

# A produção de energia eólica e o escoamento do ar em um tubo: Uma proposta de abordagem por análise de vídeo



Natalia A. Machado<sup>1</sup>, Victor A. Silva<sup>2</sup>, Fernanda L. Rodrigues<sup>2</sup>,  
Frederico A. O. Cruz<sup>1,2</sup>, Paulo S. Carvalho<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Porto, Porto, Portugal.

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

**E-mail:** nat.alves.machado@gmail.com

(Recibido el 12 diciembre de 2018, aceptado el 30 de mayo de 2019)

A busca por fontes de energia renováveis ou que produzam um menor impacto ambiental, tem sido discutida por muitos pesquisadores e governos pelo mundo. Por isso, algumas têm ganhado espaço nos últimos anos, para além das discussões apenas, por fazerem parte da atual produção mundial, principalmente, as que são consideradas ecologicamente corretas, em especial a energia eólica e solar. Este trabalho traz análises realizadas em diferentes situações, quanto ao movimento de um fluido dentro de um tubo, pelo movimento das pás de um *cooler*. O estudo mostra ainda, a possibilidade de discussão qualitativa e quantitativa, a ser realizada nas aulas de física. Tal abordagem prática e motivacional serve por levantar diversas questões interessantes a serem abordadas em sala, como o melhor desempenho nos sistemas de geração de energia eólica por ser uma fonte de energia renovável, com baixo custo de geração de eletricidade, e baixo impacto negativo ao meio ambiente.

**Palavras chave:** Análise de vídeo, energia eólica, fluidos.

## Abstract

The search for renewable energy sources or those that produce a lower environmental impact, has been discussed by many researchers and governments around the world. Therefore, some have gained space in recent years, beyond the discussions only, as they are part of the current world production, especially, those that are considered ecologically correct, especially wind and solar energy. This work brings analyzes carried out in different situations, regarding the movement of a fluid inside a tube, by the movement of the blades of a cooler. The study also, shows the possibility of a qualitative and quantitative discussion to be carried out in physics classes. This practical and motivational approach is based on raising several interesting questions to be addressed in the classroom, such as the best performance in wind power generation systems by be a source of renewable energy with low cost of electricity generation, and low negative impact on the environment.

**Keywords:** Video analysis, wind power, fluids.

**PACS:** 01.50.Pa, 47.15.Rq, 88.50.G-

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUÇÃO

Nos cursos de Engenharia, por exemplo, é comum de forma geral, que as atividades práticas nas aulas de física experimental não possuam experimentos que possam dar, aos alunos desses cursos, conhecimentos que sejam de base para a discussão de algumas características existentes, nas áreas de conhecimento a que eles estão ligados. Isso ocorre, por causa de uma estrutura rígida no programa dessas disciplinas, que tem como prioridade atender a formação dos futuros bacharéis e licenciados em física.

Nas disciplinas voltadas às ações de cunho prático, ligadas aos fenômenos elétricos, são propostas montagens que possam dar conta dos casos eletrostáticos e eletrodinâmicos. No caso deste último, a montagem de diferentes tipos de circuitos tem um papel importante para que o aluno possa verificar diversas leis e equações. No

entanto, se fizermos uma análise crítica dessas atividades, é possível afirmar –sem qualquer presunção–, que elas pouco contribuem para formação de futuros profissionais em física, por não trazerem elementos realmente novos à construção do conhecimento; e tão pouco para os futuros profissionais de outras áreas que não tem qualquer elemento de contextualização com o mundo real.

Situações do cotidiano que poderiam levar a uma formação mais ampla, como os princípios básicos sobre a geração de energia, –tema que tem grande relevância nos dias atuais e que tem sido discutido por muitos pesquisadores e governos nos últimos anos [1, 2], devido à necessidade de manter o desenvolvimento da sociedade de forma sustentável–, devem fazer parte de forma significativa dos cursos de ciências e engenharia.

Se pensarmos de forma simples, a frequente falta de conexão das atividades realizadas em laboratório com o

Machado et al.

mundo real, dificulta o processo de alfabetização científica dos alunos, e assim não ocorre uma preparação para a tomada de decisão sobre certos aspectos que serão fundamentais na sua prática profissional [3, 4].

Se focarmos apenas sobre os profissionais que atuarão prioritariamente dentro de instituições de ensino –sejam em nível básico ou superior– buscar conhecimentos sobre determinados temas torna-se quase obrigatório para fomentar uma discussão com um mínimo de conhecimento.

O atual problema energético, foco de discussão de muitos pesquisadores, simplesmente não é contemplado nessas atividades, e o que deveria ser um momento para a discussão mais ampla, torna-se um processo burocrático para os alunos, e sem concatenação com os problemas do dia a dia.

## II. A IMPORTÂNCIA DA ABORDAGEM NA FORMAÇÃO GERAL DOS ALUNOS

No atual cenário mundial, a matriz energética está baseada, em grande parte, na queima de combustíveis fósseis que impactam negativamente na natureza, por afetar diretamente a qualidade do ar e reservatórios de água potável, numa escala que pode tornar insustentável a vida em certos recantos do planeta.

