

***TÚNEL DE VENTO VISANDO OPORTUNIDADES DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇO
DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA***

***WIND TUNNEL AIMING PROVISION OF NUMERICAL SIMULATION SERVICES
AND OTHER OPPORTUNITIES***

***Recebido: 12/03/2017 – Aprovado: 14/04/2017 – Publicado: 27/06/2017
Processo de Avaliação: Double Blind Review***

Jefferson Pedro de Oliveira¹

Graduação em Tecnologia em Manutenção Industrial
FATEC-Osasco
jeffersonpedroli@hotmail.com

Nadilson Caetano de Lira¹

Graduação em Tecnologia em Manutenção Industrial
FATEC Osasco
nclira@globomail.com

Sidnei Ramos de Toledo¹

Graduação em Tecnologia em Manutenção Industrial
FATEC – Osasco
sidgra@hotmail.com

Antonio Carlos Santos de Arruda

Mestre em Engenharia Elétrica pela USP
Professor da FATEC – Osasco
antonio.arruda@fatec.sp.gov.br

Carlos Alberto de Freitas

Especialista em Administração Industrial
Engenheiro de Produção
Professor da Fatec-Osasco
carlos.afreitas@fatec.sp.gov.br

Fábio Yoshiaru Noguti

Graduação Tecnólogo em Mecânica - Modalidade Projetos Mecânicos
Professor da FATEC – Osasco
fabio.noguti@fatec.sp.gov.br

¹ Autor para correspondência: Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Rua Pedro Rissato, 30, Vila dos Remédios, Osasco - SP, Brasil – CEP 06296-220.

Moacyr da Silva Caminada

Mestrado em Administração, Comunicação e Educação
Especialização Em Análise De Sistemas Com Ênfase Em Administração
Graduação Em Letras, Licenciatura Plena Em Inglês e Português.

Professor da Fatec-Osasco
carlos.afreitas@fatec.sp.gov.br

Raphael Garcia Moreira

Mestre em Engenharia Elétrica pela USP
Engenheiro elétrico com ênfase em computação

Professor da FATEC-Osasco
raphaelgarciamoreira@gmail.com

RESUMO: O emprego de túneis de vento tem recebido cada vez mais atenção para aplicações que divergem dos estudos de asa, estudos aerodinâmicos de veículos e demais pesquisas, que são mais facilmente concebidas pelo senso comum. A literatura tem reportado o emprego de túneis de vento para compreensão da dinâmica do espalhamento de pragas agrícolas que ocorrem via aérea. Aplicações aéreas eficientes de defensivos agrícolas, como o estudo da dispersão de inseticidas a partir do vento incidente nos bicos de aplicação são algumas aplicações notáveis e que fogem do senso comum. Há aplicações que envolvem as análises estruturais de torres de antenas de comunicação que são altamente susceptíveis ao vento, aplicações no estudo de condensadores de usinas de energia, aplicação didática no ensino da engenharia e outras. Neste trabalho foi desenvolvido um túnel de vento com dimensões de 700 x 700 x 3.500 mm (Altura x Largura x Comprimento) e proposta uma aplicação em geradores eólicos helicoidais.

Palavras-chave: Túnel de vento; didática; geração de energia; gerador eólico.

ABSTRACT: *The use of wind tunnels have been received increasing attention to applications that differ from wing studies, aerodynamic studies of vehicles and other surveys, which are more easily conceived by common sense. The literature has reported the use of wind tunnels in order to understand the dynamics of the spread of agricultural pragues that happens to occur in the air. Efficient aerial applications of pesticides, study of dispersion of insecticides from the wind incident in application nozzles are some notorious applications and running of common sense. Other applications involve*

structural analyses of communication antennas that are highly susceptible to wind, applications in the study of condensers of power plants, didactic application in teaching of engineering and others. In this work, we developed a wind tunnel with dimensions of 700 x 700 x 3,500 mm (height x width x length) and proposed an application to helical wind generators.

