

Energia Eólica: Uma abordagem da turbina eólica e seus tópicos de Física

Edcarlos Vilhena Carvalho

Especialização em Ensino de Ciências com Ênfase em Física, Universidade Federal do Pará, 68746-360, Castanhal-PA, Brasil

Prof. Dr. Carlos Alberto Brito da Silva Júnior (Orientador)

Faculdade de Física, Universidade Federal do Pará, 67130-660, Ananindeua-PA, Brasil

Resumo — Ao investigar diversos livros didáticos do Ensino Médio com o tema energia eólica, foi observado à carência do tema, seus conceitos físicos e aplicações utilizando experimentos voltados para o Ensino Médio. As diversas abordagens propostas pelos livros se dá exclusivamente abordando o uso de energias renováveis, tão pouco é sabido que, os diversos temas que o professor da rede pública e privada de Ensino Médio pode abordar como os aerogeradores para a transformação de energia cinética dos ventos em energia elétrica. O artigo propõe tópicos de temas sobre energia eólica que podem ser discutidos nas aulas de Física que envolve aerogerador, como desde seus componentes, história e conceitos de energia cinética, potência e transformações de energia. Este aprendizado se dá a partir de etapas proposta neste artigo ao professor para utilizar com os alunos.

Palavras-chave — Aerogerador, Transformações de Energia, Potência.

I. INTRODUÇÃO

Ao observar o desinteresse e as dificuldades no processo de aprendizagem dos alunos em diferentes tópicos da Física, verificou-se também as dificuldades recorrentes no contexto atual da educação no Brasil, onde os debates que permeiam o processo de ensino e aprendizagem apontam variados fatores para tal fato.

Alguns pesquisadores apontam as redes sociais e a interatividade que ela proporciona, outros chamam a atenção para a necessidade de inovações nas escolas e nas práticas de sala de aula onde o professor é o mediador dos conhecimentos em diferentes conteúdos da Física.

Verificou-se constantemente na educação básica uma monotonia, sistema avaliativo obrigatório; salas lotadas e práticas tradicionais dos discentes e a falta de inovação dos professores. Além do que os diversos livros de Física, atuais cedidos à rede pública de ensino, apresentam uma carência de muitos temas importantes para o desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem em Física para a educação básica. Entre os temas está a Energia Eólica por muitas vezes em livros didáticos apresentam apenas como ilustrações de fonte de energia renovável.

Ao observar profundamente a Física Clássica ensinada ao ensino básico contemplamos como os principais temas a: Termodinâmica, Hidrodinâmica e Transformações de Energia.

O material que será proposto neste artigo tem como finalidade oferecer aos professores da rede básica conceitos essenciais de diversos tópicos que abordam a energia eólica e sua importância no contexto atual como fonte de energia renovável. O professor deverá trabalhar em sala de aula com seus alunos, apresentando o conceito e a aplicação da energia eólica no contexto tecnológico, pois os alunos vivem uma era tecnológica e seus conhecimentos de mundo devem ser aguçados percebendo que a Física apresenta grande importância em um tema que cada vez mais cresce no mundo todo que se refere a energia captada a partir dos ventos.

II. HISTÓRIA

Ao pesquisar na literatura o principal aproveitamento da força do vento, foi percebido que realmente temos uma data incerta, porém é perceptível que tenha sido há milhares de anos. Supostamente tenha surgido no oriente onde utilizava a aerodinâmica de arrasto para seus diferentes objetivos [1].

Pelos primórdios da idade média foi verificado que o homem passou a usar as forças aerodinâmicas de sustentação, e com isso, permitindo as grandes descobertas a partir da navegação. Máquinas eólicas movidas por sustentação começaram e ser introduzidas na Europa com as cruzadas. Por volta do século XIV na Holanda as máquinas apresentavam uma evolução técnica, capacidade de potencia e uma ampla aplicação como fonte de energia.

