

# **Desenvolvimento De Um Anemômetro De Baixo Custo Utilizando Indução Magnética**

**Victor Alexandre Dodô da Silva**

*Faculdade de Tecnologia, Garça-SP – dodosilva1978@hotmail.com*

**Prof. Dr. Marcos Vinicius Bueno de Moraes**

*Faculdade de Tecnologia, Garça-SP – mvbdemorais@gmail.com*

**Prof. Dr. Edio Roberto Manfio**

*Faculdade de Tecnologia, Garça-SP – prof.ediorobertomanfio@gmail.com*

## **Resumo**

O vento é o movimento do ar com relação à superfície terrestre que surge a partir da diferença de pressão. Este fenômeno interfere em toda a vida no planeta e seu estudo ajuda na geração de energia limpa e pode prevenir catástrofes. Visto a importância do conhecimento da velocidade do vento, este trabalho propõe como objetivo o desenvolvimento de anemômetros de diferentes tamanhos, utilizando materiais de baixo custo. Será desenvolvido um anemômetro do tipo de copo que se utiliza do princípio de indução magnética por meio de um ímã e um sensor de efeito hall. Este anemômetro será acoplado a uma estação meteorológica que ficará na unidade da Fatec de Garça. Desta forma, será possível obter a velocidade do vento. Este anemômetro será adicionado ao protótipo do Projeto Solar-Sima, no qual pretende-se acoplar também uma estação solarimétrica. Para ambos os casos, serão utilizadas as plataformas Arduino UNO para prototipagem. Também será calculada a potência de geração de energia baseada nos dados observacionais obtidos.

**Palavras-chave:** Energia Eólica. Vento. Campo Magnético. Sensor Hall.

---

## ***Development of a low cost anemometer using magnetic induction***

### ***Abstract***

Wind is the air movement relative to the earth's surface that arises from the pressure difference. This variable interferes in all life on the planet and its study helps in generating clean energy and can prevent catastrophes. Considering the importance of knowledge of wind speed, this paper proposes the development of an anemometer using low cost materials. A cup type anemometer using the principle of magnetic induction will be developed by means of a magnet and a hall effect sensor. This anemometer will be coupled to a weather station that will be in the FATEC Garça. In this way, it will be possible to obtain wind speed. This anemometer will be added to the prototype of the S.O.L.A.R. project, which has the objective of coupling a solarimeter station. The Arduino UNO platform for prototyping will be used. Also, the wind power based on the observational data is calculated.

**Keywords:** Wind Energy. Wind. Magnetic Field. Hall Sensor.

---

## 1 Introdução

A Meteorologia é uma ciência extremamente complexa, visto a extensão e variabilidade da atmosfera. Os fenômenos atmosféricos são de diversas escalas, tanto temporal quanto espacial. O seu estudo é de extrema importância, pois vários aspectos da vida cotidiana são afetados pelo tempo: o vestuário, preço de mercadorias, atividades esportivas, etc (JUSTI DA SILVA, 2009). Muitos eventos atmosféricos extremos como granizo, vendaval e/ou tempestades podem ocasionar em grandes desastres, desde perdas materiais quanto humana (MARTINS et al., 2016).

Na agricultura, o tempo e o clima são decisivos desde o contexto climatológico, na escolha do tipo de plantação quanto na escolha de maquinários agrícolas para as diversas atividades nas lavouras. Além disso, influencia na qualidade de vida dos animais e no gerenciamento de recursos hídricos (LOWRY, 1989).

Em geral, a Meteorologia pode ser classificada de acordo com o setor da atividade aplicada. Entre elas (WALLACE e HOBBS, 2006), destacam-se: apoio a operações de pouso e decolagem, planejamento de rotas e aeroportos, conhecida como *meteorologia aeronáutica*; estudos de interação ar-mar, previsão de marés e ondas, planejamento de rotas de navios e plataformas de extração de petróleo; informações obtidas da área da *meteorologia marinha*; estudos e controle de poluição atmosférica e planejamento urbano; atuações da *meteorologia ambiental*; projetos agrícolas, plantio e colheitas, produtividade, novas espécies; importantes na *agrometeorologia*; planejamento e impacto de reservatórios, controle de enchentes e abastecimento; informações da área de *hidrometeorologia*; influência do tempo sobre a saúde, reações e modo de vida do homem, animais e plantas; *biometeorologia*.