Keywords: *Water: Wind tunnel, didactics, power generation, wind generator.*

INTRODUÇÃO

A modelagem numérica de sistemas aerodinâmicos tem sido motivada por diferentes fatores, tais como, redução de custos com protótipos, menor tempo entre concepção e testes de campo, menor incidência de falhas nos testes reais e por promover maior probabilidade de sucesso de um conceito proposto (BAZILEVS, Y. et al., 2011).

Especificamente no caso de sistemas e geometrias aerodinâmicas, o teste em túneis de vento é uma etapa intermediária bastante empregada e necessária, visando validar o sistema antes de testes reais em escala, onde riscos e custos são mais elevados (BAZILEVS, Y. et al., 2011).

A literatura tem reportado inúmeros trabalhos visando simulações e validações em túneis de vento, bem como, a investigação de falhas de estruturas aerodinâmicas e outros fenômenos. Interessantes estudos foram conduzidos no sentido de se verificar os fatores que promovem a quebra e falhas em antenas de comunicação, tanto no Brasil como nos Estados Unidos (CARRIL, C. F., Isyumov, N. and Brasil, R. M., 2003).

Também foi analisado o impacto do vento na recirculação de ar quente nos condensadores de usinas de energia a carvão na China, segundo GU, Zhifu et al (2007). Outros estudos já conduzem experimentos com geradores eólicos verticais (TJIU, Willy et al., 2015). O emprego de túneis de vento auxilia fortemente no estudo de novas geometrias para inúmeras aplicações, seja aeroespacial, automobilística, estruturas de construções entre outras.

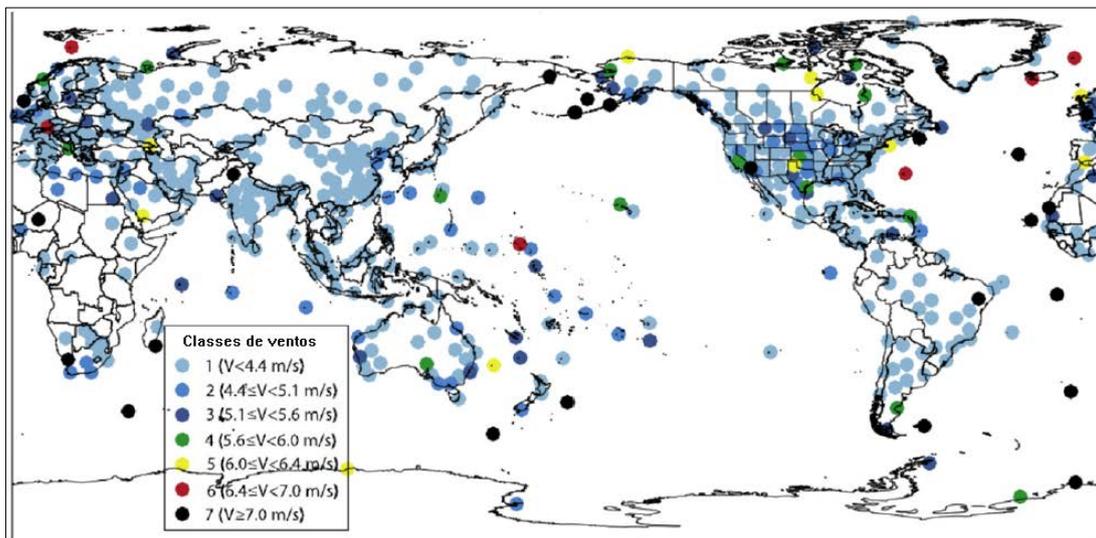
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Entre as inúmeras possibilidades de aplicação para um túnel de vento, neste trabalho foi desenvolvido um gerador helicoidal tipo H para baixas velocidades de vento

compatíveis com o município de Osasco, visando apenas demonstrar uma entre inúmeras viabilidades empreendedoras. Essa estrutura foi selecionada após serem consideradas diversas opções reportadas na literatura (BHUTTA et al., 2012).

