

## Uso de VANT para prospecção eólica em sistemas aquáticos

Arcilan Trevenzoli Assireu<sup>1</sup>  
José Carlos Mendonça<sup>2</sup>  
Felipe Mendonça Pimenta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI  
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Itajubá - MG, Brasil  
arcilan@unifei.edu.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF  
Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil  
mendonça@uenf.br

<sup>3</sup> Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Campus Trindade – Florianópolis - SC, Brasil  
felipe.pimenta@ufsc.br

**Abstract.** This paper attempts to prove the viability of using an unmanned 6-motors rotorcraft (U6R), commonly known as hexacopter, as a measurement instrument of wind field (wind velocity, rate of change of wind velocity and wind gradient). A 3D-sonic anemometer and a datalogger, were fixed on a vertical cable installed in the U6R for wind collection following specific flight patterns. The primary motivation is the assessment of the wind power potential, particularly on aquatic systems; the secondary goal is development of a low-cost atmospheric measurement and sampling system. Results coming from vertical wind profile are compared to measurement data obtained from 5 anemometers mounted along on a 50-m met mast.

**Palavras-chave:** unmanned aerial vehicles , wind measure, wind energy, veículo aéreo não tripulado, medidas de vento, energia eólica.

### 1. Introdução

O uso de aviões tripulados em experimentos de larga escala como complemento a estudos de meteorologia e sensoriamento remoto são bem documentados na literatura, como nos trabalhos de Bange et al. (2002), Beyrich and Mengelkamp (2006), dentre outros. Durante os últimos anos tem havido um grande interesse pelo uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para estudos em várias áreas do conhecimento. Particularmente para estudos de parâmetros meteorológicos pode-se citar: Dias et al. (2012), Mayer et al. (2010) e Kroonenberg van den et al. (2008). Com a expansão da energia eólica, grande interesse tem surgido por novas técnicas de medidas de vento por instrumentos remotos. Neste trabalho estaremos apresentado um experimento realizado com este objetivo.

Os ventos na camada limite atmosférica (CLA) exercem importante função para atividades humanas, por serem responsáveis pelo transporte de calor, vapor, poluentes e outras partículas suspensas na atmosfera. Particularmente, fenômenos como o espalhamento de incêndios florestais, transporte de gases, dispersão de poluentes e processos de transferência calor/umidade são fortemente influenciados pelo comportamento do vento. Soma-se a isto o fato do vento ser também extensivamente utilizado para geração de energia elétrica (Manwell, 2002). Para o dimensionamento adequado do aproveitamento eólico e a previsão acurada da dinâmica associada a processos de transporte e difusão, é necessário o conhecimento do escoamento do vento em alta resolução espacial e temporal. Tradicionalmente, os perfis de vento são obtidos através de torres meteorológicas e, mais recentemente, através de perfiladores baseados em interferometria (Lidar ou Sonar).

Porém, estes métodos não somente são caros como restritos espacialmente, já que não podem ser mudados de posição facilmente. Isto é ainda mais crucial em terrenos complexos, como ocorre nos reservatórios brasileiros em região de planalto, onde as variações espaciais e temporais requerem medidas em meso ou micro escala (Assireu et al., 2011). Mesoescala na atmosfera refere-se a dimensões horizontais que vão desde dezenas até centenas de quilômetros, enquanto a microescala refere-se a distâncias pequenas, da ordem de 1 km ou menos (Arya, 2001). Devido ao crescente interesse por energias renováveis, a eólica tem se destacado o que vem incentivando a busca por aerogeradores que maximizam o aproveitamento do vento. Isto passa pelo aumento do diâmetro dos rotores e, conseqüentemente, aumento da altura de operação. Isto tem levado a novos desafios relacionados à necessidade de medidas de vento, das quais cita-se:

- O potencial energético é proporcional ao quadrado do diâmetro do rotor enquanto a massa das pás é proporcional ao cubo deste diâmetro. Isto implica em maior fadiga de material o que impõe a necessidade de um maior conhecimento do esforço sobre o conjunto, o que somente é possível se descrições precisas sobre o perfil de vento incidente estiver disponível.

- Grandes parques eólicos são constituídos por arranjos de grandes turbinas e, como resultado, a esteira produzida por cada uma destas irá interferir nas outras, afetando diretamente a produção de energia e os níveis de turbulência o que, por sua vez, determinará a vida útil do aerogerador. Assim, uma compreensão melhor dos processos aerodinâmicos da esteira pode levar a um arranjo mais adequado das turbinas, a previsão mais acurada da produção de energia e a fatores de segurança mais precisos.

- Aerogeradores atuais atingem alturas superiores a 100 m o que coloca em questionamento a validade da consideração de um perfil vertical logarítmico para o vento, que a rigor é válido até 100 m e que foi amplamente testado sobre a terra, e quase nada estudado para sistemas aquáticos. Um melhor conhecimento do cisalhamento do vento para estas alturas e em extensos corpos d'água trariam uma maior segurança para a prospecção eólica nestes ambientes.