Além destas, destaca-se a importância da meteorologia na área de energia, principalmente com relação às fontes renováveis (HODGSON, 2010). A cada dia, estas áreas da meteorologia se correlacionam. Além disso, tecnologias sofisticadas como, por exemplo, aquelas associadas a radares e satélites, permitem observação e monitoramento mais detalhado da atmosfera e computadores de alta velocidade tornaram possível lidar com complexos modelos numéricos da atmosfera (BAUER et al, 2015). O acervo crescente de conhecimentos na Meteorologia está sendo aplicado a uma grande gama de problemas práticos, incluindo previsão de fenômenos atmosféricos que influenciam as atividades humanas (por exemplo, o tempo no dia-a-dia, riscos para a aviação, secas, tempestades severas, eventos na alta atmosfera que possam afetar as rádio-comunicações); avaliação do impacto das atividades humanas sobre o meio atmosférico (por exemplo, poluição do ar, modificação da composição da atmosfera, tempo e clima), modificações benéficas de certos processos físicos que agem em pequena escala (por exemplo, supressão de granizo, aumento e redistribuição da precipitação) e fornecimento das informações estatísticas básicas da atmosfera necessárias para planejamento de longo prazo (por exemplo, zoneamento de uso do solo, projeto de edifícios, especificações para aeronaves).

Em adição a estes aspectos tradicionalmente reconhecidos, tem havido e continuará havendo uma demanda crescente por decisões políticas envolvendo a atmosfera, relacionados à poluição e seu controle, efeitos de vários produtos químicos sobre a camada de ozônio e outros impactos ambientais. Portanto, há necessidade de crescente conhecimento sobre a atmosfera e seu comportamento (JAFFREZZO et al, 1995). Entre eles, os efeitos das mudanças climáticas.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) há várias e coerentes observações de mudanças físicas e biológicas atribuídas as mudanças climáticas globais, porém ainda são poucos os indicadores existentes dos efeitos na saúde humana. As projeções de mudanças climáticas apontam para um aumento de 2 à 4,5 °C de aumento da temperatura média global e um aumento da frequência de ocorrência de ondas de calor. Os idosos, crianças

e imunocomprometidos são os grupos mais suscetíveis às mudanças das condições médias ambientais as quais são expostas. Em centros urbanos onde a maior parte da população vive os riscos à saúde associadas às mudanças climáticas e fatores ambientais se amplificam. No Brasil, cerca de 84% da população vive em centros urbanos e em condições, a grande maioria, não adequadas de moradia, tornando-se mais vulneráveis ao calor, umidade, concentração de partículas, gases tóxicos, etc. No entanto, embora a renda indique populações mais vulneráveis a relação renda-impacto na saúde não é simples de ser quantificada e parametrizada, pois existem diversos fatores ambientais de confusão.

A OMS para o Brasil estima que a poluição do ar cause aproximadamente 20 mil mortes por ano. O material particulado atmosférico, ozônio e os óxidos de nitrogênio são os principais responsáveis. O mecanismo mais aceito para explicar os efeitos adversos à saúde (sistema respiratório) dos poluentes é que em contato com o epitélio respiratório, altas concentrações de oxidantes e pro-oxidantes presentes nos poluentes como o material particulado, gases como  $O_3$  e  $NO_x$  causam a formação de radicais livres que induzem o stress oxidativo nas vias aéreas, desencadeando um processo inflamatório (ARBEX et al., 2012).