Por meio da Figura 1 podem ser avaliadas as diferentes classes de vento encontradas pelo mundo, essa perspectiva demonstra a disponibilidade da energia eólica pelo mundo:

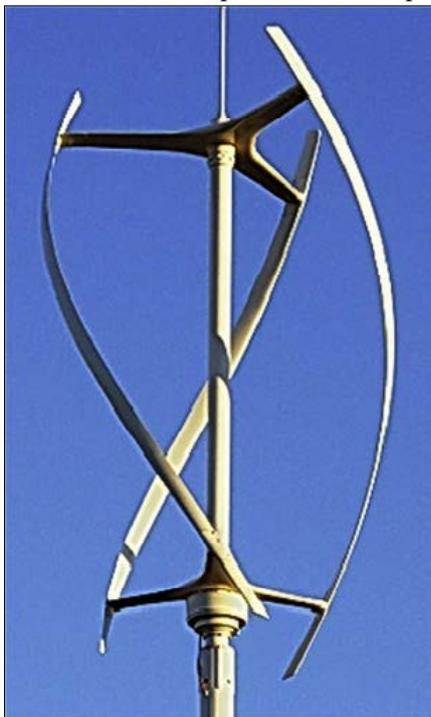
Figura 1 – Classes de vento até 10 m/s pelo mundo.



Fonte: BHUTTA et al., 2012.

É digno de nota que velocidades de vento inferiores a 4,4 m/s são as mais disponíveis em todo o mundo. Outro estudo que complementa as informações acima é o de TJIU, Willy et al., 2015, onde são avaliadas inúmeras estruturas de geradores eólicos por diferentes classes de ventos, TJIU demonstra que a estrutura de gerador eólico helicoidal tipo “H” é uma das mais vantajosas em termos de custo, simplicidade de construção, facilidade de transporte, baixa manutenção, baixo ruído entre outras, conforme a Figura 2:

Figura 2 – Gerador eólico tipo helicoidal em perfil “H”.



Fonte: TJIU, Willy et al., 2015.

2. JUSTIFICATIVA

Os registros históricos meteorológicos do município de Osasco do estado de São Paulo indicam uma velocidade de vento típica de 6 m/s em condições médias a uma altura de até 50 metros, segundo Freitas, Edmilson D. et al., 2007. Sendo que existe um pico no período noturno chegando até 6 m/s na média histórica (OLIVEIRA; BORNSTEIN; SOARES, 2003).

A estrutura de gerador helicoidal tipo H, de acordo com TJIU, et al., (2015) apresenta a vantagem de ser de simples construção, uma vez que parte de chapas metálicas são levemente torcidas e soldadas em duas estruturas tipo Y nas extremidades. Esta configuração apresenta ainda a vantagem de ser de baixo custo o que é compatível com a capacidade de investimentos para residências e pequenos empreendimentos.

Recentemente o Estado de São Paulo foi extremamente prejudicado pela crise energética causada principalmente pela falta de chuvas entre os anos de 2014 e 2015, como ressaltam Martiran; Peres, Kojin, (2016). Houve forte procura por fontes alternativas, tais como energia solar, energia eólica e geradores baseados em motores de combustão interna (OCHOA et al., 2015).

O domínio da tecnologia da construção de túneis de ventos pode propiciar o empreendedorismo em diversas áreas, por permitir a simulação e otimização de processos, geometrias e aplicações, por exemplo, apesar de Osasco não ser um município conhecido pela agricultura, contudo pode vender serviços de simulação na área de estudos de aplicação de defensivos agrícolas simulados em túneis de ventos para produtores em regiões distantes. Dominar a técnica de túneis de vento significa dominar a inteligência de diversos segmentos de negócios que favorecem o empreendedorismo local.

Visando atender as futuras pesquisas relacionadas a estruturas de antenas de comunicação, trocadores de calor e, especificamente de acordo com o presente propósito deste trabalho, o estudo de geometrias de baixo custo para geradores eólicos é que este trabalho é justificado.

3. OBJETIVOS DO PROJETO

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar a construção de um túnel de vento e, validar seu funcionamento com a aplicação de um gerador eólico tipo helicoidal de baixo custo apropriado para as condições de vento do município de Osasco do Estado de São Paulo.

