gerando um fluxo de ar que faz movimentar a hélice acoplada na extremidade mais estreita.

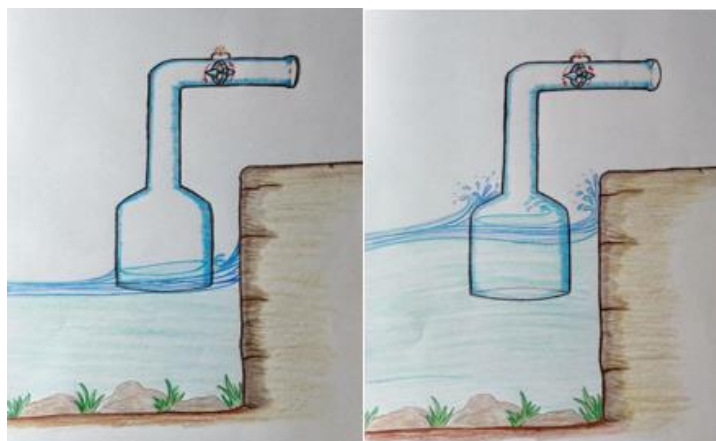


Figura 10: Desenho conceitual do protótipo gerador de energia ondomotriz. Fonte: Os autores.

As instruções detalhadas para a construção do dispositivo ondomotriz faz parte do manual que disponibilizamos em Ferraz, Prolo Filho & Arashiro (2026). Mas de maneira sucinta, a estrutura

física foi confeccionada com tubos e conexões de PVC e um galão vazio de 20 litros de água (Figura 1). O sistema de conversão utilizou uma turbina do tipo *Wells*, produzida via impressão 3D (Figuras 5a e 5b), acoplada a um motor DC com tensão de saída entre 0,01 e 5,5 V e corrente entre 0,01 e 100 mA. A opção pela impressão 3D deveu-se à acessibilidade à tecnologia e, à precisão necessária para obter pás com perfil simétrico, aerodinamicamente eficientes e balanceadas. O modelo digital criado para a turbina está disponível em acesso aberto (Ferraz, Prolo Filho & Arashiro, 2026). No entanto, na ausência deste recurso, destaca-se a viabilidade de construção utilizando materiais alternativos, conforme demonstrado por Kumar (2015). Para evidenciar a geração de eletricidade, conectou-se ao motor um diodo emissor de luz (LED) (Figura 6). Para assegurar o acendimento do LED mesmo em baixas rotações, integrou-se ao circuito um elevador de tensão, conhecido por Ladrão de Joule (Figura 11). Ressalta-se, contudo, que a utilização deste componente é facultativa e excede o escopo deste artigo, mas informações sobre o seu funcionamento e sua construção podem ser consultados em Achmad & Muslim (2021).

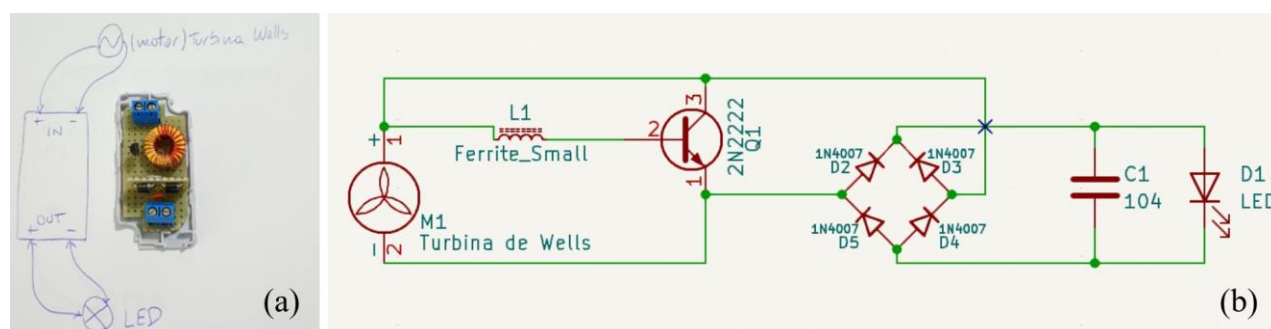


Figura 11: Ladrão de Joule utilizado para maximizar o brilho do LED mesmo em baixa rotação da da turbina Wells, em (a) o dispositivo e em (b) o diagrama do seu circuito elétrico. Fonte: Os autores.