Por volta de 1863, começou a expansão dos cata ventos fabricados pelos norte americanos e chegando ao Brasil. Por volta de 1930, os norte americanos começaram a usar os aerogeradores para carregar baterias e assim começaram realmente expandir o acesso a energia elétrica a suas regiões rurais. Assim, é possível concluir que as turbinas eólicas surgiram na Alemanha, com pás fabricadas com materiais compostos, controle de passo e torre tubular [2].

III. SURGIMENTO DO VENTO

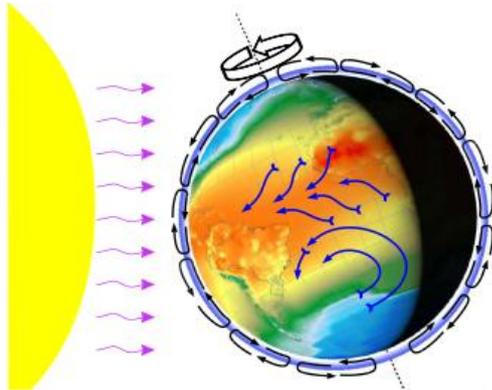
O aquecimento irregular da atmosfera causado pelo sol provoca os ventos, consequência do ar em movimento principalmente nos trópicos [3]. Ao verificar o movimento de rotação do planeta, percebemos que a atmosfera terrestre é aquecida de forma irregular pela luz solar, verificamos que a

topografia terrestre tem grande influência em determinadas regiões para a propagação dos ventos, com montanhas e colinas que proporcionam maior velocidade dos ventos através dos vales e maior fluxo de ar. É observado na literatura que o escoamento do ar sobre a superfície da Terra, ver **Fig. 1**, se modela por conta dos relevos e obstáculos da natureza que podem de certa forma produzir turbulências.

Fig. 1. Circulação dos ventos na atmosfera terrestre.

Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas_eolico_licorj.pdf



IV. GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Na **Fig. 2**, o aerogerador (a) horizontal e vertical (b) são os equipamentos que geram energia elétrica a partir da energia eólica dos ventos.

Fig. 2. Aerogerador (a) horizontal e (b) vertical. Fonte: Fundamentals, Technologies, Application, Economics .Springer, Berlim, 2006.



(a)



(b)

Ao buscar na literatura verificamos que existem sistemas eólicos isolados, sistemas híbridos ou sistemas inteligentes a rede elétrica. O sistema híbrido apresenta a utilização de mais de uma forma de transformação de energia, este sistema pode ser energia eólica com módulo fotovoltaico, geradores a diesel. Os sistemas híbridos geralmente são levados a áreas rurais, fazendas e casas. Já os parques eólicos são exclusivos levados a rede elétrica [4].

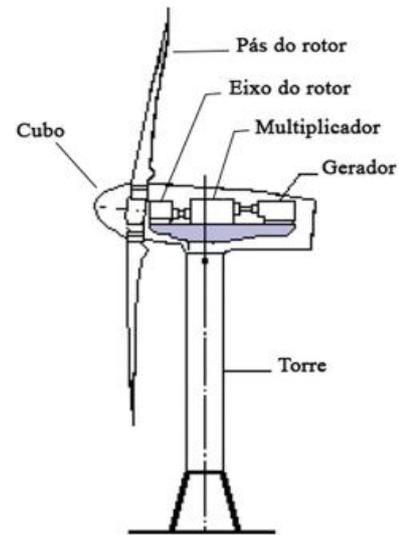
V. COMPONENTES BÁSICOS DO AEROGERADOR

Na **Fig. 3** é apresentado os componentes mais importantes do aerogerador e que serão utilizados neste artigo de fácil esclarecimento [5].

Fig. 3. Modelo simplificado de aerogerador.

F. Hernández García, *Análise Experimental e Simulação ao de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos*.

Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 2004



Torre: sustentação do rotor e nacela que podem ser de estrutura cônica de aço ou concreto.

Nacela: Componente mais alta da torre do aerogerador. Por dentro esta a caixa de multiplicação, gerador, transformador, e outros. Esta parte do aerogerador pode ter massa de aproximadamente 100.000 Kg.

Gerador: presente dentro da nacela. Tem objetivo de converter a energia mecânica de rotação das pás em energia elétrica.