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver e construir um túnel de vento com dimensões de 700 x 700 x 3.500 mm (Altura x Largura x Comprimento);
- Dimensionamento de um moto-ventilador para geração regulada da velocidade do vento;
- Instalação e adaptação de um gerador de fumaça visando permitir a análise dos vórtices e contornos dos fluxos de ar;
- Desenvolvimento experimental de uma geometria aerodinâmica helicoidal tipo H em dimensões reduzidas;
- Teste da geometria helicoidal tipo H em faixas de velocidade do vento de 1 a 6 m/s (compatíveis com dados meteorológicos do município de Osasco).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DE PROJETO DE UM TÚNEL DE VENTO

A literatura reporta os principais parâmetros a serem observados na concepção e construção de um túnel de vento, estes são: seção transversal (m^2), velocidade do vento (m/s), densidade de partículas visíveis com objetivo de permitir visualização do regime de fluxo (g/m^3), comprimento do túnel de vento (m) e posicionamento de estruturas tipo colmeia que visam atenuar os turbilhões gerados pela turbina (MOREIRA JÚNIOR, Orlando, 2009).

A determinação de cada um destes parâmetros relaciona-se às equações de **Erro! Fonte de referência não encontrada.** a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, bem como, às necessidades dimensionais dos modelos a serem simulados no interior do túnel de vento.

Tabela 1 – Parâmetros de túneis de vento construídos em centros de pesquisas pelo mundo entre 1998 até 2010. “A” é a Área, “L” é o Comprimento e “V” é a Velocidade.

A (m^2)	Perfil	L (m)	V (m/s)	Circuito	Ano	Referência
0,09	retângular	0,72	10	Fechado	1998	LEON, J. C.; BABIN, B.; CHOI, C. Y., 1998.
0,56	retangular	3,7	5	Aberto	1999	DERKSEN, R. C. et al., 1999.
0,25	retângular	5,9	9	Aberto	2003	CARRIL, C. F., Isyumov, N. and Brasil, R. M., 2003.
3,40	retangular	15	0,3 a 15	Aberto	2003	LEE, In-Bok et al., 2003.
0,36	retângular	0,6	28	Aberto	2004	LIMA, P.H.; et al., 2004
1,44	retângular	4,9	4,5	Aberto	2004	FIETSAM, J. F. W.; YOUNG, B. G.; STEFFEN, R. W., 2004.
4,00	retângular	7	2	Fechado	2006	COSTA, A. G. F., 2006a.
3,98	circular	3,65	0,3 a 10	Aberto	2007	GU, Zhifu et al., 2007.
1,44	retângular	3	3,5	Fechado	2010	HOWELL, Robert et al., 2010.

De acordo com a Tabela 1, Leon, Babin e Chol, 1998 fizeram estudos e experimentos do comportamento de dispersão de agentes agrícolas dentro de um túnel de vento para diversos produtos. Derksen et al., 1999 fez um estudo de orifícios de equipamentos de aplicação de inseticidas agrícolas, ou seja, o bico dos equipamentos de aplicação de agentes defensivos devem ser desenvolvidos de acordo com as condições de

ventos típicas da região, assim otimizando a área coberta pelo inseticida com menor consumo.

Carril, Isyumov e Brasil, (2003) trabalharam em um túnel de vento visando aplicações na simulação de falhas em torres de comunicação de celulares, sinal de televisão, rádio etc.

Lee, (2003), também descreveu diversas técnicas visando aplicação de agentes agrícolas em agricultura de precisão onde demonstra como usar o próprio vento para depositar inseticidas com eficiência.

LIMA et al., 2004, desenvolveram um túnel de vento visando atender as necessidades do ensino de engenharia.

FIETSAM, YOUNG e STEFFEN, 2004, estudaram a aplicação específica de glifosato, um agente agrícola desenvolvido com “ervas daninha”, sua deposição deve ser extremamente precisa uma vez que pode destruir a cultura orgânica desejada, simulações em túneis de vento contribuíram para compreensão do comportamento de sua aplicação aérea. Costa, (2006), realizou em estudo semelhante para aplicações considerando o clima brasileiro, incluindo taxas de evaporação das gotículas até atingir o solo.

Gu, (2007), conforme acima mencionado, estudou estruturas de uma casa de caldeiras e turbina a vapor no norte da China com potência de 600 MW.