O produto educacional desenvolvido foi utilizado como recurso central de uma sequência didática aplicada a uma turma do 3º ano do Ensino Médio do Instituto Estadual de Educação São José, no município de São José do Norte - RS. A aplicação pedagógica foi realizada mediante adesão voluntária e esclarecimento sobre a metodologia ativa adotada, na qual o professor atuou como mediador. Antes de iniciar as atividades, aplicou-se uma avaliação diagnóstica com dez questões de múltipla escolha para mapear os conhecimentos prévios dos conceitos físicos a serem abordados.

A sequência didática foi organizada em eixos temáticos, apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 1.: Sequência das atividades didáticas desenvolvidas.

Atividades	Duração em horas-aula	Dinâmica	Recursos	Local	Avaliação
Manuseio do protótipo	2	Atividade prática em saída de campo	Protótipo ondomotriz	Prainha	Elaborar texto com suas considerações e questionamentos
Energias renováveis	2	Conversa, debate e pesquisa	Texto e chromebook	Sala de aula e sala de mídias	Produzir uma apresentação de slides

Transformações de energia	4	Conversa, debate e pesquisa	Maquetes das usinas, texto e chromebook	Sala de aula e sala de mídias	Apresentação de seminário
Vazão	2	Medir experimentalmente a velocidade do fluxo de ar	Canos de PVC, secador de cabelos, anemômetro e roteiro do experimento	Sala de aula	Completar tabela medindo e calculando as grandezas relacionadas
Equação da continuidade	2	Verificar experimentalmente a perda de ar nas reduções	Canos de PVC, secador de cabelos e anemômetro	Sala de aula	Completar tabela calculando os valores teóricos da vazão e da continuidade
Princ. de Bernoulli	2	Verificar experimentalmente a relação entre a velocidade e a pressão	Dispositivo feito com garrafas PET, mangueira de nível e roteiro do experimento	Laboratório de ciências	Completar questionamento direcionado
Simulador PhET Colorado - Pressão do Fluido e Fluxo	2	Verificar a influência das diversas variáveis envolvidas na dinâmica dos fluidos	Chromebooks e roteiro da simulação	Sala de mídias	Completar questionamento direcionado
Indução eletromagnética	2	Observar e verificar experimentalmente os fatores envolvidos na indução eletromagnética	Lanterna de Faraday, cooler FAN e roteiro do experimento	Sala de mídias	Completar questionamento direcionado
Eletroímãs	2	Produzir um eletroímã e verificar experimentalmente as suas variáveis	Fio de cobre, pregos, pilhas e roteiro do experimento	Sala de mídias	Completar questionamento direcionado
Simulador PhET Colorado - Laboratório Eletromagnético de Faraday	2	Verificar a influência das diversas variáveis envolvidas no eletromagnetismo	Chromebooks e roteiro da simulação	Sala de mídias	Completar questionamento direcionado

A etapa inicial e central da sequência didática consistiu em uma saída de campo à área costeira local, conhecida popularmente como “prainha”, situada no centro da cidade de São José do Norte - RS. A escolha deste local foi estratégica, priorizando a segurança dos estudantes em

detrimento de áreas com mar agitado. Devido à calmaria das águas neste ambiente, a metodologia de uso do protótipo foi adaptada para uma simulação ativa (Figura 12): os estudantes posicionaram-se à beira do cais e realizaram manualmente o movimento vertical do dispositivo submerso, imitando a oscilação das ondas para o funcionamento do dispositivo.

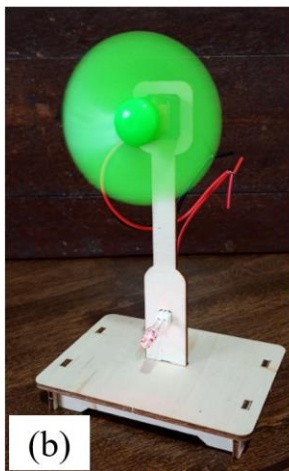


Figura 12: Estudantes manuseando o protótipo durante a saída de campo. Fonte: Os autores.