Especificamente o petróleo, que é retirado de zonas muito profundas, apresenta como problema associado a sua extração os efeitos do movimento deste fluido por essas estruturas e que em muitos casos, tem provocado danos ambientais por vazamentos sem controle.

Além disso, durante a fase de uso desses combustíveis pela indústria, existe uma grande taxa de emissão de gases poluentes: “... como o óxido nítrico (NO<sub>2</sub>) e o gás sulfuroso (SO<sub>2</sub>) (Figura 1), que podem não apenas causar riscos à saúde, como problemas respiratórios, mas também contribuir para o aumento do efeito estufa” [5].

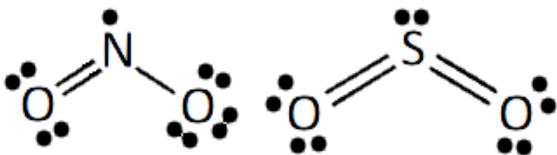


FIGURA 1. Representação química do óxido nítrico (NO<sub>2</sub>) e o gás sulfuroso (SO<sub>2</sub>).

Na busca por conter os impactos já mencionados, outras fontes de energia têm ganhado espaço na produção mundial nos últimos anos. Principalmente, as que são consideradas ecologicamente corretas, em especial a energia eólica e solar (Figura 1).

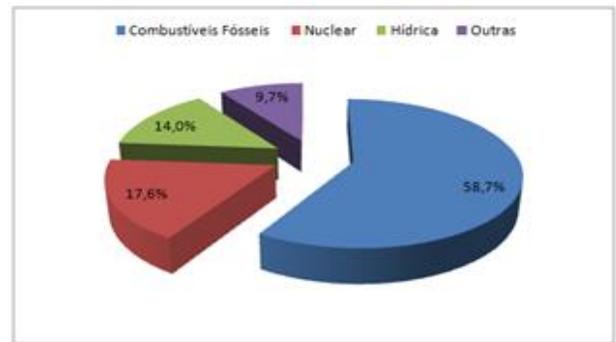


FIGURA 1. Produção mundial de eletricidade por tipo de fontes de Janeiro a Outubro de 2017 [6].

O gás natural, considerado um combustível de transição [7], é muito utilizado em veículos leves no Brasil e tem grande importância na indústria, como no caso daquela voltada para a fabricação de revestimentos cerâmicos, que tem no gás a sua principal fonte de geração de energia [8].

Apesar dos avanços tecnológicos, a geração de energia elétrica baseada na luz proveniente do sol, considerada uma energia limpa, passa por diversos processos industriais tais como: a extração do quartzo, o beneficiamento, a produção de lingotes de silício, a fabricação das células fotovoltaicas, a construção do painel fotovoltaico e de equipamentos eletromecânicos complementares [9]. Este extenso processo gera um grande impacto ambiental, pelo enorme consumo de energia, e a deposição de muitos materiais nocivos à saúde dos seres vivos [10, 11, 12, 13, 14].

Outro grande problema relativo à produção de energia elétrica por painéis fotovoltaicos são as baterias utilizadas no armazenamento dessa energia, visto que são: “do tipo chumbo-ácido podem ser consideradas como um problema ambiental associado ao sistema fotovoltaico, pois seu descarte não pode ser realizado em lixo comum, por possuir metais pesados prejudiciais ao meio ambiente” [15].

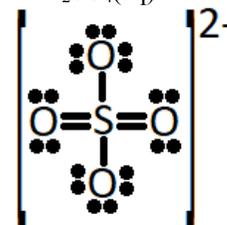
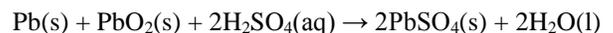


FIGURA 2. Reação química e representação química do sulfato de chumbo PbSO<sub>4</sub>, liberado durante a reação de operação das baterias.

No caso da energia eólica, os impactos na natureza –apesar de existirem [16, 17]–, são bastante reduzidos em relação às outras formas de geração de energia, possuindo como características básicas: o baixo custo de manutenção, não emissão de gases poluentes na fase de geração de energia e pequena formação de resíduos, na fase de preparação dos

equipamentos utilizados. Em função disso, a produção de energia por essa forma, vem crescendo significativamente devido aos muitos investimentos e incentivos (Figura 3).

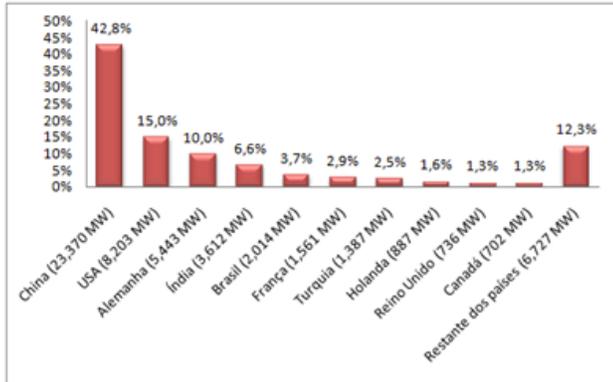


FIGURA 3. Ranking mundial de capacidade acumulada de geração eólica em 2016 [18].

