

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DE UM FLUÍDO SOBRE UM AEROGERADOR EM TÚNEL DE VENTO

Luis Fernando Camponogara ¹

Giuliano Demarco ²

Luis Gustavo Nogueira Martins ³

Gervásio Annes Degrazia ⁴

Bardo Joseff Bodmann ⁵

Acir Mércio Loredo Souza ⁶

Felipe Denardin Costa ⁷

Resumo:

Devido a alta demanda por energia elétrica, nos últimos anos, tem-se tentado encontrar cada vez mais novas maneiras de gerar energia através de fontes renováveis e de torná-las mais eficientes. Aumentar a demanda energética implica em ter atenção especial em aspectos como a questão ambiental. O escoamento na Camada Limite Atmosférica pode ser classificado de acordo com a influência térmica em três distintos regimes de escoamento: Instável, neutro e estável. Tendo em vista, o crescimento em estudos envolvendo aerogeradores, o presente trabalho traz como objetivo realizar um experimento em um túnel de vento, com um modelo de aerogerador e verificar as influências da presença do mesmo sobre a camada limite em dois tipos de escoamentos distintos, o caso neutro e instável, e sobre diferentes velocidades. O túnel de vento utilizado para o experimento foi o "Túnel Prof. Joaquim Blessmann" que está no LAC (Laboratório de Aerodinâmica das Construções), UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Foram avaliadas dois casos no experimento, um com uma camada neutra (fluxo isotérmico) e outro com uma camada convectiva (onde foi realizado o aquecimento da mesa II). Os dados foram coletados através de um anemômetro de fio quente, em 23 níveis diferentes para cada velocidade (2 e 4 Hz). Essas frequências são estabelecidas pelo inversor de frequência que controla o motor do túnel. O modelo do aerogerador utilizado no experimento possui uma altura até o centro do rotor de 0,2 m, enquanto o diâmetro das pás é de 0,14 m. Analisando o perfil de velocidade pode-se constatar que na extremidade da pá, até o centro do rotor ocorreu um decaimento da velocidade do escoamento, tendo o seu ponto mais baixo exatamente na altura do rotor. Assim que o escoamento passa por ele, o mesmo tende a voltar a sua velocidade livre. Já no perfil do desvio padrão das flutuações, nota-se que para o caso instável o seu valor é maior que para o neutro, isso se deve ao coeficiente de convecção. Outro ponto interessante é que, assim como na velocidade, no centro do rotor há um decaimento da sua intensidade, e que no ponto mais alto da pá o valor tanto para o caso neutro como para o instável é igual. Cabe-se ressaltar que o projeto encontra-se em fase de desenvolvimento e que outros gradientes de temperatura, assim como outras velocidades serão ensaiadas no túnel.

Palavras-chave: Aerogerador, Escoamento Instável, Escoamento Neutro, Turbulência, Túnel de Vento.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DE UM FLUÍDO SOBRE UM AEROGERADOR EM TÚNEL DE VENTO

¹ Aluno de graduação. lfcamponogara@gmail.com. Autor principal

² DEM (departamento de engenharia mecânica), UFSM - Santa Maria. giulianofisico@gmail.com. Co-autor

³ Pós - Doutorado em Meteorologia, UFSM - Santa Maria. lgnm.sm@gmail.com. Co-autor

⁴ Professor Departamento de Física, UFSM - Santa Maria. gervasio.degrazia@pq.cnpq.br. Co-autor

⁵ Professor de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - UFRGS. bardo.bodmann@ufrgs.br. Co-autor

⁶ Coordenador do Laboratório de Aerodinâmica das Construções e Professor de Engenharia Civil - UFRGS. acir@ufrgs.br. Co-autor