No tema de energias renováveis, foram utilizadas maquetes didáticas como recurso de visualização e interação. Com exceção da biomassa e da energia geotérmica, empregaram-se miniaturas representativas das demais usinas estudadas para reproduzir os processos de conversão energética característicos de cada matriz. A utilização desses modelos (Figura 13) teve como objetivo pedagógico demonstrar que, à exceção da tecnologia solar fotovoltaica, as fontes abordadas compartilham ciclos de transformação semelhantes, baseados na geração de movimento para acionar um gerador eletromagnético. Como estratégia de avaliação e encerramento deste módulo, adotou-se a realização de seminários, nos quais os estudantes socializaram os resultados de suas pesquisas utilizando recursos expositivos próprios.



(a)



(b)



(c)

Figura 13: Maquetes utilizadas na atividade das transformações de energia. (a) Hídrica. (b) Eólica. (c) Solar fotovoltaica. Fonte: Os autores.

Para o estudo da hidrodinâmica, foram elaborados experimentos com materiais alternativos. A investigação da vazão e da equação da continuidade utilizou um secador de cabelos, anemômetro digital e tubulações de PVC com diâmetros de 50 mm, 32 mm e 25 mm. O Princípio de Bernoulli foi abordado através de um aparato construído com garrafas PET e mangueira de nível.

Já para o estudo dos conceitos da hidrodinâmica relacionados ao funcionamento do protótipo ondomotriz, implementou-se um conjunto de práticas experimentais e virtuais. Para a investigação da vazão e da equação da continuidade, desenvolveu-se um experimento utilizando novamente tubulações de PVC com diâmetros de 50 mm, 32 mm e 25 mm, escolhidas para facilitar a determinação das áreas de seção transversal, embora materiais alternativos, como garrafas PET, também pudessem ser empregados. A velocidade do fluxo de ar foi aferida com um anemômetro e, para minimizar erros de medição decorrentes da sensibilidade do instrumento, os estudantes estabeleceram um protocolo metodológico de padronização das posições dos componentes na bancada (Figura 14a). O Princípio de Bernoulli foi abordado em laboratório por meio de um aparato construído com garrafas PET, mangueira de nível e base de madeira, utilizando um secador de cabelos para induzir o fluxo de ar (Figura 14b). Como estratégia de consolidação do módulo de hidrodinâmica, utilizou-se o simulador PhET Colorado (*Pressão do Fluido e Fluxo*) (Figura 14c). A ferramenta computacional possibilitou a manipulação interativa de variáveis e a análise de resultados em tempo real, promovendo uma postura investigativa. Ao longo de todas as etapas, a articulação teórica foi mediada por questionários direcionados, assegurando que as observações experimentais fossem constantemente conectadas com o funcionamento do protótipo ondomotriz.

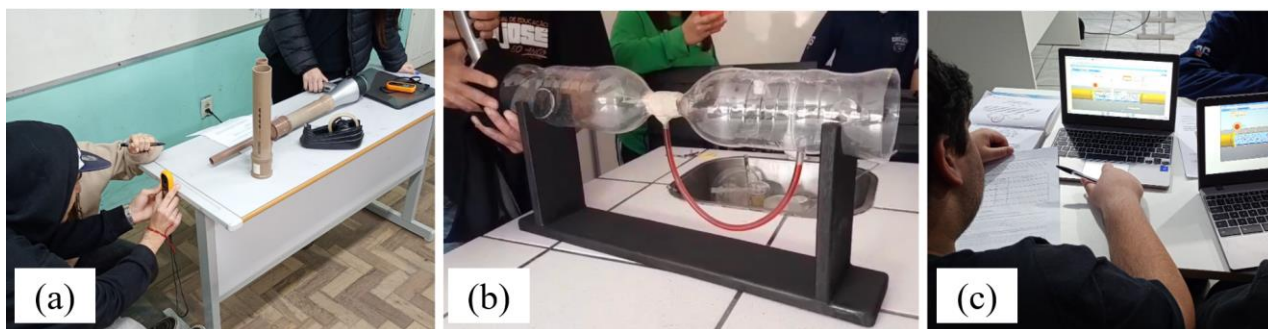


Figura 14: Algumas imagens das atividades abordando os conceitos de hidrodinâmica. (a) Medindo a velocidade do fluxo de ar. (b) Experimento abordando o princípio de Bernoulli. (c) Uso do simulador PhET Colorado sobre Pressão do Fluido e Fluxo. Fonte: Os autores.

