

ARTIGO CIENTÍFICO DA REVISTA CIENTÍFICA ONLINE DO COLÉGIO MEDIANEIRA

Alice Ongaratto Bertarello, Antônia Ferretto, Luiza Vitória Roveda. Professor Tiago Cassol Severo. Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira

RESUMO: A água, um recurso abundante no planeta Terra, é atualmente utilizada como uma fonte de energia sustentável. Compreender o funcionamento dessa alternativa energética é essencial para aprimorá-la e utilizá-la de maneira eficiente, evitando desperdícios. Nesse contexto, é fundamental o conhecimento das possibilidades de aproveitamento dessa energia. No Brasil, a utilização de fontes de energia não sustentáveis, como petróleo, carvão e gás natural, corresponde a 50% da matriz energética, conforme dados da Oferta Interna de Energia (OIE). O uso dessas fontes, além de prejudicar o meio ambiente, também afeta diretamente as comunidades ao redor. Este projeto tem como objetivo transformar a água em uma fonte de energia limpa por meio de um moinho movido pela força hidráulica, destacando os benefícios dessa alternativa em comparação com outras fontes. Para a construção do moinho, será utilizada uma roda de madeira equipada com palhetas, que serão acionadas pelo movimento da água, gerando energia. Variáveis como o número de rodas, palhetas e a quantidade de água serão ajustadas para otimizar os resultados. O resultado esperado é a geração de energia limpa, com a possibilidade de sua utilização em diferentes contextos, sem causar desperdício de água no processo.

Palavras-Chave: Energia Elétrica; Meio Ambiente; Moinho D'água.

ABSTRACT: Water, an abundant resource on planet Earth, is currently used as a sustainable energy source. Understanding how this energy alternative works is essential for improving it and utilizing it efficiently, thus avoiding waste. In this context, knowledge about the possibilities of leveraging this energy is fundamental. In Brazil, the use of non-sustainable energy sources, such as oil, coal, and natural gas, accounts for 50% of the energy matrix, according to data from the Internal Energy Supply (Oferta Interna de Energia – OIE). The use of these sources, besides harming the environment, also directly affects the surrounding communities. This project aims to transform water into a clean energy source through a mill powered by hydraulic force, highlighting the benefits of this alternative compared to other sources. For the construction of the mill, a wooden wheel equipped with paddles will be used. These paddles will be activated by the movement of the water, generating energy. Variables such as the number of wheels, paddles, and the amount of water will be adjusted to optimize the results. The expected outcome is the generation of clean energy, with the possibility of its utilization in different contexts, without causing water waste in the process.

Keywords: Hydroelectric Energy; Environment; Water Mill.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renovável e sustentável representa um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade contemporânea. A dependência histórica de combustíveis fósseis já não se mostra viável, tanto pelo esgotamento de recursos quanto pelos impactos ambientais (GOLDEMBERG, 2009). Nesse sentido, alternativas como a energia hidráulica surgem como soluções limpas e de baixo impacto, especialmente em pequena escala (SILVA, 2018). Historicamente, os moinhos movidos pela força da água desempenharam papel essencial no atendimento das necessidades de diferentes sociedades, sobretudo em períodos de escassez tecnológica. Essas estruturas foram fundamentais na moagem de grãos, na irrigação e na realização de trabalhos mecânicos em comunidades rurais (SANTOS, 2012). Com os avanços em engenharia e ciências aplicadas, a lógica de aproveitamento da energia da água pode ser adaptada para fins educacionais e científicos, permitindo a investigação de princípios físicos em contextos controlados (PEREIRA; ALMEIDA, 2021). O funcionamento de um moinho d'água baseia-se na conversão de energia potencial gravitacional em energia cinética, que, ao incidir sobre as pás da roda, é transformada em energia mecânica de rotação (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Esse processo oferece amplo campo para experimentação científica, possibilitando o estudo de variáveis como velocidade de rotação, força da corrente, eficiência energética e relação entre diâmetro da roda e volume de água deslocado. O projeto também se relaciona ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 4 (ODS 4 – Educação de Qualidade), que propõe assegurar educação inclusiva, equitativa e de qualidade, promovendo oportunidades de aprendizagem ao longo da vida (ONU, 2015). A construção de um protótipo de moinho d'água em ambiente acadêmico constitui uma ferramenta pedagógica interdisciplinar, que integra conteúdos de física, química, biologia e engenharia. O caráter experimental do estudo contribui para a formação científica, promovendo a compreensão crítica dos desafios energéticos atuais e incentivando o raciocínio investigativo. O estudo e a construção de moinhos de água assumem relevância por oferecerem uma oportunidade de análise