Multiplicador (transmissão): inglês, denominado *gear box* e também conhecido como caixa de engrenagens. O gerador no rotor tem frequência de 30 a 50 rpm e ao usar o multiplicador aumenta a frequência de 1000 rpm para 3000 rpm no gerador pela a transformação de energia.

Rotor: conhecido como nariz do aerogerador e fica entre as pás e ao cubo(hub).Podendo ser horizontal ou vertical,sendo que a mais utilizada é a vertical, o aumento do rotor é proporcional a capacidade de energia.

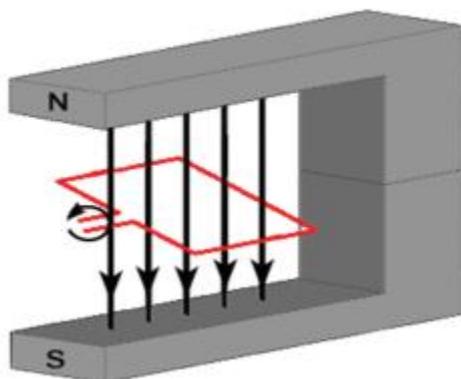
Cubo: O cubo do rotor é instalado sobre o eixo principal, também conhecido como eixo de menor velocidade. A energia mecânica é transmitida através de eixos, rolamentos, e pela caixa de multiplicação.

VI. TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA

Ao olhar para um aerogerador observamos o Princípio da Conservação de Energia em seu processo para transformação de energia eólica em elétrica. Este processo ocorre basicamente de duas formas: (i) no momento da captação da energia cinética dos ventos que é transformada em energia mecânica e após em energia elétrica e (ii) quando a massa de ar (vento) atinge as pás do rotor que por sua vez transmiti-se as engrenagens e multiplica a frequência do rotor. A velocidade é transmitida ao gerador elétrico, ver Fig. 4, que produz energia elétrica a partir da indução eletromagnética [6].

Fig. 4. Modelo simplificado de um gerador elétrico.

Fonte: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 4, 4306 (2014).



O gerador consiste de uma turbina que provoca uma rotação que transmite a espira. A espira gira ao redor, perpendicularmente as linhas de campo magnético (\mathbf{B}) que pode ser gerado por ímãs ou bobinas, com este movimento é provocado um fluxo de campo magnético (Φ) através da espira variando com o tempo e provocando uma força eletromotriz (f_{em}) induzida. Ou seja, o f_{em} é o movimento relativo da espira e o campo magnético, ver Eq. 1.

$$\Phi = B.A. \cos \theta, \quad (1)$$

onde B é a intensidade do campo magnético; A é a área da espira; θ é o ângulo de formado entre o condutor e as linhas de fluxo magnético na Fig. 3. Entendemos que o Φ será máximo quando o cosseno do ângulo θ for 0^0 e será mínimo quando o cosseno do ângulo for 90^0 . No caso se a espira estiver na vertical [7].

Verificamos que durante um intervalo de tempo Δt o fluxo magnético varia $\Delta\phi$ dessa forma a f_{em} (ε) passa a ser dada pela razão expressa na Eq. 2:

$$\varepsilon = \Delta\phi / \Delta t \quad (2)$$

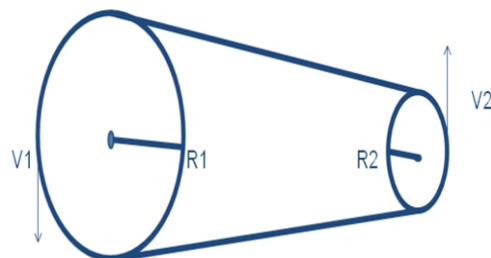
Entendemos que o aumento da Potência além de outros fatores depende do aumento de rotação da espira. Mas até certo ponto por conta da intensidade dos ventos que pode ser dificultada a passagem de vento na turbinas.

VII. CAIXA MULTIPLICADORA

A principal finalidade da caixa multiplicadora é a de realização de adaptações entre o rotor que possui baixa frequência para o gerador que necessita de alta frequência. Geralmente o rotor apresenta frequência entre 30rpm e 50 rpm, já o gerador de 1000 rpm 3000 rpm, com isso entendemos o objetivo da engrenagem chamada de caixa multiplicadora para produção de energia. Observamos na Fig. 5, um esquema simplificado da caixa multiplicadora [8].