O último eixo temático abordou a geração de energia elétrica, focando-se nos conceitos de eletromagnetismo e indução eletromagnética, essenciais para o funcionamento do motor elétrico. Para reduzir a abstração inerente a temas como campo magnético e fluxo elétrico, e utilizando o protótipo ondomotriz como organizador prévio, a estratégia didática foi dividida em três etapas principais: análise estrutural de motores, construção de eletroímãs e simulação virtual.

Na etapa inicial, utilizou-se como recurso introdutório uma "Lanterna de Faraday" (KJMagnetics, 2011) (Figura 15a), dispositivo confeccionado com tubo de PVC, ímã de neodímio e bobina de fio de cobre conectada a um LED. A manipulação do objeto permitiu aos alunos

verificarem empiricamente que a variação do fluxo magnético (gerada pela agitação) induz corrente elétrica. O uso de uma bússola auxiliou na identificação do campo magnético do ímã oculto no dispositivo. Na sequência, procedeu-se à desmontagem de coolers de computador (Figura 15b). Essa atividade prática possibilitou aos estudantes estabelecer analogias estruturais entre a lanterna de Faraday, o cooler e o motor do protótipo ondomotriz, identificando a tríade principal para a indução: ímã, bobina e movimento relativo. A formalização teórica foi apoiada por questionários guiados e leitura de textos técnicos.

Para facilitar a compreensão da Lei de Lenz e da regra da mão direita, utilizou-se uma maquete didática interativa representando um ímã e um solenoide (Figura 15c). O recurso permitiu demonstrar visualmente o sentido da corrente induzida e a oposição do campo magnético induzido à variação do fluxo, materializando conceitos abstratos de polaridade magnética.

A atividade prática seguinte consistiu na construção investigativa de eletroímãs. Organizados em grupos, os alunos utilizaram pregos, fio de cobre esmaltado e pilhas para confeccionar seus dispositivos (Figura 15d). A dinâmica incentivou a testagem de variáveis, como a influência do número de espiras e da quantidade de pilhas na intensidade da força magnética, promovendo a troca de experiências e a análise comparativa entre os grupos.

Para encerrar o módulo, utilizou-se o simulador PhET Colorado (Laboratório Eletromagnético de Faraday) (Figura 15e). A ferramenta virtual complementou as atividades experimentais, permitindo a visualização de linhas de campo e do comportamento do fluxo magnético em tempo real. A integração do simulador visou mitigar as dificuldades de aprendizagem associadas à invisibilidade dos fenômenos eletromagnéticos, consolidando a conexão entre os conhecimentos prévios ativados pelo protótipo e a formalização científica.