⁷ Docente. felipecosta@unipampa.edu.br. Orientador

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DE UM FLUÍDO SOBRE UM AEROGERADOR EM TÚNEL DE VENTO

1 INTRODUÇÃO

Devido a alta demanda energética apresentada pela sociedade nos últimos anos, tem-se buscado cada vez mais encontrar novas maneiras, através de fontes renováveis para a produção de energia, como por exemplo por meio da energia solar e da energia eólica (GELLER; BARBOSA; SCHULER, 2003; LUDWIG, 2011; VASCONCELOS, 2011). Devido aos altos custos para a implementação dos parques eólicos, tem-se realizado cada vez mais estudos para uma melhor otimização dos parques, tornando-os compactos e altamente eficientes. Esses estudos podem ser observados em CRESPO, HERNANDEZ e FRANDSEN, (1999); CHAMORRO; PORTÉ-AGEL, (2009); CHAMORRO; PORTE-AGEL, (2011); CORTEN, SCHAAK e HEGBERG, (2013). Aumentar a demanda energética implica em ter atenção especial em certos aspectos. Dentre esses, é necessário ter uma atenção especial em aspectos como a questão ambiental.

Compreender o processo cíclico de aquecimento e resfriamento da superfície terrestre é importante pois, gradientes de temperatura verticais geram modificações sobre quantidades turbulentas relacionadas ao forçante mecânico. O escoamento na Camada Limite Atmosférica pode ser classificado de acordo com a influência térmica em três distintos regimes de escoamento: Instável, neutro e estável. Estes regimes de escoamento são definidos de acordo com o sinal do gradiente vertical de temperatura.

Durante o dia, na camada limite convectiva (CLC), a superfície é aquecida pela radiação proveniente do sol. Neste contexto, as camadas de ar logo acima do solo possuem temperatura inferior a temperatura superficial dando origem a um fluxo de energia na forma de calor positivo, resultante do gradiente vertical de temperatura ser negativo na porção de ar mais próxima da superfície.

Quando há ausência de convecção, como por exemplo durante a transição entre a camada limite convectiva e a Camada Limite Estável (CLE), pode haver a formação de uma camada limite neutra (CLN), onde a turbulência é gerada somente por forçantes mecânicos.

No período noturno, a superfície do solo se resfria através da emissão de radiação de onda longa, resfriando consecutivamente a camada de ar adjacente a ela e assim dando início a um processo de estratificação térmica responsável pela redução das escalas temporais e espaciais intensidade turbulenta em várias ordens de grandeza.

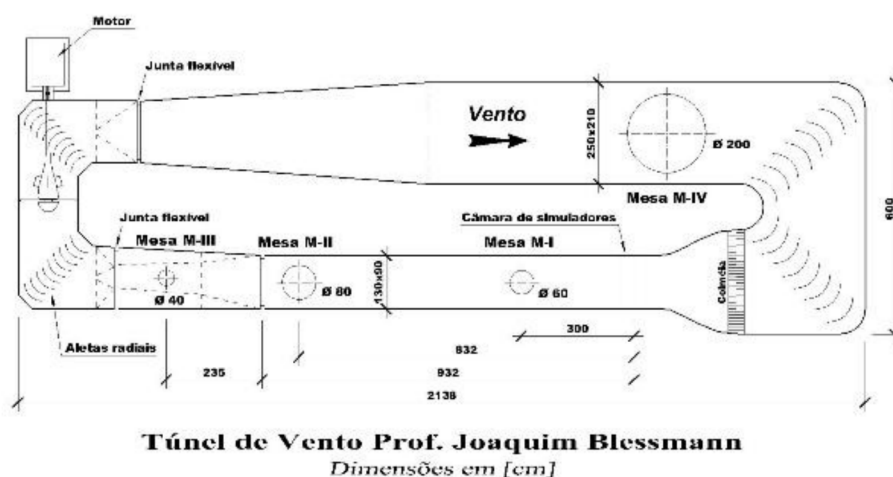
Assim, tendo em vista o crescimento nos estudos envolvendo aerogeradores, o presente trabalho traz como objetivo realizar um experimento em túnel de vento, com um modelo de aerogerador e verificar as influências da presença do mesmo sobre a camada limite em dois tipos de escoamentos distintos, o caso neutro e instável, e sobre diferentes velocidades. (STULL, 1988; SORBJAN, 1989)

2 METODOLOGIA

O túnel de vento utilizado para a realização do experimento foi o “Túnel Prof. Joaquim Blessmann” (Fig. 1), que se encontra no Laboratório de Aerodinâmico das Construções (LAC), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O túnel em questão é um túnel de recirculação e apresenta 9,32 m de comprimento, 0,9 m de altura e 1,3 m de profundidade. A hélice do túnel é acionada por um motor elétrico de 100 hp e a velocidade do vento é controlada através de um inversor de frequência. A velocidade máxima atingida pelo túnel é de 42 ms^{-1} (150 kmh^{-1}).