Fig. 5. Modelo simples de caixa multiplicadora.

Fonte: Elaborada pelo autor.



Na caixa multiplicadora simplificada na Fig. 5 temos, que em contato com a correia apresenta o mesmo valor para as velocidades 1 e 2, como mostra a Eq. 3.

$$v_1 = v_2 \quad (3)$$

A velocidade linear (v) esta diretamente relacionada com a velocidade angular (w) dada pela Eq. 4.

$$v = w.R \quad (4)$$

Ao combinar a Eq. 3 e a Eq. 4, temos a Eq. 5.

$$w_1.R_1 = w_2.R_2 \quad (5)$$

A velocidade angular (w) pode ser descrita como função da frequência (f). Temos a Eq. 6.

$$2\pi f_1 R_1 = 2\pi f_2 R_2 \quad (6)$$

Simplificando os dois lados da igualdade o valor de 2π , temos uma relação de frequência e raio dada pela Eq. 7.

$$f_1 R_1 = f_2 R_2 \quad (7)$$

VIII. POTÊNCIA E ENERGIA

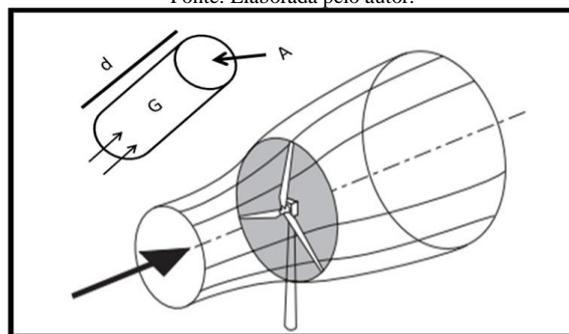
Ao falarmos de energia eólica, exclusivamente, de energia cinética dos ventos e que obtém determinada velocidade. Temos que a massa de coluna de vento (m) e a velocidade de massa de ar (v).

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (8)$$

Considere um cilindro com geometria G e com área transversal A e comprimento d, ver Fig. 6.

Fig. 6. Vento atravessando uma geometria G com velocidade v .

Fonte: Elaborada pelo autor.



Ao analisar o volume V da geometria do cilindro G, concluímos que é o produto entre a área transversal A e o comprimento d. Estamos considerando que neste cilindro passa um fluido com velocidade v . O volume do fluido é dado pelo produto entre a área transversal A, velocidade v do fluido e o tempo, ver a Eq. 9 [9].

$$V = A.d = A.v.t \quad (9)$$

Ao analisar o volume V da geometria do cilindro G, concluímos que a Vazão Q do fluido, ver a Eq. 10, é a taxa de

variação do tempo com o volume do fluido que atravessa a geometria G.

$$Q = \frac{dV}{dt} = Av \quad (10)$$

Em um fluxo de massa (dm) que atravessa nossa geometria G. Temos que um regime de escoamento permanente e incompressível é dado pela Eq. 11.

$$\phi_m = \frac{dm}{dt} = \rho v A \quad (11)$$

Onde ϕ_m é o fluxo de massa e ρ é a massa específica do ar. A energia cinética pode ser escrita pela Eq. 12.

$$E = \frac{1}{2} \rho V v^2 = \frac{1}{2} \rho A t v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 t \quad (12)$$

Temos também a potência que é a taxa de variação do tempo com a energia, pode ser dada pela Eq. 13.

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (13)$$

onde P é a potencia do vento, A é a área varida pelas pás do aerogerador em movimento e v é a velocidade do vento.

A energia mecânica extraída da corrente de ar sobre as pás da aerogerador é a diferença de potência do fluxo de ar antes e depois do conversor.

$$P = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \quad (14)$$

Ao considerarmos um escoamento permanente e incompressível e de acordo com a Equação da Continuidade temos que para manter o mesmo fluxo de massa temos que ter uma mudança de velocidade v dada pela Eq. 15.