Com relação à agricultura, o conhecimento das variáveis meteorológicas no local influenciam diretamente na produtividade da plantação. Nas estações meteorológicas é possível verificar diversos fatores que influenciam no gerenciamento das atividades agrícolas, como a direção predominante dos ventos, a precipitação acumulada na safra, a temperatura média em um período. O monitoramento dessas variáveis visa melhorar a tomada de decisão no campo. Além disso, o registro a longo prazo fornece suporte para um planejamento agrícola mais eficaz. Também é possível realizar o manejo da irrigação (BERNARDO et al, 2006), pois é possível quantificar a formas de entrada e saída de água de uma plantação.

Ao longo do tempo, os instrumentos utilizados pelos meteorologistas foram se desenvolvendo e, com eles, a precisão das previsões do tempo foi melhorada. Entre os primeiros instrumentos meteorológicos podemos citar o higrômetro, o cata-vento de Leonardo da Vinci, o termômetro de Galileu Galilei e o barômetro de Evangelista Torricelli. Ao longo do século XX, a melhoria nas técnicas e a precisão dos dados, fato ocasionado, sobretudo, pela obtenção de imagens de satélite, as estações automáticas de superfície e aos radares meteorológicos, vêm aumentando a precisão cada vez mais, o que favorece as ações humanas e proporciona melhorias na qualidade de vida da sociedade.

Uma estação meteorológica é um dispositivo com um conjunto de instrumentos, aparelhos e sensores para observação e monitoramento de parâmetros atmosféricos para fornecer informações sobre o estado atual da atmosfera, e para auxiliar na previsão do tempo. Os diferentes instrumentos que possui, assim como a precisão deles, dependerá da finalidade de cada estação. São parâmetros fundamentais para caracterizar o tempo e clima de uma determinada região: Temperatura do ar média, mínima, máxima, umidade relativa do ar, intensidade e direção do vento, pressão atmosférica.

Uma estação meteorológica típica têm os seguintes instrumentos:

- Termômetro: para medir a temperatura do ar;
- Barômetro: para medir a pressão atmosférica;
- Higrômetro: para medir a umidade do ar;
- Anemômetro: para medir velocidade do vento;
- Sensor cata-vento: para medir direção do vento;
- Pluviômetro: para medir precipitação líquida sobre um certo período de tempo.

Em países como Brasil, a economia depende muito da agricultura. Para um planejamento efetivo, o conhecimento de informações agrometeorológicas de um local é de suma importância. A maioria dos agricultores vive em áreas remotas, com pouca informação sobre a situação meteorológica atual e local. Além disso, as informações obtidas através de noticiário da televisão, rádio ou jornal são muitas vezes imprecisas para o local.

Outra problemática considerável é a qualidade do ar e como a variação dos parâmetros meteorológicos ao longo do tempo influenciam na concentração deles nas cidades, e como isto afeta as pessoas que nelas residem. Dado que a poluição de um local é altamente afetada pela meteorologia e das características específicas de uma cidade ou bairro, muitas vezes a previsão realizada para um ponto dentro de uma cidade não reflete a realidade de uma outra região um pouco mais afastada, dentro da mesma área urbana. Por isto, é importante contar com uma maior rede de monitoramento. Mas isto é pouco viável dado ao alto custo dos diferentes sensores atualmente utilizados para este tipo de monitoramento.

A redução de custos na concepção de estações de monitoramento meteorológico para diferentes aplicações, tanto rurais como urbanos, faria com que o entendimento, a previsão do tempo e o melhoramento da qualidade de vida e da produção de diferentes culturas agrícolas possam ser otimizadas.

Visto a importância das informações meteorológicas para diversas áreas, este trabalho visa construir um anemômetro utilizando materiais de baixo custo e o conceito de indução eletromagnética. O principal objetivo é de facilitar o acesso aos equipamentos para grupos de pesquisa na área meteorologia e a agricultores. As etapas de construção são as seguintes: (1) construir um protótipo de um anemômetro com 3 copos; (2) programar um microprocessador Arduino para interpretar as variações do campo magnético através de um sensor do tipo Hall; (3) verificar o potencial do equipamento como potencial gerador eólico.