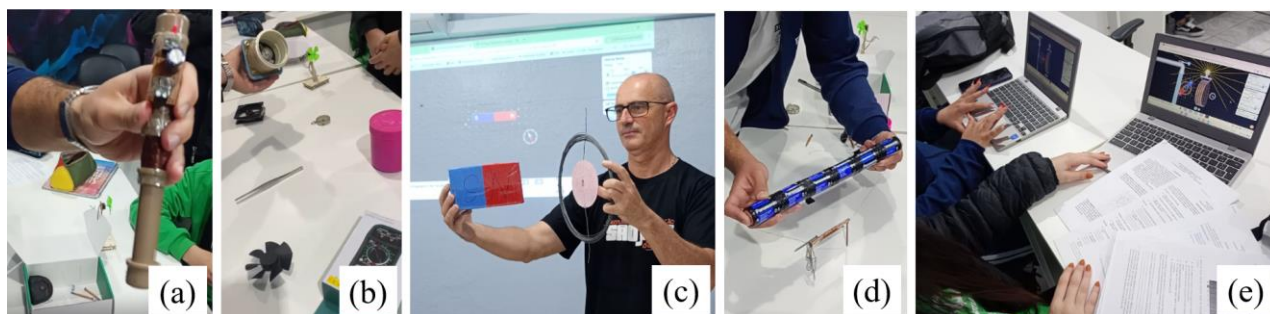


Figura 15: Imagens da sequência de atividades práticas desenvolvidas com recursos alternativos para abordar os conceitos de eletromagnetismo e indução eletromagnética. (a) Lanterna de Faraday. (b) Desmontagem de um cooler. (c) Construção de um eletroímã. (d) Explicação da indução eletromagnética com maquete de ímã e solenoide. (e) Utilização do simulador PhET Colorado. Fonte: Os autores.

4. Resultados e Discussões

A sequência didática promoveu um impacto positivo ao articular os conteúdos de Física ao contexto local dos estudantes. E a saída de campo à “prainha” demonstrou ser um elemento motivador central, visto que esta etapa prática priorizou a investigação ativa em detrimento da exposição teórica passiva. O professor atuou como mediador, estimulando a formulação de hipóteses por meio de questionamentos sobre a natureza das energias renováveis, as transformações energéticas observadas, a mecânica da hélice e o acionamento do LED. Observou-se um elevado

engajamento da turma, que explorou variáveis como a amplitude e a velocidade do movimento, correlacionando-as empiricamente com a intensidade do fluxo de ar na saída da tubulação e o brilho do LED, despertando a intencionalidade dos estudantes em aprender — condição essencial para a aprendizagem significativa segundo Ausubel.

O manuseio do protótipo estimulou questionamentos espontâneos sobre pressão, fluxo e conversão de energia. Apesar de uma resistência inicial à escrita, os relatos dos estudantes revelaram teorizações complexas, ainda que algumas apresentassem concepções alternativas, como a associação incorreta entre o estreitamento da tubulação e o aumento da pressão. Os excertos abaixo ilustram algumas das hipóteses levantadas:

"O protótipo trabalha com a força do ar já existente no dispositivo que é impulsionado pela pressão da água gerada pelas ondas. [...] O ar é impulsionado para cima, movimentando a turbina e, consequentemente, gerando energia elétrica." (Aluno 1).

"Conforme a onda sobe [...] forma-se uma pressão que expulsa o ar para fora que passa pelo motorzinho e sai na ventoinha [...]. Eu acredito que a pressão e a expulsão do ar são as responsáveis por produzir uma energia renovável..." (Aluno 2).

"Quando a onda passa a água sobe e cria uma pressão, essa pressão empurra o ar para cima [...] como o cano é pequeno o ar passa com mais pressão o que faz com que a ventoinha gire com mais velocidade." (Aluno 3).

Estas observações permitiram diagnosticar algumas falhas conceituais, especialmente a confusão entre pressão e velocidade, que foram abordadas e superadas nas etapas subseqüentes sobre hidrodinâmica.

Nas atividades sobre energias renováveis, a pesquisa e a apresentação de seminários demonstraram o desenvolvimento de autonomia e sentido crítico. Os estudantes identificaram que, à exceção da energia solar fotovoltaica, as demais fontes partilham ciclos de transformação energética semelhantes (geração de movimento para indução eletromagnética). A manipulação de maquetes (hídrica, eólica, solar) reforçou a compreensão lúdica destes processos. Além disso, houve uma reflexão sobre os impactos socioambientais das fontes renováveis, indicando uma aprendizagem profunda e não arbitrária, conforme preconizado por Moreira & Masini (1982).

Durante o estudo da hidrodinâmica, a realização de experiências práticas com tubos de PVC e secador de cabelo permitiu explorar os conceitos de vazão e a equação da continuidade. Um resultado relevante emergiu das limitações experimentais: alguns estudantes, ao perceberem discrepâncias entre os valores medidos, refinaram o método de coleta de dados criando um padrão de distância para posicionar o anemômetro, o que resultou numa maior consistência dos resultados obtidos. Esse comportamento investigativo confirma o caráter ativo da aprendizagem significativa, em que o estudante não apenas recebe informações, mas reelabora procedimentos e atribui sentido aos resultados (Moreira & Masini, 1982). Vale ainda destacar que nas tubulações mais estreitas, o secador de cabelo não possuía força suficiente, o que resultava em perdas no fluxo do ar, gerando inconsistências nos cálculos da equação da continuidade. Esse obstáculo dificultou a compreensão prática do fenômeno, mas acabou se transformando em oportunidade didática para promover aprendizagens mais significativas. Os alunos, ao medir o ar que retornava ao secador, ajustaram suas interpretações.