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2 \quad (15)$$

Reorganizando a equação. Temos a Eq. 16:

$$P = \frac{1}{2} \rho v_1 A_1 (v_1^2 - v_2^2) \quad (16)$$

IX. METODOLOGIA

Neste artigo temos como metodologia o estudo da abordagem quantitativa e quantitativa de energia eólica conjuntamente com conceitos e aplicações para o ensino de Física para o nível médio. O levantamento das referências se deu por livros de ensino médio e superior, artigos científicos, revistas e outros que se fizeram necessário. Ressaltamos que na fase da pesquisa exploratória a partir do problema a temática de energia renovável do uso da energia eólica e o funcionamento do aerogerador se tornou mais clara a partir da pesquisa.

Quanto ao método de estudo de caso, este se caracteriza por oferecer direcionamentos de aprendizagem e coleta de dados, ao mesmo tempo em que oportuniza momento exploratório da ciência em situações relativamente complexas com o uso da energia eólica como energia renovável e suas tecnologias aparentes.

A realização deste artigo propõem atividades em grupos colaborativos de identificação das peças, conceitos e aplicações do aerogerador para produção de energia eólica proposto aos alunos de 3º ano do ensino médio da escola E.E.E.M. Vera Cruz no município de Ananindeua.

Deste modo foram escolhidos de forma aleatória cinco grupos com 5 alunos cada grupo e com isso é aplicado uma atividade de conhecimento sobre a temática abordada. O

passo seguinte a partir do critério de escolha de alunos foi à divisão destes em quatro grupos por sala.

A proposta das atividades em grupos conjuntamente com o experimento da aerogerador de energia eólica se deve a investigação e conhecimento prévio dos alunos a experimentação, e assim obter neles a facilidade de conteúdos do ensino da Física o que abrangem o currículo escolar do 3º ano do ensino médio.

APLICAÇÕES DE ATIVIDADES E EXPERIMENTOS DE AEROGERADOR EM GRUPOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE CONCEITOS E APLICAÇÕES.

1ª ETAPA

Identificação dos conceitos e aplicações da energia eólica em grupos, assim como sua importância para a energia renovável, com isso, será aplicado um questionário discursivo que depois será avaliada pelo professor em outro momento.

2ª ETAPA

Foi ministrada aula com recurso audiovisual introduzindo a temática da energia eólica conjuntamente com os diversos conteúdos da Física para o ensino médio. Foram apresentados aos alunos do 3º ano do ensino médio, conceitos de tópicos básicos de energia eólica e a conversão para energia elétrica. Ao analisarmos em sala de aula, verificamos os conteúdos de física clássica. A energia eólica representa um rico conhecimento com a abordagem de hidrodinâmica, eletrodinâmica e as transformações de energia proveniente da energia cinética dos ventos.

3ª ETAPA

Ao término da aula introdutória sobre: energia eólica foi solicitada aos 5 grupos de uma turma que se organizem em locais diferentes na sala com uma mesa no centro com os grupos. Pois a partir da 3ª etapa, seria dado início a um experimento de baixo custo para a produção de uma maquete usando energia eólica conjuntamente com a produção de um aerogerador, seus conceitos e aplicações com o ensino de física. O professor deu o material de apoio e uma atividade para os grupos.

A 3ª etapa das atividades teve como objetivo verificar e reforçar o nível de entendimento dos alunos acerca da aula introdutória sobre os conceitos e aplicações da energia eólica, tão pouco, suas contribuições com o ensino da física. Depois disso, foram construída maquetes e testadas com os alunos que se deslumbraram com o experimento que se assemelha ao aerogerador para captação de energia cinética dos ventos.

4ª ETAPA

Essa etapa foi dividida em três fases:

Fase 1: Descoberta dos conceitos e aplicações usados no experimento do aerogerador para a transformação de energia cinética do vento em energia elétrica com a atividade proposta no experimento.

Fase 2: busca pelos temas de Física envolvidos no experimento de energia eólica usando aerogerador como captação da energia cinética em elétrica.