O experimento foi realizado na mesa II do túnel de vento. Foram avaliadas dois casos no experimento, um com uma camada neutra (fluxo isotérmico) e outro com uma camada convectiva (onde foi realizado o aquecimento da mesa II). Esse aquecimento foi realizado através da utilização de elementos de Peltier entre duas folhas de alumínio, onde o espaço vazio existente entre as placas, foi preenchido com um material de isolamento. Os dados foram coletados através de um anemômetro de fio quente, com uma taxa de amostragem de 2048 Hz em 23 níveis diferentes, sendo eles: 0,005, 0,010, 0,015, 0,020, 0,025, 0,030, 0,040, 0,050, 0,060, 0,070, 0,080, 0,090, 0,100, 0,125, 0,150, 0,175, 0,200, 0,225, 0,250, 0,275, 0,300, 0,325, 0,350 m. Em cada ponto de coleta foram adquiridos 368640 pontos, o que representa um total de 180 s. O ensaio foi realizado com duas frequências diferentes 2 Hz e 4 Hz. Essas frequências são estabelecidas pelo inversor de frequência que controla o motor do túnel. O modelo do aerogerador utilizado no experimento possui uma altura até o centro do rotor de 0,2 m, enquanto o diâmetro das pás é de 0,14 m.

Figura 1 - Representação esquemática do túnel de vento que se encontra no LAC - UFRGS. O qual foi utilizado no experimento.



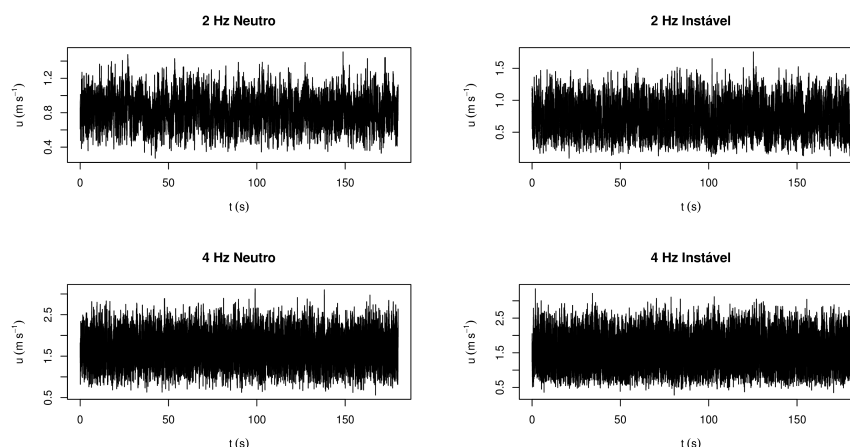
Fonte: LAC – UFRGS.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

A primeira análise a ser realizada, é a observação da série temporal (Fig. 2), através dela podemos ter uma ideia do comportamento do escoamento seja ele laminar ou turbulento, além disso é possível detectar se não houve algum problema durante a aquisição dos dados. A série apresentada a seguir se refere ao nível mais próximo a superfície, para as duas frequências e os dois casos analisados, já descritos anteriormente.

Observando a série temporal, podemos verificar que o escoamento encontra-se plenamente turbulento. Além disso é possível notar que no caso com 2 Hz, assim como no de 4 Hz instáveis, apresentam maiores flutuações que nos casos neutros, isso se deve a presença de uma turbulência mais desenvolvida. Essa afirmação é confirmada pelo perfil do desvio padrão das flutuações (Fig. 5).