Observou-se também que o engajamento dos estudantes cresceu ao longo da sequência. Embora alguns não tivessem se interessado de imediato, o envolvimento aumentou progressivamente com a continuidade das práticas, alcançando um ponto alto nas atividades relacionadas ao Princípio de Bernoulli e ao simulador PhET Colorado.

A experiência sobre o Princípio de Bernoulli, realizada com garrafas PET e mangueiras de nível, foi crucial para corrigir a concepção prévia equivocada de que "menor área implica maior pressão". A visualização da relação inversa entre velocidade e pressão permitiu aos alunos ressignificar o funcionamento do protótipo. O uso do simulador PhET Colorado complementou esta etapa, promovendo o interesse e a exploração virtual de variáveis, alinhando-se à visão de Ausubel, Novak & Hanesian (1978) sobre a importância do interesse para a integração duradoura do conhecimento.

O referido produto educacional também se mostrou bastante eficaz no estudo do eletromagnetismo, área que apresenta elevado grau de abstração conceitual. A utilização articulada de experimentos, maquetes e simuladores revelou-se como um conjunto de recursos didáticos relevantes para a compreensão dos fenômenos envolvidos. Os experimentos permitiram aos alunos o contato físico com os materiais e a oportunidade de confeccionar um eletroímã, vivenciando os efeitos do campo magnético. As maquetes, por sua vez, ofereceram uma representação simplificada da indução eletromagnética e da regra da mão direita, atuando como um facilitador na compreensão desses conceitos complexos e abstratos. O uso do simulador PhET Colorado complementou essas experiências ao permitir a visualização das linhas de campo e do fluxo magnético, além da manipulação de variáveis que reforçaram os fenômenos observados tanto nos experimentos quanto no manuseio do protótipo ondomotriz.

Por fim, a diversidade de recursos empregados ao longo da sequência, como experimentos práticos, pesquisas e materiais alternativos, contribuiu para manter o interesse ao longo das atividades, respeitando diferentes estilos de aprendizagem e reforçando os conceitos científicos de maneira progressiva e significativa.

5. Conclusões

A implementação do protótipo ondomotriz como organizador prévio em uma sequência didática contextualizada demonstrou eficácia no ensino de Física. A proposta permitiu articular conteúdos curriculares — energias renováveis, hidrodinâmica e eletromagnetismo — com a realidade local dos estudantes, atribuindo relevância cognitiva e social ao aprendizado.

A análise dos resultados, levando em consideração os questionários avaliativos, das planilhas das práticas experimentais, dos relatos das atividades, dos seminários apresentados e dos formulários de satisfação, em comparação com a avaliação diagnóstica inicial, indicou uma evolução conceitual significativa. O uso articulado de experimentos de baixo custo, modelagem física e simulação virtual facilitou a compreensão de fenômenos abstratos e a correção de concepções prévias equivocadas, como a relação entre velocidade e pressão em fluidos. Além disso, as atividades de pesquisa sobre energias renováveis promoveram a formação de sujeitos mais conscientes sobre os desafios energéticos e ambientais.

Ao longo do planejamento e da execução da proposta, surgiram desafios, tanto na adaptação de materiais de baixo custo para a construção do protótipo e dos experimentos, quanto em aspectos logísticos relacionados à escola, como a organização das turmas e dos horários. Entretanto, do ponto

de vista docente, essas dificuldades revelaram-se oportunidades de aprendizagem. Ao invés de comprometerem os resultados, estimularam a criatividade e a postura investigativa dos estudantes, que buscaram soluções para os problemas identificados, como a padronização do uso do anemômetro durante as medições. Além disso, o crescente engajamento dos estudantes ao longo das atividades indicou que práticas diversificadas e progressivas favorecem a aprendizagem significativa, na medida em que os novos conhecimentos se relacionam de maneira substantiva com experiências próximas à realidade dos estudantes (Ausubel; Novak & Hanesian, 1978; Moreira & Masini, 1982). A superação desses obstáculos se mostrou valiosa para a formação da prática docente, exigindo flexibilidade e adaptação.