## 2 Desenvolvimento

O vento corresponde ao movimento do ar devido a diferença de pressão atmosférica. Este deslocamento acontece de áreas de maior pressão atmosférica para regiões de baixa pressão. O conhecimento desta grandeza meteorológica é muito importante, pois sua aplicabilidade vai desde a geração de energia via eólica, à distribuição de pólenes, transpiração das plantas, absorção de CO<sub>2</sub>, planificação de vôos de aviões, entre outras funções do dia a dia. Além disso, ventos intensos também podem ocasionar danos materiais e mortes, como por exemplo, o furacão Katrina, em 2005, que é considerado o desastre natural mais caro da história (com aproximadamente 91 bilhões de dólares), e que atingiu ventos de até 280 km/h.

Um anemômetro consiste num instrumento para medir a velocidade de fluidos em movimento. Geralmente possui uma ou mais pás ou hélices e a estas são associados aerofólios para indicar a direção do escoamento do fluido. Os seus movimentos são transmitidos por meios mecânicos ou elétricos a mostradores ou a registradores, que indicam velocidade do fluido.

Neste trabalho, foi desenvolvido o anemômetro do tipo ‘caneco’ ou ‘copo’. Segundo Cristofoli Silva (2010), este tipo de anemômetro consiste de um instrumento com três ou quatro pequenos hemisférios ocios, de forma que eles apanham a energia cinética do fluido e giram em torno de uma haste vertical. Um dispositivo elétrico registra as revoluções dos copos (ou do eixo) e calcula a velocidade do vento. Suas principais características são a simplicidade e sensibilidade. A velocidade de rotação é em função da velocidade do fluido. No modelo proposto, os copos foram elaborados com vasilhas plásticas e presos por parafusos, tornando o anemômetro modular. A Figura 1 apresenta o protótipo do anemômetro instalado na Fatec Garça, próximo ao buscador solar do Projeto Solar-Sima<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> O Projeto Solar-Sima é composto por um buscador solar automatizado, um mix de sensores meteorológicos e um sistema que opera com comandos por voz por meio de um robô de conversação denominado robô Solar (MANFIO, MORENO, GUERRA E MORAIS, 2017).

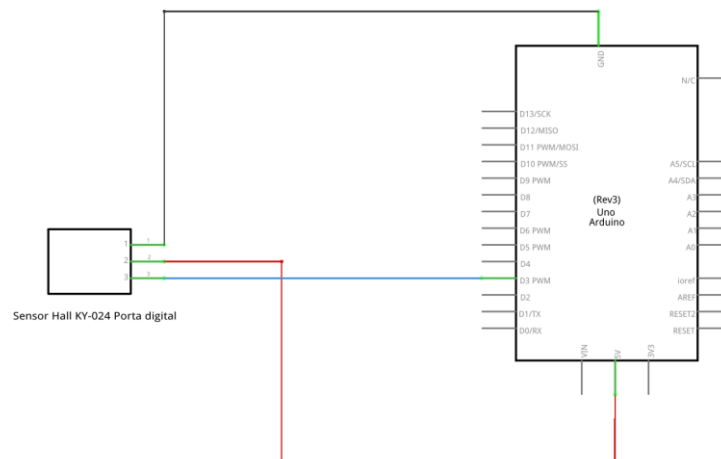
**Figura 1** – Protótipo do anemômetro instalado na Fatec.



Fonte: os autores.

No eixo de rotação do anemômetro encontra-se um ímã de neodímio, cuja variação do campo magnético durante a rotação gera uma força eletromotriz induzida que compõe um sinal a ser processado pelo microcontrolador. O sensor utilizado para receber este sinal foi o Hall Ky-024. Na Figura 2 é mostrado o esquema de instalação do sensor Hall no Arduino Uno para realização das medidas de velocidade. O valor quadrático médio desta tensão induzida no anemômetro é utilizado para determinar a velocidade do vento escoando através da hélice, sendo necessária uma calibração prévia.