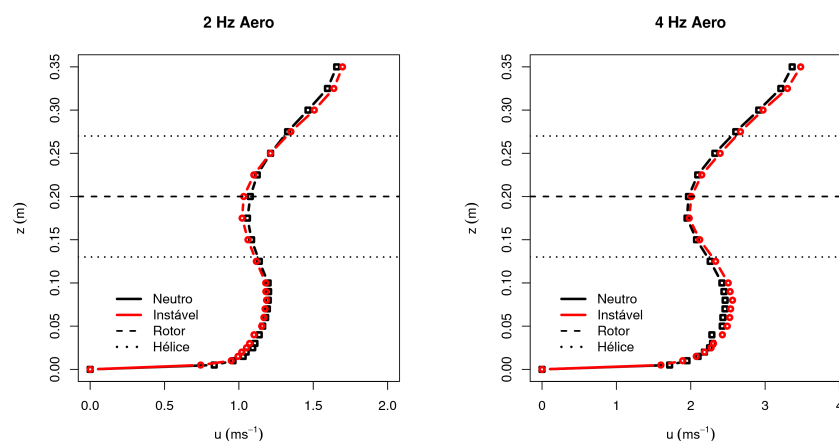
Figura 2 - Série temporal da velocidade para o caso neutro e instável e para as duas velocidade (2 e 4 Hz).



Fonte: O autor.

Quando analisamos o perfil vertical da componente longitudinal da velocidade (Fig. 3), para o caso de 2 Hz assim como para o de 4 Hz é possível perceber com clareza que logo após o rotor do aerogerador há um decaimento acentuado da velocidade, enquanto que nas extremidades das pás há um acréscimo da velocidade. Na parte superior o acréscimo da velocidade se dá também em função também do fluido estar se aproximando do fim da camada limite, e com isso atingindo a velocidade de escoamento livre.

Figura 3 - Perfil vertical da componente longitudinal da velocidade.

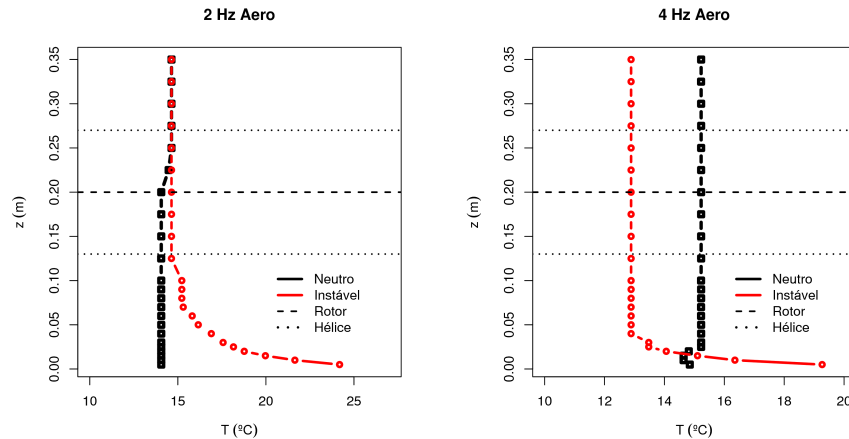


Fonte: O autor.

Analisando o perfil vertical de temperatura (Fig.4), é possível notar que houve a reprodução de um escoamento convectivo, assim como podemos notar também que a altura da camada limite térmica, para o caso onde a velocidade é de 2 Hz é maior (em torno de 0,10 m), enquanto que para a velocidade de 4 Hz é de aproximadamente 0,05 m.

Isso se deve ao fato de que quando existe ventos fracos há uma maior troca de calor entre a superfície e o fluido.

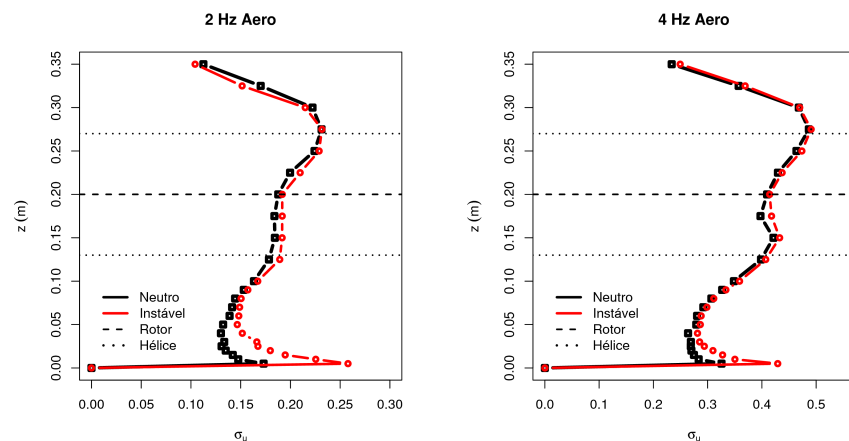
Figura 4 - Perfis de temperatura.