Além de ser inesgotável e apresentar os pontos positivos já mencionados, esse tipo de produção de energia possui algumas desvantagens em comparação com as demais, e a principal delas, está relacionada com a baixa produção de energia elétrica. Para tornar esse processo mais eficaz, tecnologias inovadoras vêm sendo desenvolvidas, para aumentar o potencial gerador dessa fonte de energia. Um exemplo de tecnologia desenvolvida para maximizar o aproveitamento dessa fonte é a OMNIFLOW. É uma estrutura que trabalha baseada no escoamento de ar por pequenos dutos, é que serve simultaneamente, para o processo de microgeração de energia solar e eólica (Figura 4).

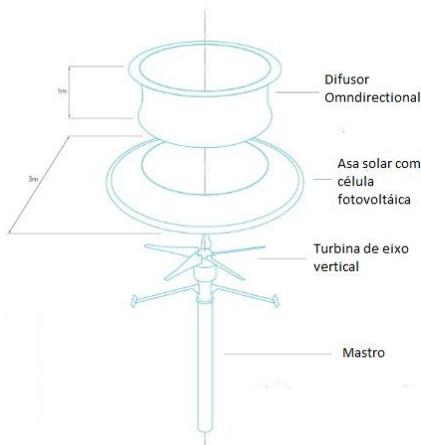


FIGURA 4. Esquema do sistema OMNIFLOW [19].

Uma vez que se relevante fazer a discussão desses temas, dentro dos cursos universitários, desde o ponto de vista tecnológico, até às questões ambientais, dada a rica possibilidade de temas multidisciplinares e importante para a formação do cidadão. Neste trabalho será apresentada uma

A produção de energia eólica e o escoamento do ar em um tubo... proposta para abordagem dos princípios básicos envolvidos no escoamento de um fluido (ar) por um tubo, e os possíveis efeitos na produção de energia elétrica, com objetivo de permitir uma formação ampla aos estudantes e futuros profissionais.

### III. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO MOVIMENTO DE FLUIDOS NUM TUBO, E A POSSIBILIDADE DE OBTENÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A produção de energia requer a compreensão dos princípios básicos, envolvidos no escoamento do ar num cilindro oco (tubos), e dos efeitos dos mesmos sobre as pás de uma “ventoinha”.

O movimento do ar dentro de um tubo, é diretamente influenciado pela forma e característica interna do tubo.

Quando analisamos este comportamento é possível perceber que ocorrem significativas alterações neste movimento, ao longo da direção de escoamento do fluido, devido aos efeitos que as paredes do tubo realizam sobre o este, dada a sua viscosidade (Figura 5) [20].

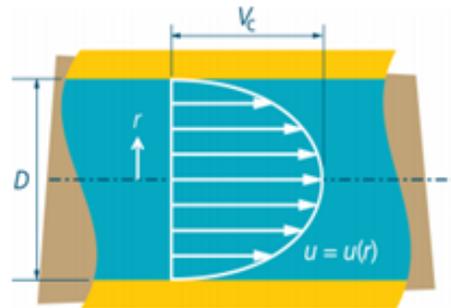


FIGURA 5. Perfil de velocidade em um escoamento interno [20].

Em virtude dos efeitos produzidos no comportamento do escoamento pelas características já mencionadas, se forem colocados objetos no interior deste tubo, duas situações relacionadas a este escoamento podem ocorrer:

- acompanhar a forma do objeto, com a movimentação das partículas ao longo de uma trajetória bem definida, percebendo-se um movimento denominado de *laminar* [21];
- ser afetado pela presença do objeto e ocorrer a formação de vórtices, com as partículas descrevem trajetórias irregulares, o qual denominamos de *turbulento* (Figura 6) [22].

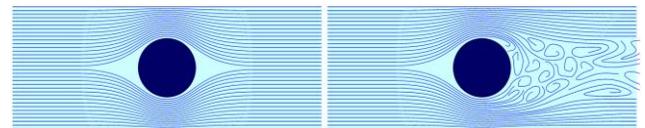


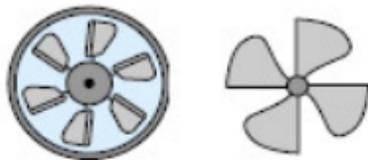
FIGURA 6. Diferença na forma de escoamento de um fluido na parede de um objeto, laminar (esquerda) e turbulento (direita) [23].

Machado et al.

Em função da complexidade em caracterizar o escoamento dos fluidos em um tubo, é necessário avaliar diversas grandezas como: pressão, temperatura, massa específica e velocidade do fluido.

Para medir cada uma delas, é fundamental utilizar instrumentos específicos, como por exemplo, flutuadores ou sensores rotativos (Figura 7) para medir a velocidade.

A medida por sensores é realizada pela avaliação do movimento relativo do rotor, ao estar submetido ao escoamento de um fluido, ou seja, analisa-se a rotação deste em função da vazão e da densidade do fluido [24], e a partir dele é possível obter a velocidade de escoamento.



**FIGURA 7.** Dois diferentes tipos de sensores rotativos: hélice em duto (esquerda) e em escoamento livre (direita) [24].

Além de servir como sensor, a rotação da hélice pode ser usada na produção de energia elétrica, tal como ocorre em muitos sistemas, assim, a discussão do movimento do um fluido num tubo é fundamental para que os alunos possam compreender as potencialidades e limitações destes.