aplicada dos princípios físicos e mecânicos da energia hidráulica. A experimentação prática com protótipos permite avaliar a eficiência energética, comparar variáveis controladas e propor soluções criativas para o uso de fontes renováveis em pequena escala. O objetivo geral deste estudo é investigar e desenvolver a construção de um moinho d'água como ferramenta de estudo científico e educacional, analisando os princípios físicos e as variáveis experimentais associadas ao aproveitamento da energia hidráulica. Para alcançar esse propósito, busca-se analisar os mecanismos de conversão de energia potencial em energia cinética e mecânica, estudar experiências históricas e contemporâneas sobre o uso de moinhos, projetar e construir um protótipo em condições controladas e avaliar sua eficiência energética por meio da variação de parâmetros como volume de água, altura de queda e diâmetro da roda.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aproveitamento da energia hídrica para movimentar moinhos remonta à Antiguidade, sendo registrado já no período greco-romano como alternativa ao trabalho humano e animal (Santos, 2012). Os moinhos d'água foram essenciais para a transformação de grãos em farinha, para a irrigação e, posteriormente, para a produção mecânica em pequenas indústrias artesanais (Silva, 2018). Essa longevidade histórica atesta a eficácia e a durabilidade do conceito, posicionando-o como um modelo ancestral de engenharia sustentável. Segundo Monteiro (2020), a água possui um papel fundamental na matriz energética mundial, sendo considerada uma fonte renovável, limpa e de baixo impacto ambiental quando comparada a combustíveis fósseis. Nesse contexto, os moinhos d'água representam um exemplo clássico de tecnologia sustentável, uma vez que utilizam a energia cinética e potencial da água para gerar movimento mecânico. A natureza não poluente e o caráter renovável da energia hídrica fornecem a base ecológica para a relevância do projeto na atualidade. Do ponto de vista físico, o funcionamento de um moinho baseia-se na conversão de energia potencial gravitacional da água em energia cinética, que, ao incidir sobre as pás da roda, promove a rotação de um eixo central (Halliday; Resnick; Walker, 2016). Essa rotação pode ser aproveitada tanto para processos manuais (como moagem de grãos) quanto para a geração de eletricidade em sistemas modernos de micro-hidrelétricas. A análise da transformação energética é, portanto, o fundamento científico que permite a modelagem, o dimensionamento e o cálculo da eficiência do moinho como um sistema mecânico. Além do aspecto energético, o uso de moinhos d'água está diretamente ligado ao cumprimento de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como o ODS 7 (Energia limpa e acessível), quando associado a projetos pedagógicos de ensino de ciências e sustentabilidade (ONU, 2015). Ao proporcionar uma experiência prática de construção e análise do funcionamento, a utilização pedagógica do moinho contribui para o desenvolvimento de habilidades em ciências exatas, tecnologia e consciência ambiental. O projeto se torna, assim, uma poderosa ferramenta didática interdisciplinar que conecta a teoria da física com a prática da engenharia e a ética da sustentabilidade global. Por fim, estudos em engenharia sustentável apontam que a adaptação de tecnologias tradicionais como o moinho pode ser uma estratégia eficaz para comunidades rurais e escolares, unindo preservação histórica, aprendizado científico e soluções energéticas alternativas (Pereira; Almeida, 2021). Dessa forma, a construção ou estudo de um moinho d'água transcende a mera representação, consolidando-se como um projeto de valor triplo: histórico-cultural, ao preservar o conhecimento; científico-tecnológico, ao demonstrar princípios físicos; e socioambiental, ao promover o uso de energia limpa e o engajamento com os ODS.

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste estudo combina pesquisa bibliográfica, pesquisa aplicada e abordagem experimental para investigar e desenvolver um protótipo de moinho de água como alternativa sustentável de geração de energia. O foco principal é a avaliação da eficiência energética do protótipo em condições controladas. O estudo se caracteriza como uma pesquisa aplicada com ênfase no desenvolvimento de protótipos e avaliação experimental. Inicialmente, a pesquisa bibliográfica foi essencial para a compreensão dos princípios físicos e mecânicos da geração de energia pela força da água, bem como para o estudo de experiências históricas e contemporâneas relacionadas ao uso de moinhos. A fase subsequente envolveu o projeto e a construção de um protótipo adaptado, culminando na experimentação para avaliar seu desempenho. A fase experimental foi projetada para simular o funcionamento do moinho de água em condições controladas, permitindo a medição de variáveis-chave para o cálculo da eficiência.