Finalmente, Howell et al., 2010, desenvolveu um estudo sistemático visando detectar quais tipos de torres de comunicação foram mais susceptíveis a quebras pela atuação do vento, usou para tanto túneis de vento para validar os dados de registros de inúmeras empresas que reportaram os problemas.

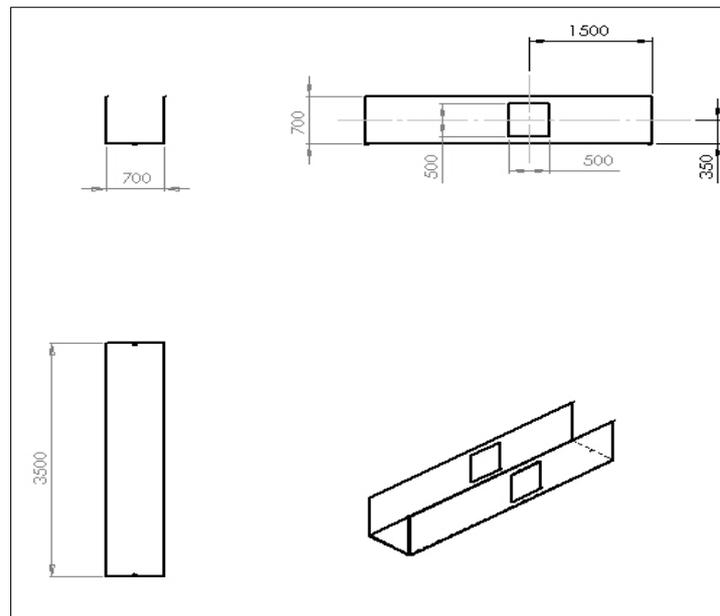
Conforme pode ser observado, existe uma ampla importância e gama de aplicações para a construção de túneis de vento, ressalta-se uma extensa e notável aplicação em ambientes agrícolas, algo bastante aderente com o mercado nacional, cujo mercado agrícola é extremamente importante para o PIB. Também devem ser observadas as várias outras aplicações, tais como: ensino, estruturas de grandes dimensões para geração de energia, torres de comunicação, aplicações didáticas e outras.

4.2. PROJETO GERAL

Conforme

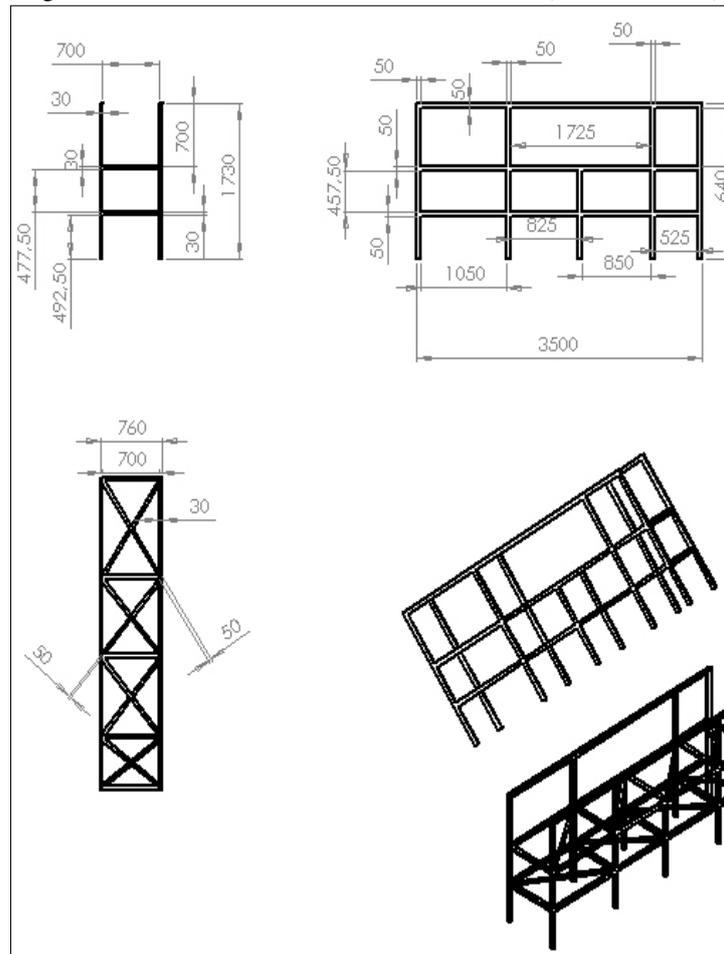
Figura 3 e Figura 4, foram escolhidas dimensões possíveis de serem construídas com os recursos disponíveis, além disso, as dimensões selecionadas são compatíveis com aquelas observadas na Tabela 1.