Dentro dessa perspectiva, serão apresentadas análises realizadas em diferentes situações, relativa ao movimento de um fluido (ar) dentro de um tubo.

#### IV. METODOLOGIA DE ANÁLISE E ESQUEMA DE MONTAGEM

A ideia desse trabalho é possibilitar uma análise qualitativa e quantitativa de discussão sobre a produção de energia elétrica, por meio do movimento das pás de um *cooler* e avaliar o movimento do fluido dentro de um duto. Nesse sentido foram colocados como objetivos:

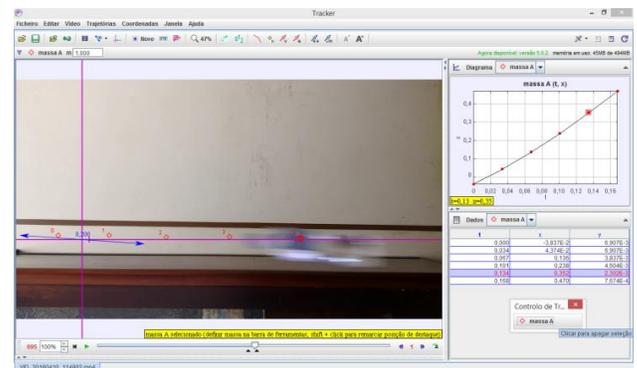
- Analisar a relação entre a rotação e a tensão de saída, que define as características fundamentais para a geração de energia, por intermédio da análise de vídeo do movimento das pás do *cooler*;
- Analisar o movimento das pás do *cooler*, na situação em que existem anteparos colocados no interior do tubo, discutindo a possibilidade da mudança, no perfil do escoamento do ar.
- Avaliar qualitativamente comportamento do escoamento do fluido, por intermédio do perfil dos flutuadores acoplados, na extremidade do tubo oposta ao *cooler* de entrada.

#### A. Características do software utilizado para a análise do vídeo

A técnica de análise de vídeo citada anteriormente, tem sido utilizada para a discussão de diversos fenômenos físicos, como apoio à prática letiva ou para permitir desvelar características que antes não eram conhecidas [25, 26, 27, 28, 29].

Essa forma de abordagem pode ser realizada com a utilização de diferentes softwares, no entanto o Tracker® (Figura 8), projetado para ser usado no ensino de Física [30], tem se mostrado mais comum entre a comunidade acadêmica voltada para esse tipo de análise. Baseado em Java Open Source Physics (OSP), permite que imagens (vídeo ou fotos) possam ser analisadas por um conjunto de comandos, fornecendo assim informações sobre o tipo de movimento.

Além do fato, de apresentar bons resultados nas análises feitas com esse software, ele apresenta vantagens entre os demais por ser gratuito, estar disponível em diversas línguas e poder ser usado sem a necessidade de instalação.



**FIGURA 8.** Software Tracker® sendo utilizado para análise do movimento de um corpo (Acervo dos autores).

#### B. Elementos utilizados na atividade e formas de análise

Para realizar cada uma das análises mencionadas anteriormente, o sistema foi montado utilizando os seguintes elementos: um tubo de policloreto de polivinila –conhecido no Brasil como PVC–, e dois ventiladores poliméricos utilizados para o arrefecimento de componentes eletrônicos, conhecidos como *cooler*, acoplados em suas extremidades. Um deles atuará como fonte propulsora de ar (*cooler* de entrada) e o outro que como gerador de tensão (*cooler* de saída) e uma grade contendo fios. Os *coolers* e a grade foram fixados ao tubo através de dois porta-ralos de PVC (Figura 9).



**FIGURA 9.** Esquema de montagem do sistema proposto (Acervo dos autores).

A primeira montagem foi realizada para avaliar a rotação do *cooler* em função da tensão de entrada (Análise 1 – *Cooler* como propulsor), onde foram feitas as filmagens do movimento das pás, para diferentes valores de tensão aplicados aos terminais do mesmo. Esse tipo de abordagem –apesar de parecer distante do objetivo inicial–, teve como princípio mostrar a relação dos valores de tensão (V) e velocidade angular das pás ( $\omega$ ), permitindo avaliar a possível relação entre essas grandezas.

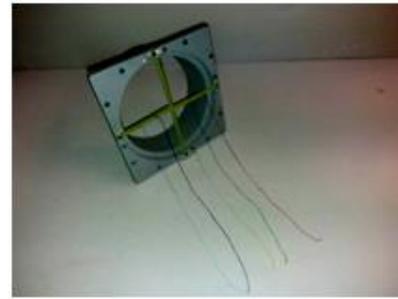
Na segunda montagem proposta (Análise 2 – *Cooler* de saída, gerador de tensão) foi avaliado o movimento das pás quando dentro do tubo possuía seu interior livre e quando foram colocados alguns anteparo (Figura 10), bem como a tensão gerada nessas condições. O objetivo aqui serviria para validar a possível relação encontrada na Análise 1, e também fomentar a discussão sobre a perda de energia ocorrida pela passagem de ar dentro do tubo, devido às configurações internas existentes.