A proposta dessa fase é continuar dando ênfase para a questão da contextualização, novamente com o uso da

energia eólica, dar sentido ao estudo da Física para que os alunos vejam e entendam para o que servirá o conhecimento da energia renovável estudado por eles em sala de aula e as componentes de uma turbina eólica.

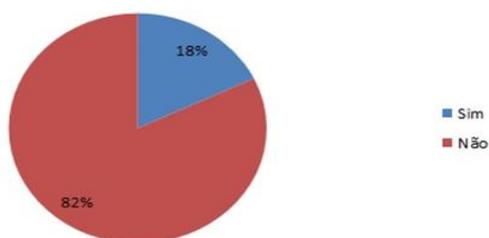
Logo após o término da resolução das atividades da etapa 4, o professor solicitou aos alunos para fazer um questionário final com conteúdos abordados desde a aula inaugural até o presente experimento e assim comprovar o método de ensino e aprendizagem em relação aos conteúdos da Física abordados nos contextos de ensino das tarefas. Ao longo das atividades usamos o cognitivismo de Deivid P. Ausubel e o conhecimento prévio para facilitarmos o ensino aprendizagem nas atividades. Vygotsky e o Sócio-Interacionismo foi mesclado em grupos deliberativos com o intuito de agregar a zona de desenvolvimento proximal.

X. RESULTADOS E DISCURSÕES

1ª ETAPA: ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO INICIAL.

Após a análise das respostas dos alunos em relação ao questionário inicial, observou-se na questão 1 que 82% dos alunos não souberam responder o que é energia renovável, apenas 18% responderam que sim, ou seja, que sabiam parcialmente. Porém, desses que responderam que sim apenas aproximadamente 4% conseguiu responder corretamente a pergunta, conseguindo relacionar e dizer que a energia renovável é uma fonte limpa e sustentável. Os outros 14% que responderam sim, não conseguiram chegar a uma resposta satisfatória que mostrasse essa relação.

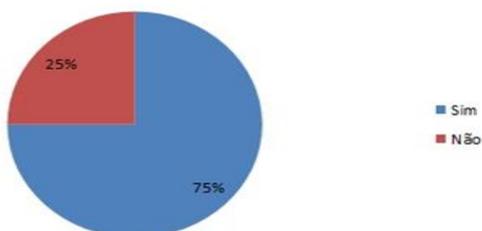
Fig. 7. Resultado da Primeira questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor.



Na segunda questão verificou-se que 75% deles sabiam parcialmente como funciona a Energia Eólica, pois marcaram a alternativa SIM e, 25% não sabiam, já que marcaram NÃO.

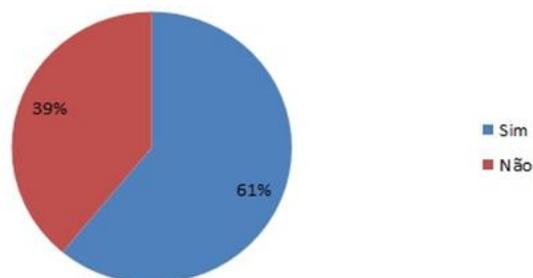
Contudo, dos alunos que marcaram SIM, foi verificado através de suas respostas, que grande parte associava o fato de que a energia eólica se daria através do vento, resposta essa de seu conhecimento de mundo, diante das mídias sociais e televisão. Pouca informação a respeito do tema foi verificada.

Fig. 8. Resultado da Segunda questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor.



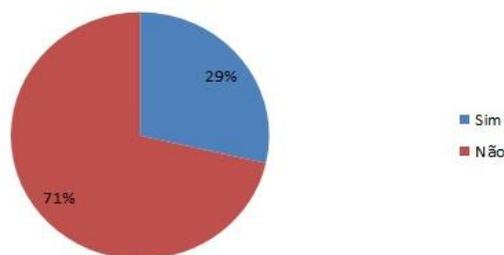
De acordo com a Figura 9, 61% dos alunos disseram que SIM, ou seja, sabiam o que era uma turbina eólica. Enquanto que 39% dos alunos disseram não saber do que se trata. Contudo, analisando as respostas subjetivas dos alunos a respeito da pergunta em questão, foi verificado que entre os alunos que marcaram a opção SIM, um percentual de 20% realmente sabia o funcionamento de turbina eólica, contudo este conhecimento deu-se empiricamente por mídias sociais e televisão.