**Figura 2** – Esquema de instalação do sensor Ky-024 no Arduino Uno. Para leitura dos dados foi utilizada a porta digital 2 do microcontrolador.



Fonte: os autores.

Para realizar a calibração, o anemômetro foi instalado na estação meteorológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina, que já consta com

um instrumento calibrado. O protótipo foi instalado a 2 metros de altura, enquanto que o padrão da estação está localizado a 10 m (Figura 3), com o dispositivo orientado para o Norte Geográfico. Para tanto, foi utilizado o conceito de perfil logarítmico do vento, de acordo com a equação proposta por Allen et al. (1998), para validar os dados a uma mesma altura (2 metros acima da superfície):

**Figura 3** – Protótipo instalado na estação meteorológica da UTFPR de Londrina. A imagem da esquerda mostra a estação completa, e a da direita mostra a perspectiva do protótipo com o instrumento a 10 m.



Fonte: os autores.

$$u_2 = u_{10} \frac{4,87}{\ln(67,8h - 5,42)} \quad (1)$$

onde  $h$  corresponde a altura da medida original ( $h=10$  m, para este trabalho) e  $u_{10}$  corresponde à medida do vento a 10 m. A partir desta transformação da velocidade do vento, os dados de velocidade do vento do protótipo foram calibrados a partir de uma regressão linear com as informações da estação meteorológica da UTFPR.

Entre as diversas funcionalidades do conhecimento do vento, a energia eólica tem um grande potencial. Segundo Devine-Write (2005), esta energia é a transformação da energia mecânica do vento em energia elétrica. Historicamente, o seu potencial vem desde as grandes navegações, onde grandes embarcações eram impulsionadas por meio de velas ou ‘moinhos de vento’. O potencial eólico tem grande valor não só pela sustentabilidade mas também pela economia devido a grande volatilidade de preços de combustíveis fósseis (KROHN, 2009). A partir da calibração do protótipo, a possível potência gerada pelo anemômetro foi calculada utilizando a relação

$$P = \frac{\pi}{2} \rho r^2 u^2 \quad (2)$$

onde  $P$  é a potência (em Watts),  $\rho$  é a densidade do ar ( $0,177 \text{ kg/m}^3$  para o ar entre  $-10$  e  $30$  °C),  $r$  é o tamanho do braço do anemômetro (igual a  $0,2 \text{ m}$ ), e  $u$  é a velocidade do vento a  $2 \text{ m}$ . Esta relação é obtida a partir do conceito de energia cinética do fluido, que neste caso é o ar.