**FIGURA 10.** Blocos de madeira utilizados como anteparos dentro do tubo (Acervo dos autores).

Na terceira montagem (Análise 3 – Avaliação do fluxo em função do comportamento dos flutuadores), se avaliou o movimento do fluxo de ar no tubo, utilizando um *cooler* como fonte propulsora em uma das extremidades, enquanto na outra, foi colocada uma grade contendo cinco fios coloridos (Figura 11), dispostos na posição vertical. Essa montagem teve como objetivo avaliar o perfil do movimento do ar no tubo, por meio da movimentação desses fios (flutuadores),

A produção de energia eólica e o escoamento do ar em um tubo... quando existia ou não anteparos no interior do tubo, buscando uma análise mais quantitativa do sistema.



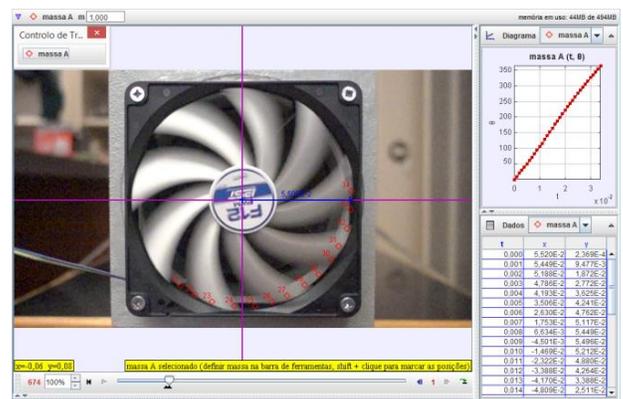
**FIGURA 11.** Fios utilizados para percepção do movimento do ar dentro do tubo (Acervo do autor).

## V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Análise 1. Cooler de entrada (propulsor de ar)

A primeira análise realizada sobre o sistema, foi relativo à velocidade de rotação máxima das pás do *cooler* de entrada, em função da tensão fornecida a esse dispositivo, por uma fonte variável. Nesta etapa, buscou-se verificar o comportamento funcional do sistema para perceber a existência ou não de uma velocidade limite, considerando as características dele, e para isso todo processo teve como base o *cooler* de entrada, usado para a produção de um fluxo de ar dentro do tubo.

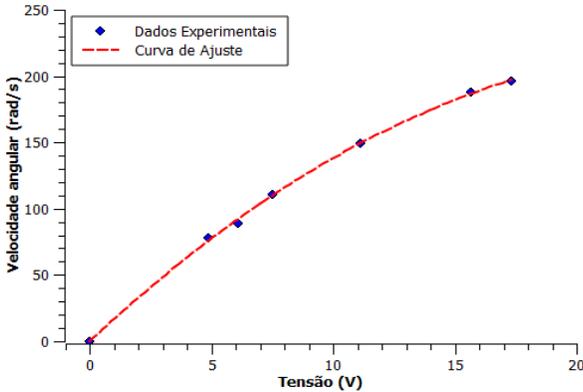
O movimento das pás do *cooler* de entrada foi examinado a partir de uma filmagem realizada por uma câmera ajustada para captação de 1000 frames por segundo (fps). Depois, esse filme foi inserido no software Tracker® (Figura 12) para que a análise fosse realizada.



**FIGURA 12.** Dados obtidos na análise com o software Tracker® (Acervo dos autores).

As medidas obtidas pela filmagem para diferentes valores, entre 0 V e 18,5 V, apresentaram um comportamento crescente da velocidade de rotação, avaliada pela velocidade angular ( $\omega$ ) das pás, em função do aumento de tensão (U) de forma não linear (Figura 13).

Na análise da equação de ajuste pertinente aos pontos encontrados, supomos a existência de uma limitação física do sistema de rotação, mesmo que a energia cedida a ele –no caso da energia elétrica–, aumente indefinidamente, e que deveria indicar uma tendência a um valor limite, para a velocidade angular.



**FIGURA 14.** Velocidade angular de entrada pela tensão fornecida (Acervo dos autores).

Essa suposição se adequa bem aos pontos, permitindo encontrar uma curva de ajuste da forma:

$$\omega = \omega_L \left(1 - e^{-kU}\right), \quad (1)$$

onde  $\omega$  e  $\omega_L$  são as velocidades angulares em cada instante e limite respectivamente –medidas em radianos por segundo (rad/s)–, e  $U$  é a diferença de potencial, medida em volts (V), a qual o *cooler* é submetido, e  $k$  é uma constante de amortecimento medida em  $V^{-1}$ ; sendo os valores das constantes, determinados pelo ajuste dos pontos (Tabela I).