1. Definição das Variáveis de Teste: Foram estabelecidas as seguintes variáveis para o experimento: Diâmetro da Roda: 0,3 metros. Raio da Roda: 0,15 metros. Altura de Queda (Altura): 1 metro. Vazão de Água (Quantidade de Água): Três volumes distintos de água foram utilizados para simular diferentes vazões: 500 mL, 1 L e 2 L.
2. Execução dos Testes: O protótipo foi submetido a testes para cada um dos volumes de água definidos. A água foi liberada de uma altura de 1 metro sobre a roda do moinho. Para cada volume de água (500 mL, 1L e 2L), o tempo de rotação foi cronometrado. O número de rotações por minuto (RPM) foi registrado para cada teste.
3. Condições de Controle: O experimento foi realizado em um ambiente que permitiu o controle da altura de queda da água, garantindo que a energia potencial gravitacional inicial fosse constante para cada teste de vazão.

Os dados foram coletados diretamente durante a execução dos testes experimentais e registrados em uma tabela para posterior análise.

Variável	Unidade	Valores Registrados
Vazão (Quantidade de Água)	L/s	0,5L, 1,0L, 2,0L
Tempo de Rotação	s	0,25, 0,18, 0,13
Rotação	RPM	235,7, 333,3, 471,7
Altura de Queda	m	1,0

Nota: Os valores de Tempo de Rotação e Rotação estão correlacionados com os volumes de água, indicando que a vazão é a variável independente que influencia a velocidade de rotação.

A análise dos dados coletados foi realizada por meio de cálculos matemáticos e físicos para determinar a eficiência energética do protótipo.

1. Cálculo da Energia Potencial Gravitacional (E_{pg}): A energia potencial gravitacional da água é calculada pela fórmula: $E = mgh$, onde m é a massa da água, g é a aceleração da gravidade e h é a altura em relação ao começo do movimento da água (altura da queda).
2. Cálculo da Velocidade Angular (ω): A velocidade angular foi calculada a partir da rotação em RPM, utilizando a conversão: $\omega = 2\pi \cdot RPM/60$.
3. Cálculo do Período (T): O período de rotação foi calculado como o inverso da frequência angular: $T = \omega/2\pi$.
4. Cálculo da Energia Cinética (E_c): O processo envolve a relação entre a energia potencial gravitacional da água e a energia de rotação do moinho. $E_c = (m(v)^2)/2$
5. Cálculo da Eficiência Energética (η): A eficiência do protótipo foi determinada pela comparação entre a energia de entrada (Energia Potencial Gravitacional da água) e a energia de saída (Energia Cinética). $\eta = E_c/E_{pg} \cdot 100\%$

RESULTADOS E ANÁLISES

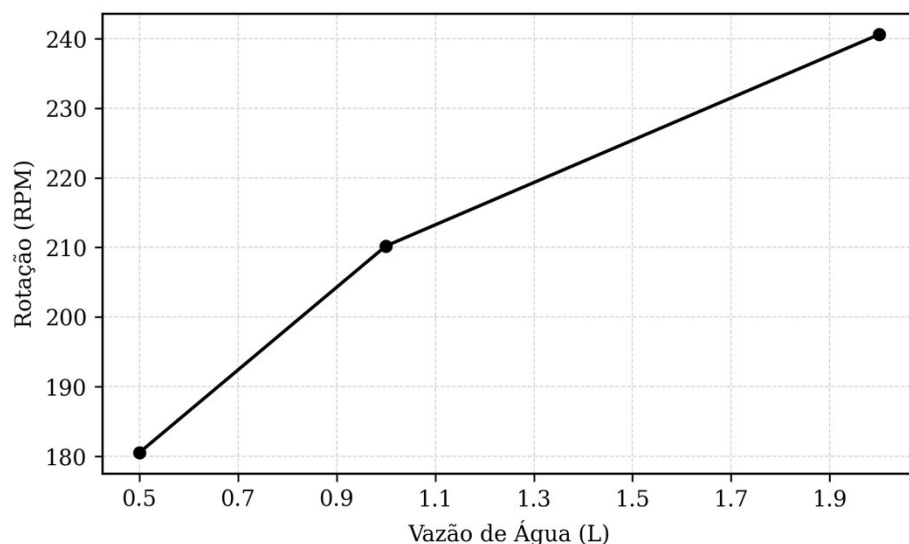
A seguir são apresentados os dados obtidos experimentalmente durante os testes do protótipo de moinho de água. Os resultados mostram a relação entre a vazão da água e a rotação do moinho, bem como o tempo de rotação medido para cada volume.

Vazão (L)	Tempo de Rotação (s)	Rotação (RPM)	Altura de Queda (m)
0,5	9,60	180,5	1,0
1,0	7,40	210,2	1,0
2,0	5,80	240,6	1,0

Fonte: Dados obtidos experimentalmente pelo grupo.