Figura 3 – Desenho das chapas do túnel. (Em milímetros)



Fonte: acervo pessoal.

Figura 4 – Desenho estrutural do túnel de vento. (Em milímetros).



Fonte: Acervo pessoal.

Após o projeto e definições das dimensões, a fabricação do túnel foi iniciada, conforme Figura 5,

Figura 6 e Figura 7:

Figura 5 – Estrutura soldada.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 6 – Vista lateral do túnel de vento em final de construção.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 7 – Vista interna do túnel de vento com a instalação do ventilador.



Fonte: Acervo pessoal.

A potência do ventilador é de 1/6 CV, com capacidade de vazão volumétrica de 4300 m³/h e 1700 RPM de rotação. O gerador de fumaça selecionado foi um equipamento utilizado para eventos com potência de 1000 W para aquecer e evaporar uma resina apropriada para locais fechados.

4.3. CUSTOS

Na Tabela 2 segue a descrição de custos estruturais do projeto:

Tabela 2 – Planilha de custos de projeto.

ÍTEM	ESTRUTURA	EXAUSTOR	TAMPA	TUBO DE VENTO
SOLDAGEM	R\$ 500,00	R\$ 200,00	R\$ 300,00	-
TUBOS	R\$ 360,00	-	R\$ 134,50	-
PARAFUSOS	R\$ 35,00	R\$ 24,00	-	-
CHAPA TUBO DE VENTO	-	-	-	R\$ 334,98
CHAPA DO EXAUSTOR	-	R\$ 87,00	-	-
CHAPA DA TAMPA	-	-	R\$ 150,00	-
RODINHAS COM FREIO	R\$ 48,00	-	-	-
RODINHAS FREIO	R\$ 56,00	-	-	-
TUBO QUE FOI SOLDADO NA FATEC	R\$ 22,95	-	-	-
TRAVAS DA TAMPA	-	-	R\$ 127,50	-
PARAFUSOS	R\$ 42,00	R\$ 17,00	-	-
SILICONE	-	-	-	R\$ 24,00
BORRACHA	-	-	-	R\$ 54,00
CONE 500X100mm	R\$ 70,00	-	-	-
TUBO ACRILICO 4 POL	-	-	-	R\$ 119,80
ABRAÇADEIRA/LONA/PARAFUSO	R\$ 50,00	-	-	-
TUBO 4 POL X 250mm	R\$ 22,50	-	-	-
COLMEIA	-	-	-	R\$ 237,00
TOTAIS GERAIS	R\$ 1.206,45	R\$ 328,00	R\$ 712,00	R\$ 769,78
TOTAL GASTO NO PROJETO			R\$ 3.016,23	

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

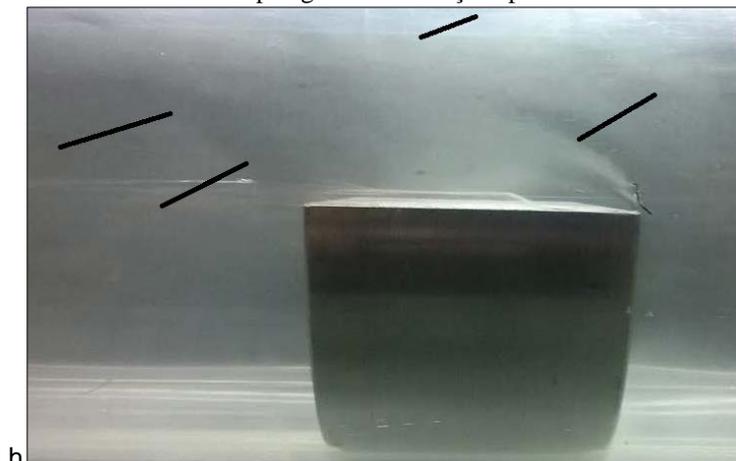
Primeiro, avaliou-se o aumento da velocidade causado pelo afinamento da área da vazão no interior do túnel, conforme Equação 1. E neste processo foram registrados pontos de singularidades que permitem estudos de parâmetros de camada limite para ensaios termodinâmicos e de mecânica dos fluídos, conforme indicadores da Figura 8:

$$A_1V_1 = A_2V_2$$

Equação 1

Onde “A” é a área para entrada e saída, 1 e 2 respectivamente e “V” é a velocidade (HUGHES, W. F.; BRIGHTON, J. A, 1979).

Figura 8 – Vórtices observados sobre uma peça ortogonalmente posicionada em relação à direção do vento dentro do tubo de acrílico de 4 polegadas e indicações para estudos de camada limite.



Fonte: Acervo pessoal.

Os vórtices puderam ser evidenciados por meio do acionamento momentâneo do gerador de fumaça conforme Figura 8. A velocidade do vento neste ponto foi de aproximadamente 13 m/s. Este valor foi encontrado considerando a restrição de áreas de 0,49 m² (do túnel de vento) para 0,008 m² (interior do tubo), conforme Equação 1. O motor empregado (modelo E50AV da VENT NEW) é especificado para produzir uma vazão de 6.200 m³/h sem obstáculos, em consulta ao fabricante, informou que a vazão em aplicações onde existe a restrição do fluxo, como no caso do presente trabalho, a vazão real é aproximadamente 6,0 % da especificada, ou seja, a mínima possível, conforme projeto. Não havia um anemômetro disponível durante os testes.

Na Figura 9 é apresentado o gerador eólico tipo helicoidal no interior do túnel de vento. No interior do túnel de vento observa-se uma velocidade de vento baixa, da ordem de 3 m/s (considerando a área de 0,49 m² pela vazão do ventilador), a primeira versão de gerador eólico girou, porém, ainda, com pouca eficiência. Desse modo, os estudos e ensaios no interior do túnel de vento irão permitir fazer aprimoramentos no projeto do gerador eólico helicoidal e outras geometrias.

Figura 9 – Gerador eólico helicoidal no interior do túnel de vento durante testes.



Fonte: Rodrigo Marques dos Santos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo proposto para este trabalho foi atendido. Um túnel de vento com condições básicas para estudos de diversas áreas foi desenvolvido com dimensões bastante aderentes ao ambiente de pesquisa e desenvolvimento.

O motor utilizado para acionamento do ventilador ainda é de baixa potência, bem como as hélices do ventilador não são de alta eficiência, o que resulta em velocidades máximas de 7 m/s no interior do túnel de vento. O gerador de fumaça empregado deve passar por adaptações visando produzir fumaça densa de maneira contínua.

Foi possível observar o gerador eólico girando, o que evidencia a possibilidade de simulação de geradores eólicos de novas geometrias.

Como perspectivas futuras, é sugerido para o presente trabalho que sejam instalados sensores de velocidade do vento e pressão em diversos pontos no interior do túnel de vento.

É necessário instalar um motor para acionamento do ventilador com potência maior. É importante ressaltar que, medidas já foram tomadas pelo orientador visando instalar em uma próxima fase do projeto um motor de 6,5 CV, contudo, devem ser instaladas hélices de alta *performance*.

É de extrema necessidade o desenvolvimento de um gerador de fumaça densa, contínua e que possa ser usada em ambientes fechados sem causar perigos respiratórios. **Esse** é um detalhe crucial para aplicações didáticas.

Deve ser observado que este projeto não se limita a aplicações que o senso comum considera, deve ser visto muito além disso, em aplicações envolvendo estudos agrícolas, tais como, simulações para o campo da agricultura de precisão, disseminação de enfermidades, pragas, aplicação de inseticidas, estabilidade estrutural de torres para antenas de comunicação, aplicação em caldeiras de usinas de energia, geradores eólicos e outros.