**TABELA I.** Valores dos parâmetros da equação (1).

Parâmetro	Valor associado
$\omega$	324,92 rad/s
$k$	0,0534 $V^{-1}$

Se fizermos uma inversão da Equação (1), podemos avaliar o possível valor da tensão em situações limites; isto é, se pudermos escrever  $U = U(\omega)$  teremos:

$$U = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{\omega}{\omega_L}} \right), \quad (2)$$

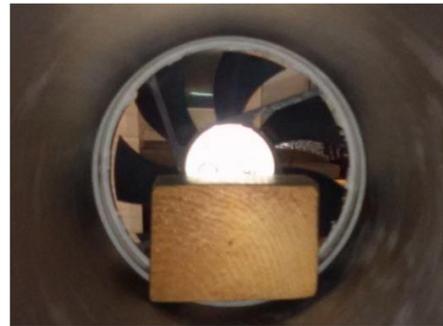
que pode indicar dois casos limites:

- $\omega_L \gg \omega$  não deve ser possível perceber a produção de tensão nos terminais do *cooler*, visto que o nessa condição o resultado do argumento do logaritmo na base neper, seria aproximadamente 1 e o valor de  $U \rightarrow 0$ ;
- $\omega = 0$  também não deve haver valor obtido de  $U$ , sendo esse também igual a zero. Esse valor é esperado, visto que não haverá movimento das pás, e com isso, não ocorrerá produção de corrente no circuito;
- $\omega \rightarrow \omega_L$  haverá um valor de  $U \rightarrow \infty$ , indicando uma produção infinita de potencial, que não é um resultado possível. Consideramos que, o sistema entraria em colapso, antes mesmo de chegar ao valor limite de rotação.

Discutir sobre a velocidade limite que um material tem, apesar de parecer óbvio, mostra a limitação de todos os materiais, trazendo ao estudante à possibilidade de analisar quantitativamente essa limitação, por intermédio das curvas de ajustes dos resultados encontrados.

**B. Análise 2. Cooler de saída (gerador de tensão elétrica)**

Para analisar o resultado do movimento das pás do *cooler* de saída, quando o tubo possuía em seu interior os blocos de madeira, apresentados na Figura 9, como mostrado na Figura 14, foi feito o mesmo procedimento de análise de vídeo.



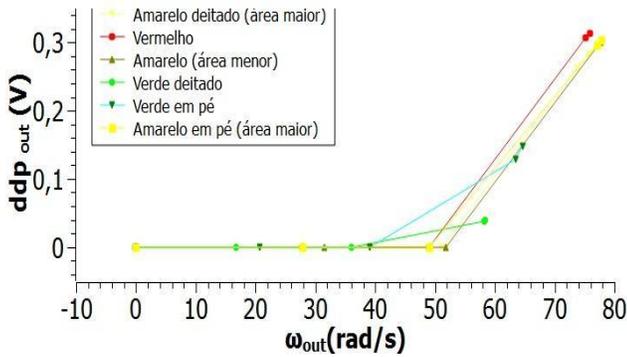
**FIGURA 14.** Posicionamento de um dos blocos no interior do tubo (Acervo dos autores).

Com os diferentes valores de rotação do *cooler* de entrada, utilizado como fonte propulsora, é possível notar que nessas condições existe um aumento da tensão, produzida pelo *cooler* de saída em função da sua rotação, como o esperado.

Os valores encontrados confirmam a Equação 2, isto é, para pequenas rotações não são produzidos valores perceptíveis de tensão (Figura 15).

Nota-se pela Figura 13 que, existe uma clara perda de geração de energia, pela diminuição da área livre das pás do *cooler*, quando um anteparo é introduzido no interior do tubo, mostrando que, a possibilidade de mudança no fluxo de ar, pode afetar diretamente o desempenho do dispositivo gerador de tensão.

É importante dizer que nesta análise não foram levadas em conta a perda de carga, devido ao tamanho do tubo ou mesmo, com as características de entrada e saída do tubo, pois esse trabalho tem como propósito mostrar uma análise de fatores ligados à produção de energia elétrica, e criar uma reflexão sobre a mesma.



**FIGURA 15.** Valores de tensão produzidos em função da rotação do cooler, considerando a presença de objetos no interior do tubo (Fonte: Acervo dos autores).

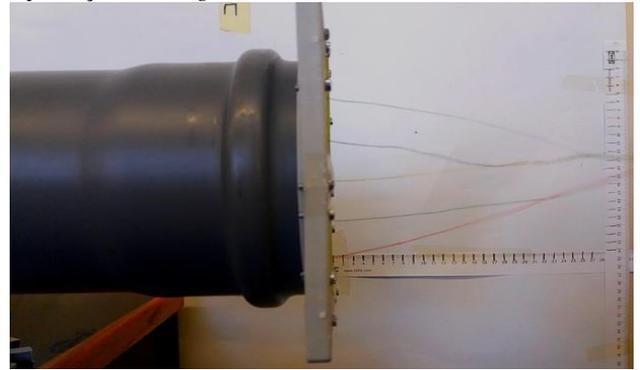
### C. Análise 3. Avaliação do fluxo em função do comportamento dos flutuadores

Nesta análise relacionada ao movimento do fluido de ar dentro do tubo, foi possível pela observação de um conjunto de flutuadores (Figura 10), quando em uma das extremidades eram inseridos ou não anteparos, para bloquear a passagem do fluxo de ar (Figura 15).



**FIGURA 15.** Montagem do sistema para analisar o perfil dos flutuadores quando há anteparo (Acervo do autor).

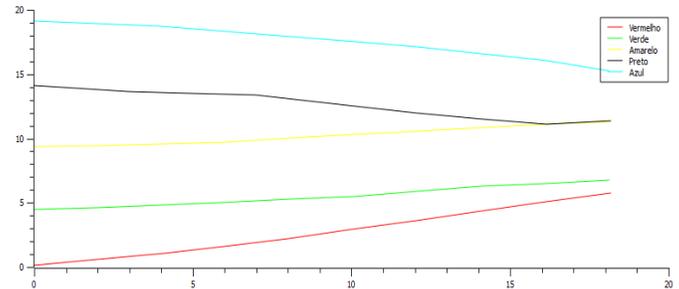
A produção de energia eólica e o escoamento do ar em um tubo...