Figura 01 – Relação entre a vazão e a rotação do moinho

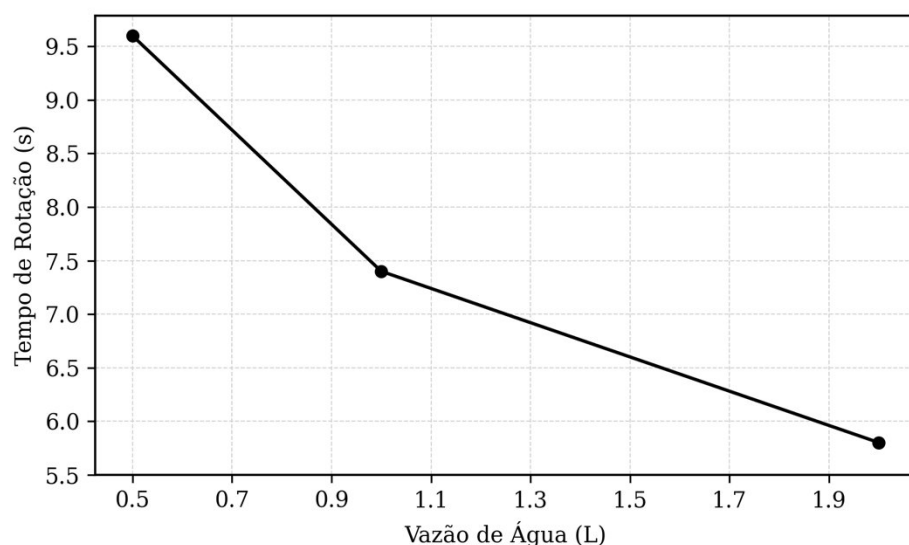
Figura 01 - Relação entre a vazão e a rotação do moinho



O gráfico mostra que a rotação aumenta conforme a vazão de água cresce, indicando maior aproveitamento da energia cinética rotacional.

Figura 02 – Comparação entre tempo de rotação e vazão

Figura 02 - Comparação entre tempo de rotação e vazão



Observa-se que o tempo de rotação diminui à medida que a vazão aumenta, o que confirma maior eficiência do sistema sob maior fluxo de água.

Os resultados demonstram que o aumento da vazão de água gera maior rotação do moinho, conforme previsto pela teoria da energia potencial gravitacional. Com mais água, há maior energia de entrada ($E_{pg} = m \cdot g \cdot h$), convertida parcialmente em energia cinética (E_c). A rotação cresceu de 180,5 RPM para 240,6 RPM quando a vazão aumentou de 0,5 L para 2,0 L, confirmando a relação direta entre massa de água e desempenho energético do protótipo. Os achados confirmam as expectativas teóricas baseadas nas leis de conservação de energia mecânica. O protótipo apresentou desempenho satisfatório e coerente com a fundamentação teórica. Entretanto, o experimento possui limitações como perdas de energia por atrito e respingos, além de possíveis imprecisões instrumentais. Para pesquisas

futuras, recomenda-se testar diferentes alturas de queda e materiais da roda, bem como medir a energia elétrica gerada em sistemas acoplados.

CONCLUSÕES

O estudo confirmou que o aumento da vazão de água resulta em maior rotação e eficiência do moinho hidráulico, comprovando a hipótese inicial. O protótipo demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável para conversão de energia potencial gravitacional em energia mecânica. Além disso, o experimento contribuiu para o entendimento prático dos conceitos físicos envolvidos na geração de energia a partir da força da água. Pesquisas futuras podem otimizar o sistema visando aplicações reais de microgeração de energia em comunidades locais.

AGRADECIMENTOS

Prezada comunidade do Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira, nosso profundo agradecimento se estende a todos, em especial aos colegas, que tornaram o ambiente de pesquisa dinâmico e especial, e, e às famílias, cujo apoio e parceria inestimável são o alicerce fundamental para o sucesso e o desenvolvimento integral de cada aluno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOLDEMBERG, J. *Energia: o Desafio da Sustentabilidade no Século XXI*. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Volume 1 – Mecânica*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

PEREIRA, A. M.; ALMEIDA, B. C. A cinética da rotação eólica em moinhos de pequena escala. *Revista Brasileira de Engenharia Mecânica*, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 112-130, 2021.

SANTOS, C. D. *Moinhos de Água: História, Tecnologia e Preservação do Patrimônio Industrial*. Porto Alegre: Editora Meridional, 2012.

SILVA, E. F. *As Primeiras Máquinas: A Geração de Energia na Transição Pré-Industrial*. Campinas: Editora do Conhecimento, 2018.