Fonte: O autor.

Observando o perfil vertical do desvio padrão das flutuações (Fig. 5), é possível notar que para a maioria dos casos instáveis a turbulência é mais intensa que nos casos neutros. Isso só não ocorre para a velocidade de 2 Hz acima da pá do aerogerador. Outro ponto que é interessante observar que exatamente no ponto máximo da pá a intensidade turbulenta é igual para o caso neutro e para o caso instável, seja ele para 2 Hz ou 4 Hz .

Figura 5 - Perfil do desvio padrão das flutuações.



Fonte: O autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando o perfil de velocidade pode-se constatar que na extremidade da pá, até o centro do rotor ocorreu um decaimento da velocidade do escoamento, tendo o seu ponto mais baixo exatamente na altura do rotor. Assim que o escoamento passa por ele, o mesmo tende a

voltar a sua velocidade livre. Já no perfil de temperatura observa-se, que quanto menor for o valor da velocidade, maior serão os níveis que sentirão a presença do gradiente de temperatura. Isso se justifica em função do processo de mistura, quanto maior a velocidade mais eficiente ela será e com isso o gradiente se limitará as proximidades da superfície.

Tendo em vista o perfil do desvio padrão das flutuações, nota-se que para o caso instável o seu valor é maior que para o neutro, isso se deve ao coeficiente de convecção. Outro ponto interessante é que, assim como na velocidade, no centro do rotor há um decaimento da sua intensidade, e que no ponto mais alto da pá o valor tanto para o caso neutro como para o instável é igual.

Cabe-se ressaltar que o projeto encontra-se em fase de desenvolvimento e que outros gradientes de temperatura, assim como outras velocidades serão ensaiadas no túnel. Desta forma haverá uma maior abrangência de possíveis situações que ocorrem na natureza.

REFERÊNCIAS

CHAMORRO, L. P.; PORTÉ-AGEL, F. A wind-tunnel investigation of wind-turbine wakes: boundary-layer turbulence effects. *Boundary-layer meteorology*, v. 132, n. 1, p. 129–149, 2009.

CHAMORRO, L. P.; PORTE-AGEL, F. Turbulent flow inside and above a wind farm: a wind-tunnel study. **Energies**, v. 4, n. 11, p. 1916–1936, 2011

CORTEN, G.; SCHAAK, P.; HEGBERG, T. Turbine interaction in large offshore wind farms; wind tunnel measurements. **Wind Energy**, by: Publication date: ECN Wind Energy 1-8-2004, v. 2012, p. 2011, 2013.

CRESPO, A.; HERNANDEZ, J.; FRANDSEN, S. Survey of modelling methods for wind turbine wakes and wind farms. **Wind energy**, Wiley Online Library, v. 2, n. 1, p. 1–24, 1999

GELLER, H. S.; BARBOSA, M. V.; SCHULER, M. E. **Revolução energética: políticos para um futuro sustentável**. [S.l.]: Relume Dumará, 2003.

LUDWIG, D. E. **Análise numérica da influência de fatores atmosféricos na esteira aerodinâmica de turbinas eólicas**. 2011. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SORBJAN, Z. **Structure of the atmospheric boundary layer**. [S.l.: s.n.], 1989.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. [S.l.]: Springer, 1988. v. 13.

UFRGS, LAC. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/lac/TV%20zoom.htm>>. Acessado em: 10 set. 2018.

VASCONCELOS, P. **Energia em Expansão**. [S.l.]: Renergy Brasil, 2011. v. 5. 47–60 p.

WITTEWER, A. R. et al. Flow in the wake of wind turbines: Turbulence spectral analysis by wind tunnel tests. **American Journal of Environmental Engineering**, Scientific & Academic Publishing, v. 6, n. 4A, p. 109–115, 2016.