Finalmente, a experiência reforça a importância de contextualizar o ensino de Física com situações concretas e socialmente relevantes, destaca a participação do aluno como protagonista do processo de aprendizagem e fortalece o papel do professor como mediador entre o conhecimento científico, a realidade dos estudantes e os desafios de um mundo em constante transformação.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

7. Referências

- Alves, I. S. (2023). *Ensino do fenômeno da indução eletromagnética usando a turbina eólica vertical como recurso didático* [Dissertação de mestrado, Universidade do Estado da Bahia]. ProQuest.
<https://www.proquest.com/openview/76050044b49a33d2981a79a708aa0349/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>
- Achmad, F., & Muslim, S. (2021). Implementation of portable mini wind power generator as renewable energy simulation media. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1098, No. 4, p. 042083). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/4/042083>
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view* (2.^a ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano.
- Carvalho, E. V. (2021). *Energia eólica: Uma abordagem didática e inclusiva da Turbina e Seus Tópicos de Física* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará]. Plataforma Sucupira. https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11323853

Cruz, A. S. (2019). *Sequência Didática baseada na Energia Solar fotovoltaica como auxílio ao Ensino de Física no 3o ano* [Dissertação de mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas]. Plataforma Sucupira.

da Cunha Dias, G., dos Santos, S. M., dos Santos, E. D., Rocha, L. A. O., & Olinto, C. R. (2013). Análise teórica da influência de perfis sobre a potência de uma turbina Wells empregada em dispositivos de conversão de energia das ondas. *VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, 23(1), 44-56. <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/3690>

Falcão, A. F. O., & Henriques, J. C. C. (2016). Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review. *Renewable Energy*, 85, 1391–1424. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.086>

KJMagnetics. (2011). *Shake flashlight*. Instructables. <https://www.instructables.com/Shake-Flashlight-1/>

Kumar, G. [Ganesh Kumar]. (2015). *Simple Wells turbine* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xV1RiJVrhi8>

Ferraz, M. N. O., Prolo Filho, J. F., & Arashiro, E. (2026). *Gerador ondomotriz*. Ciência 3D. <https://ciencia3d.furg.br/ondomotriz>

Moreira, M. A. & Masini, E. F. S. (1982). *Aprendizagem significativa, a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes. <https://feapsico2012.files.wordpress.com/2016/11/moreira-masini-aprendizagem-significativa-a-teoria-de-david-ausubel.pdf>

Monteiro, J. E. P. (2018). *A energia eólica: um contexto de aprendizagem de física no Ensino Médio* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Semi-Árido]. <https://mnpes.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/94/2020/04/Disserta%C3%A7%C3%A3o.-VF-para-obt.-do-diploma.pdf>

PhET Interactive Simulations. (s.d.). *Faraday's electromagnetic lab* [Simulação de software]. University of Colorado Boulder. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-electromagnetic-lab/about>

PhET Interactive Simulations. (s.d.). *Pressão do fluido e fluxo* [Simulação de software]. University of Colorado Boulder. https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/fluid-pressure-and-flow/latest/fluid-pressure-and-flow.html?simulation=fluid-pressure-and-flow&locale=pt_BR

Rodrigues, D. F. (2023). “E o vento levou...” – *Uma proposta de atividade investigativa envolvendo transformação de energia* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2023_Diego_Rodrigues/dissertacao_Diego_Rodrigues.pdf

São José do Norte. (s.d.). Prefeitura Municipal de São José do Norte. *Dados Gerais*. <https://www.saojosedonorte.rs.gov.br/pagina/dados-gerais>.

Seguro, A. S. (2019). *Ensinando energia solar com ambiente virtual de aprendizagem, demonstrações, experimentos e jogos* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do ABC]. <https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/p17-dissertacao-alberto.pdf>

Souza, J. R. P. S. (2016). *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações para o ensino médio* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará]. Plataforma Sucupira. https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4426171