Fig. 9. Resultado da Terceira questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor.



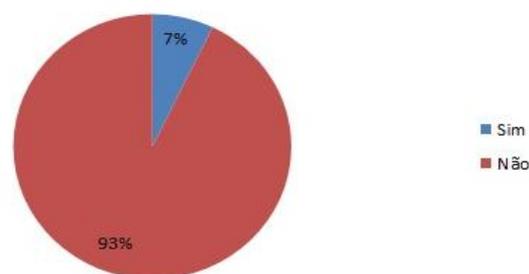
Após a análise das respostas dos alunos e, de acordo com a Figura 10 (Questão 4) 71% dos alunos não sabiam as componentes de um aerogerador ou turbina eólica. E 29% dos alunos marcaram a opção SIM, entretanto o pouco conhecimento que tem diz respeito exclusivamente a Torre e as pás da turbina. Poucos alunos souberam responder a questão, o que caracteriza baixo domínio do assunto tratado.

Fig. 10. Resultado da Quarta questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor.



Após a análise das respostas dos alunos à Questão 5, apenas 7% dos alunos responderam que sabiam montar e reconhecer uma turbina eólica. Ao passo que, a grande maioria dos alunos, 93%, assinalou o item NÃO, o que caracteriza desconhecimento por parte deles a respeito dar organização e montagem de uma turbina eólica.

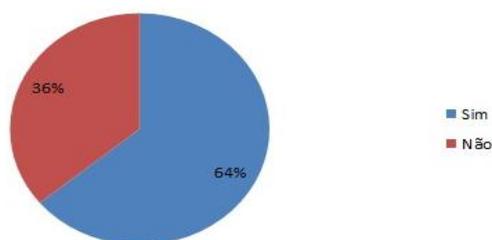
Fig. 11. Resultado da Quinta questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor.



ETAPA 4: ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO FINAL

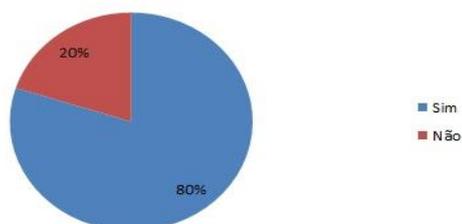
A Figura 12. Mostra o resultado da primeira questão do questionário final aplicado aos alunos (Questão 1). Observou-se que 64% dos alunos sabiam o porquê do ensino da Energia renovável e suas implicações na natureza e meio ambiente, pois os mesmos haviam marcado a opção SIM. Enquanto que 36% dos alunos mostraram desconhecer o porquê, devido ter marcado a opção NÃO.

Fig. 12. Resultado da Primeira questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor



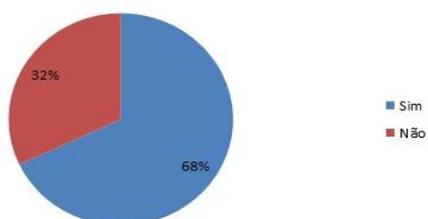
Após a análise das respostas dos alunos em relação ao questionário final (Questão 2), verificou-se que 80% dos alunos afirmaram como funciona a energia eólica com mais precisão e detalhes. Esse índice superou os 75% dos alunos que também marcaram SIM no questionário inicial, mostrando assim, uma evolução no aprendizado dos alunos no que tange o conhecimento de fontes de energia renovável. E 20% marcaram Não, mas na resposta subjetiva demonstraram conhecimento parcial em relação ao questionário inicial que nem responderam subjetivamente.

Fig. 13. Resultado da Segunda questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor



De acordo com o resultado da Figura 14, 68% dos alunos sabiam o que era uma turbina eólica ou aerogerador, enquanto que 32% deles, sabem superficialmente. Ao comparar-se esse resultado com o gráfico da mesma questão do questionário inicial, verificou-se que houve um aumento de 7% no número de alunos que sabiam o que era Turbina Eólica.