**FIGURA 16.** Comportamento dos flutuadores sem a presença de anteparos no interior do tubo (Acervo do autor).

Na análise qualitativa verificou-se que, quando não tinham anteparos dentro do tubo, havia uma convergência dos flutuadores com indicativo de um movimento laminar, do fluxo de ar.

Essa avaliação foi realizada diretamente pela análise da fotografia, com o auxílio do software xyscan® [31] –uma ferramenta que extrai valores numéricos a partir de um gráfico ou de imagens–, no qual foi possível a construção de um gráfico da posição dos flutuadores, em função das distâncias da extremidade do tubo, para as situações sem a presença dos anteparos dentro do tubo (Figuras 16, 17).

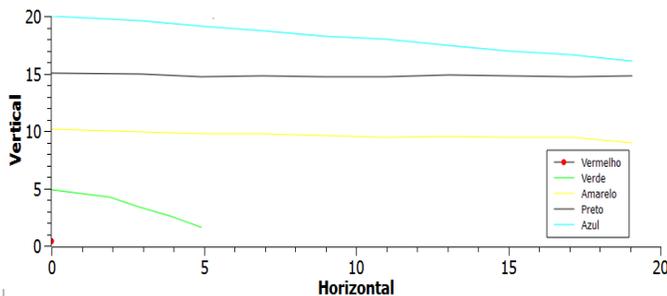


**FIGURA 17.** Perfil dos flutuadores quando não há barreiras dentro do tubo.

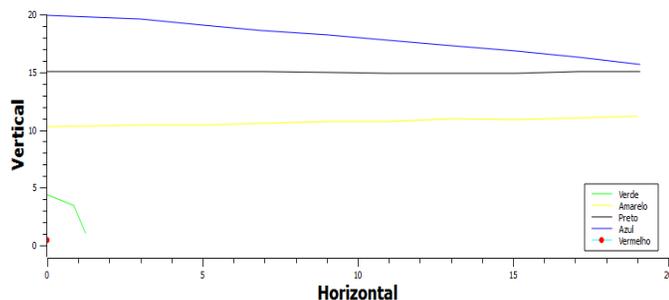
Repetindo-se a análise na presença de barreiras dentro do tubo (Figura 18), próximo da extremidade onde se encontrava os flutuadores, observou-se uma mudança significativa no perfil, em relação aquele quando não existem barreiras (Figuras 19, 20). No entanto, é possível dizer que, o comportamento laminar do fluido ainda se faz presente nas regiões onde não existe o anteparo, e que pode estar relacionado à velocidade de escoamento nessas condições.



**FIGURA 18.** Visão frontal do tubo com o um anteparo colocado no seu interior em duas posições distintas (Acervo do autor).



**FIGURA 19.** Perfil dos flutuantes quando o anteparo está na primeira posição da figura 18.



**FIGURA 20.** Perfil dos flutuantes quando o anteparo está na segunda posição da figura 18.

## VI. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto todos os resultados, podemos perceber que, primeiramente, na análise quantitativa, o perfil dos flutuantes colocados na extremidade oposta do *cooler* propulsor, mostrou-nos de forma visual, a tendência para o movimento laminar do fluxo de ar, mesmo quando havia os obstáculos, pois esses não tinham curvas notórias a ponto de formarem os vórtices.

Quanto à análise qualitativa, podemos perceber nas os limites físicos de funcionamento do sistema proposto, podendo ser extrapolado para a análise de um gerador que será colocado em funcionamento, para perceber se haverá velocidade de vento suficiente capaz de fornecer um bom rendimento na produção de energia elétrica.

O trabalho tenta trazer a discussão sobre o melhor desempenho nos sistemas de geração de energia elétrica, a partir de um sistema simples que mostrou o movimento das pás, dado à passagem do ar em um tubo. Essa montagem traz discussões que devem ser levadas aos cursos de engenharia a cerca de responsabilidade ambiental e de conhecimento de muitos fenômenos físicos, desde mecânica a eletricidade, de forma multidisciplinar.

Por fim, vale ressaltar que, estas pequenas análises deixam claro para os alunos que, caso um sistema de energia comece a não ter o rendimento esperado, ou o nível de vento na região não está sendo suficiente, ou as pás podem estar sendo bloqueadas por algum obstáculo que ali se encontra. Ou seja, essas análises devem ser as primeiras a serem feitas, antes de realizarem outras que sejam mais dispendiosas e caras. Isso mostrará a ele que, não existe um sistema de geração perfeito, e que deve haver uma matriz de produção energética e não apenas uma forma de produção.

## VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Educação do Brasil pela oportunidade de realizar este trabalho, e ao financiamento da Fundação para uma Ciência e Tecnologia, Projeto UID / NAN / 50024/2013.