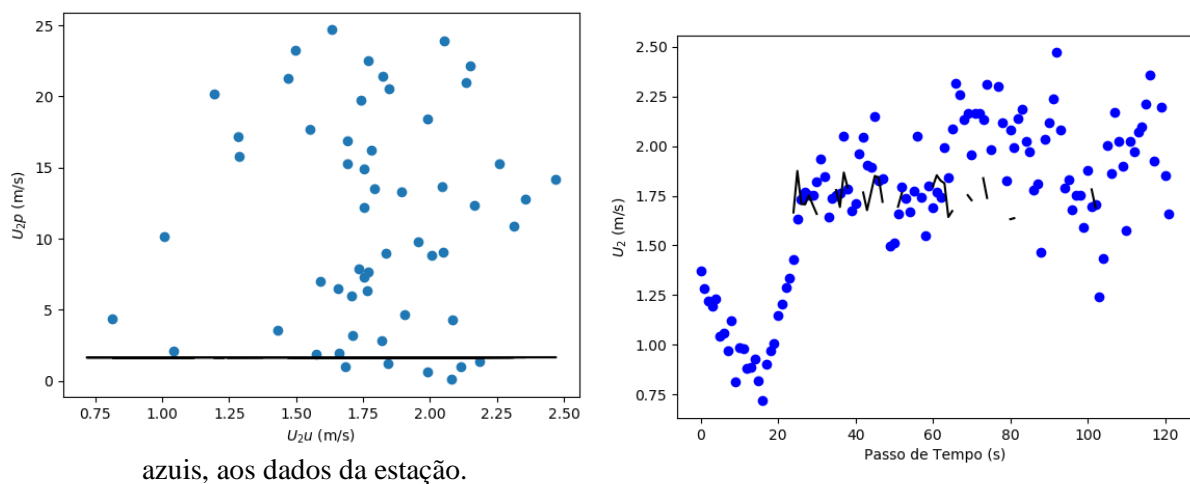
### 3 Resultados e Discussões

A Figura 4a apresenta uma comparação dos dados entre o protótipo e os dados da estação meteorológica adaptada para  $2 \text{ m}$ . O protótipo apresenta valores cerca de 10 vezes mais altos que os obtidos com a estação meteorológica da UTFPR. Isto pode ser devido a um erro de programação ou até mesmo ao material do equipamento. Realizando a regressão linear, a inclinação da reta corresponde a  $0,0099$ , enquanto que o dado que intercepta o eixo corresponde a  $1,6312$ . A evolução dos dados é apresentada na Figura 4b. É possível verificar que, apesar da série de falhas de dados devido a problemas estruturais do equipamento, o mesmo consegue apresentar uma amplitude de vento dentro da faixa esperada pelo anemômetro da estação meteorológica, após o processo de calibração do dispositivo. Esta correção é realizada dentro do código do Arduino, o que permite a sua calibração.

Com relação a potência gerada a partir do conceito de energia eólica, o anemômetro possui potencial de geração de energia, visto que a sua estrutura suporta grande intensidade de ventos e rajadas. Em estudos recentes, o protótipo suportou ventos de até  $77 \text{ km/h}$ , em tempestade do dia 10 de outubro de 2017 na região de Garça – SP (SILVA et al., 2018). A Figura 5 apresenta a potência gerada neste dia, a partir do uso da equação (2). Analisando os dados, a potência gerada durante este período tem media de  $4,52 \text{ Wh}$ .

Importante lembrar que todos esses dados podem ser consultados por meio da Interface-Humano Computador baseada em Processamento de Linguagem Natural do Projeto Solar-Sima (Figura 01). Em outras palavras, uma vez instalado e calibrado junto ao Solar-Sima, basta que o usuário/operador solicite a informação a partir do robô Solar (GUERRA, MANFIO, MORENO e MORAIS, 2017) um *chatbot* que consulta os dados em tempo real dos sensores e responde por meio de síntese de voz, otimizando algumas buscas.

**Figura 4** – (a) correlação entre os dados de velocidade do vento (em m/s) obtidos com o protótipo ( $u_{2p}$ ) e da estação meteorológica ( $u_{2u}$ ). (b) Evolução do período de avaliação. A linha preta corresponde aos dados do protótipo e os círculos azuis, aos dados da estação.

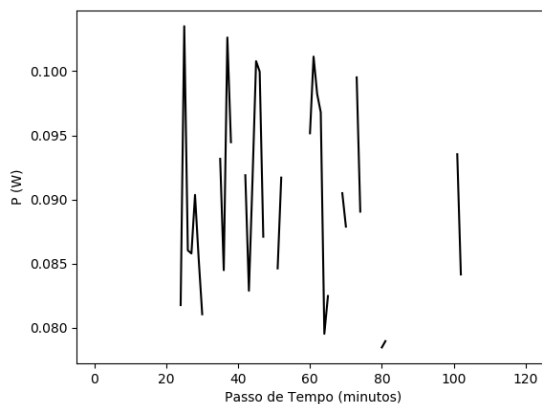


(a)

(b)

Fonte: os autores.

**Figura 5** – Potência gerada (em Watts) pelo protótipo do anemômetro calculada a partir da equação (2).



Fonte: os autores.