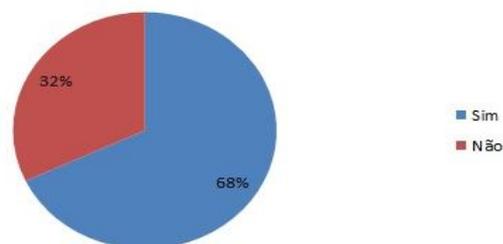
Fig. 14. Resultado da Terceira questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor



De acordo com a Figura 15, 68% dos alunos afirmaram saber os possíveis tópicos que envolvem a Turbina

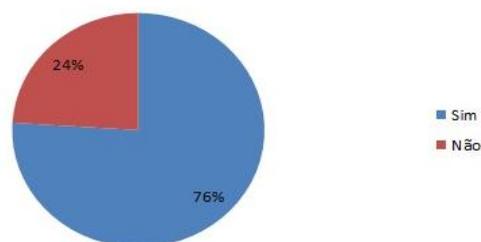
Eólica. 32% deles afirmaram não saber profundamente, mas demonstraram na questão subjetiva um conhecimento superficial, diferente do questionário inicial onde esteve em branco a questão subjetiva.

Fig. 15. Resultado da Quarta questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor



De acordo com a Figura 16, 76% dos alunos gostaram das atividades, e confirmam com o SIM, que saberiam reconhecer e montar uma turbina Eólica ou aerogerador. Enquanto que 24% não. Contudo, as respostas subjetivas dos alunos confirmaram o sucesso das atividades propostas em grupo para obtenção das componentes da Turbina Eólica e seus tópicos de Física.

Fig. 16. Resultado da Quinta questão do questionário inicial.
Fonte: Elaborada pelo autor



XI. OBSERVAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo é proporcionar conceitos e aplicações de energia eólica com o uso do aerogerador aos alunos de ensino médio e assim entender os diversos conteúdos da Física, presente neste conteúdo. Com isso, a pesquisa deste trabalho se deu em três turmas do 3º ano do ensino médio, onde foi dividida cada turma em quatro grupos proporcionalmente deliberados. Após um questionário inicial sobre o conteúdo de energia eólica e o uso do aerogerador os alunos iram para a prática do experimento em sala de aula que é a criação de aerogerador para a captação de energia eólica para a captação de energia cinética e a transformação em energia elétrica. Sabe-se também que o experimento se deu por materiais de baixo custo e com este motivo foi possível o experimento multiplicado quatro vezes para quatro grupos de uma sala de ensino médio (3º ano). Foi aplicado atividades, aplicações e montagem sobre a temática do aerogerador e suas aplicações a física. Destaca-se a importância das observações dos participantes como estratégia na qual se buscou a análise investigativa do aerogerador e seus conceitos com a física.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Rebelo e L.S. Silva, Moinhos de vento do futuro. Revista Rua Larga, Portugal, Universidade de Coimbra, 2009.
- [2] O.A.C. Amarante, M. Brower, J. Zack e A.L. S´ a, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2001). Disponível em http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_Brasil/atlas-web.htm.
- [3] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins and E. Bossanyi, Wind Energy Handbook (John Wiley & Sons, Ltd, England, 2001).
- [4] R. M. Dutra, Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE, 2001, 300 p.
- [5] EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Leilão de Fontes Alternativas 2010. Disponível em: http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100826_1.pdf.
- [6] W. R. Fox, A. T. Mc Donald e P. J. Pritchard. Introdução à mecânica dos fluidos, 6ª edição, ed.: ltc/gen., 2006.
- [7] K. Weltner, M. I. Sundberg, A.S. Esperidião e P. Miranda, Revista Brasileira de Ensino de Física **23**, 429 (2001).
- [8] M. C. Potter, D.C. Wiggert e M. Hondzo, *Mecânica dos Fluidos* (Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004), 3a ed.
- [9] E. Hau, *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics* (Springer, Berlim, 2006).