## REFERENCIAS

- [1] Goldemberg, J., Lucon, O., *Energias renováveis: Um futuro sustentável*, Revista USP **72**, 6-15 (2007).
- [2] Leephakpreeda, T., *Study of conversion efficiency of tubetype solar thermal collectors*, Thammasat International Journal of Science and Technology **15**, 10-16 (2010).
- [3] Delizoicov, D., Angotti, J. A., Pernambuco, M. M., *Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos*, (Cortez, Brasil, 2002).
- [4] Santos, W. L. P., *Educação científica humanística em uma perspectiva freireana: Resgatando a função do ensino de CTS*, Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia **1**, 109-131 (2008).
- [5] Bueno, C., *Energia e lixo: Problemas e soluções*, Divulgación y cultura científica iberoamericana, (2008), Disponível em: <https://goo.gl/TASX3y>, consultado: 9 maio 2018.
- [6] Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, *Monthly electricity statistics*. Disponível em: <https://goo.gl/DfD4pv>, consultado: 7 fev. 2018.
- [7] Fioreze et al., *Gás natural: Potencialidades de utilização no Brasil*, Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental **10**, 2251-2265 (2013).
- [8] Alves, H. J., Melchíades, F. G., Boschi, A. O., *Consumo de gás natural na indústria de revestimentos cerâmicos brasileira*, Cerâmica **54**, 326-331 (2008).

- [9] Empresa de Pesquisa Energética. *Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira*, (Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2012).
- [10] Goiás, *Fundição de alumínio. Redução do risco a saúde dos trabalhadores e população exposta*, (Superintendência de Vigilância Sanitária e Ambiental, Goiânia, 2003).
- [11] Ferreira, P. C., Piai, K. A., Takayanagui, A. M. M., Segura-Muñoz, S. I., *Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer*, Revista Latino-americana de Enfermagem **16**, 151-157 (2008).
- [12] Rocha, A. F., *Cádmio, chumbo, mercúrio. A problemática destes metais pesados na Saúde Pública?*, Monografia, (Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação, Porto, 2009).
- [13] Brasinter produtos químicos, *Ficha de informações de segurança de produto químico: Ácido clorídrico*, Disponível em: <https://bit.ly/2x5MpxO>, consultado: 9 abr. 2018.
- [14] Florão, A., Fonseca, R.V., Lopes, M., Gabriel, M. M., *Fosfina: Riscos*, Visão Acadêmica **5**, 101-108 (2004).
- [15] Shayani, R. A., *Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, (2006).
- [16] Barbosa Filho, W. P., Azevedo, A. C. S., *Impactos ambientais em usinas eólicas*, IX Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, Itajubá, Brasil (2013).
- [17] Souza, L. L., Cunha, R. B., Silva, A. V., Santos, M. H. P., *Análise do impacto ambiental causado pela geração de energia eólica*, Engenharia **625**, 80-82 (2015).
- [18] Global Wind Energy Council, *Annual Market Update*, Disponível em: <https://goo.gl/rjvBsE>, consultado: 11 jul. 2018.
- [19] Portal Energia, *Omniflow, tecnologia portuguesa inovadora de microgeração solar e eólica*, Disponível em: <https://bit.ly/2O9wtls>, consultado: 18 out. 2017.
- A produção de energia eólica e o escoamento do ar em um tubo...*
- [20] Vilanova, L. C., *Mecânica dos fluidos*, (Escola Técnica Aberta do Brasil, Brasil, 2011).
- [21] Rodrigues, L. E. M. J., *Mecânica dos fluidos*, Disponível em: <https://goo.gl/XwcYBz>, consultado: 7 fev. 2018.
- [22] Weltner, K., Ingelman-Sundberg, M., Esperidião, A. S., Miranda, P., *A dinâmica dos fluidos complementada e a sustentação da asa*, Revista Brasileira de Ensino de Física **23**, 429-443 (2001).
- [23] Nuclear Power, *Reynolds number for laminar flow*, Disponível em: <https://goo.gl/URTB3A>, consultado: 9 abr. 2018.
- [24] Schneider, P. S. S., *Medição de velocidade e vazão de fluidos*, (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2011).
- [25] Wee, L. K., Chew, C., Goh, G. H., Tan, S., Lee, T. L., *Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion*, Physics Education **47**, 448-455 (2012).
- [26] Dias, M. A., Carvalho, P. S., Vianna, D. M., *Using image modelling to teach Newton's Laws with the Ollie trick*, Physics Education **51**, 1-6 (2016).
- [27] Silva, V. A., Cruz, F. A. O., *Análise do movimento periódico: Uma proposta de abordagem virtual*, Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista **7**, 15-23 (2017).
- [28] Carvalho, P. S., Rodrigues, M. J., *The bottle flip challenge demystified: where is the centre of mass?*, Physics Education **52**, 1-5 (2017).
- [29] Saavedra Filho, N. C., Lenz, J. A., Bezerra, A. G., *A videoanálise como mediadora da modelagem científica no Ensino de Mecânica*, Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia **10**, 231-246 (2017).
- [30] Brown, D., *Tracker-Video analysis and modeling tool*, (2018), Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>, consultado: 10 abr. 2018.
- [31] Ullrich, T. S., *xysacan*, (2017), Disponível em: <https://bit.ly/2xf2d1g>, consultado: 10 abr. 2018.