#### 4 Considerações Finais

Com o objetivo de desenvolver um anemômetro de baixo custo, este trabalho apresentou aspectos de construção, calibração e validação de um protótipo utilizando materiais de fácil acesso. O princípio físico para a medição da intensidade do vento foi de indução magnética. Para tanto, um ímã foi instalado no eixo de rotação do anemômetro. A leitura foi realizada através de um sensor hall e do microcontrolador Arduino Uno. Além disso, uma análise do uso do protótipo para geração de energia eólica foi feita. Os resultados mostram que, apesar da dificuldade do protótipo em medir o vento, o processo de calibração se mostrou satisfatório, obtendo valores de vento dentro da faixa esperada. Além disso, por ser um equipamento extremamente robusto e com uma estrutura reforçada, o protótipo se mostrou adequado como pequena fonte de geração de energia eólica.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem aos integrantes do Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos (EAE-Lab) pelo fornecimento dos dados. A equipe do EAE-Lab são responsáveis pela manutenção da estação meteorológica da UTFPR de Londrina.

#### REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998, 56, 300 pp.

ARBEX, M.A., SANTOS, U.P., MARTINS, L.C., SALDIVA, P.H.N., PEREIRA, L.A.A., BRAGA, A.L.F. Air Pollution and respiratory system. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643. 2012.



BAUER, P.; THORPE, A.; BRUNET, G. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, v. 525, n. 7567, p. 47-55, 2015.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 2006, editora UFV, 625 p.

CRISTOFOLI ALVES, L. Sensores de Velocidade (Anemômetro) – *Relatório de Atividades para Mecânica de Flúidos*. UNIOESTE, 10P, 2010.

DEVINE-WRITE, P. Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy. *Wind Energ.*, v. 8, p. 125–139, 2005. doi:10.1002/we.124

GUERRA, Marcos Paulo Guimarães; MANFIO, Edio Roberto; MORENO, Fabio Carlos, MORAIS, Marcos Vinícius Bueno de. **IHCs dedicadas a energias sustentáveis**. In *Revista Eletrônica e-F@tec*. Faculdade de Tecnologia de Garça. ISSN: 2317- 451X. v. 7 n. 1. Garça, 2017.

HODGSON, P. E. The Renewable Energy Sources. Energy, the Environment and Climate Change: pp. 27-48. 2010.

KROHN, S. The Economics of Wind Energy, Belgium: European Wind Energy Association (EWEA), Mar. 2009.

JUSTI DA SILVA, M.G.A., Para entender Tempo e Clima. Capítulo 1 In IRACEMA *et al.*, *Tempo e Clima no Brasil*. Oficina de Textos. 2009.

LOWRY, W.P. – Fundamentals of biometeorology: interactions of organisms and the atmosphere. Mcminnville, Peavine, 1989, 310p.

MARTINS, J. A; BRAND, VERONIKA S. ; CAPUCIM, MAURICIO N. ; FELIX, RAFAEL R. ; MARTINS, LEILA D. ; Freitas, Edmilson D. ; GONÇALVES, FABIO L.T. ; Hallak, Ricardo ; DIAS, MARIA A. F. SILVA ; CECIL, DANIEL J. . Climatology of destructive hailstorms in Brazil. *Atmospheric Research* (Print), v. 184, p. 126-138, 2016.

SILVA, V. A. D. ; MORAIS, MARCOS V. B. ; MANFIO, E. R. . Aplicação do conceito de indução eletromagnética para velocidade do vento. In: 7º Congresso de Pesquisa Científica, 2017, Garça. Anais do 7º Congresso de Pesquisa Científica: Inovação, Sustentabilidade, ética e cidadania, 2017. v. 7.

SILVA, V. A. D. ; MANFIO, E. R.; MORAIS, MARCOS V. B. Avaliação do sensor de efeito hall para medidas de ventos em eventos atmosféricos extremos. In: 3ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC, 2018, Garça. Anais do 3ª Jornada Científica e Tecnológica da FATEC, 2018. v. 3.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. *Atmospheric science: An introductory survey*. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 2006.