Essencialmente, o projeto e domínio da tecnologia de túneis de vento oferecem grandes oportunidades ao microempreendedor que busca nichos de alto nível tecnológico, com possibilidades de agregar valores substanciais na prestação de serviços de simulações numéricas avaliadas por modelos de pequena escala.

REFERÊNCIAS

BAZILEVS, Y. et al. 3D simulation of wind turbine rotors at full scale. Part I: Geometry modeling and aerodynamics. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, v. 65, n. 1-3, p. 207-235, 2011.

BHUTTA, Muhammad Mahmood Aslam et al. Vertical axis wind turbine—A review of various configurations and design techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 4, p. 1926-1939, 2012.

CARRIL, C. F., Isyumov, N. and Brasil, R. M., 2003. “Experimental study of the wind forces on rectangular latticed communication towers with antennas.” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 91, no. 8 (2003): 1007-1022.

COSTA, A. G. F.; MILLER, P. C. H.; TUCK, C. R. The development of wind tunnel protocols for spray drift risk assessment. *Aspects of Applied Biology*, v. 77, n. 2, p. 289, 2006.

DERKSEN, R. C. et al. Droplet spectra and wind tunnel evaluation of venturi and pre-orifice nozzles. *Transactions of the ASAE*, v. 42, n. 6, p. 1573, 1999.

FREITAS, Edmilson D. et al. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 122, n. 1, p. 43-65, 2007.

FIETSAM, J. F. W.; YOUNG, B. G.; STEFFEN, R. W. Differential response of herbicide drift reduction nozzles to drift control agents with glyphosate. *Transactions of the ASAE*, v. 47, n. 5, p. 1405, 2004.

GU, Zhifu et al. Wind tunnel simulation of exhaust recirculation in an air-cooling system at a large power plant. *International Journal of Thermal Sciences*, v. 46, n. 3, p. 308-317, 2007.

HOWELL, Robert et al. Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine. *Renewable energy*, v. 35, n. 2, p. 412-422, 2010.

HUGHES, W. F.; BRIGHTON, J. A. *Dinâmica dos fluidos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1979.

LEE, In-Bok et al. Study of Aerodynamics in Agriculture–Modern Technologies. In: 2003 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2003. p. 1.

LEON, J. C.; BABIN, B.; CHOI, C. Y. DESIGN, CONSTRUCTION, AND EVALUATION OF A COMPACT RECIRCULATING WIND TUNNEL FOR AGRICULTURAL EXPERIMENTS. *Transactions of the ASAE*, v. 41, n. 1, p. 193, 1998.

LIMA, P.H., et al. Planejamento e desenvolvimento de um túnel aerodinâmico do tipo soprador visando o ensino e a pesquisa em engenharia. In: *Anais do XI CREEM*, Nova Friburgo, RJ, 2004.

MARTIRANI, Laura Alves; PERES, Isabela Kojin. Water crisis in São Paulo: news coverage, public perception and the right to information. *Ambiente & Sociedade*, v. 19, n. 1, p. 1-20, 2016.

MOREIRA JÚNIOR, Orlando. *Construção e validação de um túnel de vento para ensaios de estimativa da deriva em pulverizações agrícolas*. 2009.

OCHOA, Alvaro Antonio et al. Aplicação de uma fonte alternativa de energia termelétrica a gás natural visando reduzir o custo com energia elétrica em um edifício comercial/Application of an alternative source of natural gas power plants aiming to reduce the cost of electricity in a commercial building. *HOLOS*, v. 31, n. 1, p. 72, 2015.

OLIVEIRA, Amauri P.; BORNSTEIN, Robert D.; SOARES, Jacyra. Annual and diurnal wind patterns in the city of São Paulo. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, v. 3, n. 5-6, p. 3-15, 2003.

SNYDER, William H. *Guideline for fluid modeling of atmospheric diffusion*. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (USA), 1979.

TJIU, Willy et al. Darrieus vertical axis wind turbine for power generation II: Challenges in HAWT and the opportunity of multi-megawatt Darrieus VAWT development. *Renewable Energy*, v. 75, p. 560-571, 2015.