Em resposta aos desafios citados acima, um melhor conhecimento do perfil do vento nos sistemas aquáticos é necessário. Isto propiciaria uma prospecção eólica mais acurada nestes ambientes e possibilitaria modelos mais detalhados da fadiga dos aerogeradores, o que contribuiria para o aprimoramento destas máquinas, para o aumento da vida útil e redução de custos. O perfil do vento e a intensidade da turbulência são estimados por modelagem numérica, e medidas são imprescindíveis para a validação já que algumas considerações feitas nestes modelos, não necessariamente, são válidas em sistemas aquáticos (Lange et al., 2004). Também, parques eólicos com grande número de aerogeradores são de difícil descrição via modelagem numérica devido às interações entre as esteiras dos diferentes aerogeradores. Assim, medições são fundamentais para melhorar a compreensão destes efeitos. Estas medições podem ser adquiridas por torres meteorológicas ou anemométricas, raras ou inexistentes em sistemas aquáticos brasileiros. Uma alternativa que vem se apresentando viável é o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) equipados com instrumentação adequada para fazer estas medidas. Este artigo traz os resultados preliminares obtidos a partir de um VANT adaptado para esta finalidade.

## 2. Metodologia de trabalho

O uso de um hexacóptero (Fig. 1) ao invés dos mais comuns quadricópteros, é devido a maior estabilidade do primeiro em relação ao último. Os seis motores trabalham em sincronia de forma a compensar eventuais perturbações causadas por turbulência. O controle de altitude é feito por um barômetro e os motores operam de forma a manter a pressão e

consequentemente a altitude constante. A Tabela 1 traz as especificações do hexacóptero utilizado.

Tabela 1 – Especificações do drone utilizado neste trabalho.

Tipo	Hexacóptero X700
Dimensões	1057 x 723 x 462 mm
Distância do motor	361.5 mm
Peso	1750 g (com bateria)
Autonomia	15 a 20 minutos
Tempo de recarga da bateria	120 minutos



Figura 1 – Hexacóptero utilizado neste estudo e o anemômetro 3-D.

O anemômetro utilizado e hospedado como carga útil no VANT foi um modelo que mede além das componentes horizontais também a componente vertical. Trata-se de um anemômetro sônico da Young modelo 81000 (Figura 1). Um datalogger modelo CR1000 da Campbell, instalado próximo às baterias do VANT, foi utilizado para o armazenamento dos dados medidos. A Tabela 2 traz as especificações do anemômetro utilizado.

Tabela 2 – Especificações do anemômetro utilizado no VANT deste trabalho.

Wind speed range	0 a 40 m/s
Wind speed resolution	0,01 m/s
Wind direction range	0 a 359 graus
Wind direction resolution	0,1 graus
Peso	1,7 kg
Tipo	Anemômetro ultrasônico

O anemômetro foi preso pelo cabo elétrico de conexão a 4 m do VANT (Fig. 2). Esta distância foi empiricamente obtida como a distância a partir da qual a esteira dos motores não influencia as medidas do anemômetro. O relógio do sistema VANT e do datalogger da torre foram sincronizados e o intervalo amostral foi uma medida a cada segundo. Isto possibilitou medidas simultâneas em alturas correspondentes à dos anemômetros da torre de 50 m da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) (Figura 2). A exceção do anemômetro a 50 m, que é do tipo sônico 2-D da Gill, os demais instrumentos instalados na torre são do tipo hélice (maritimizado) da marca Young.



Figura 2 – Perfilamento do vento a partir do VANT próximo a torre anemométrica para fins de comparação.

### 3. Resultados e Discussão

No dia 28 de outubro de 2016 foi realizado, no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), um experimento para verificar a viabilidade do VANT para medições do perfil vertical dos ventos. A UENF possui uma torre anemométrica com medidas a 3, 10, 15, 30 e 50 m de altura que foram usados como verdade de campo para o experimento. O anemômetro do VANT foi programado para aquisições em alta frequência (1,0 Hz). O resultado apresentado na Figura 3 diz respeito à comparação entre medidas instantâneas realizadas pelo VANT para as respectivas alturas dos sensores da torre, onde é apresentado o valor médio para cada minuto e o correspondente intervalo de variação das medidas. Os resultados indicam que os valores medidos pelo VANT convergem para o intervalo medido em cada nível pelos respectivos anemômetros e que o perfil obtido por ambas as abordagens também são semelhantes. Os resultados permitiram verificar que para os extremos de vento observados durante o experimento, os quais chegaram a 8,0 m/s a 50 m de altura, o VANT utilizado mostrou-se perfeitamente estável e controlável. Outro resultado importante do experimento foi a verificação de que a autonomia de voo do VANT utilizado ficou bastante comprometida devido ao peso do conjunto datalogger e anemômetro 3-D.

Somente este último pesa próximo a 1,7 kg. Assim, está em andamento a adaptação de um anemômetro 2-D fabricado pela Gill, que pesa cerca de um terço do utilizado neste experimento, e que deverá dar maior alcance de aplicação ao VANT.

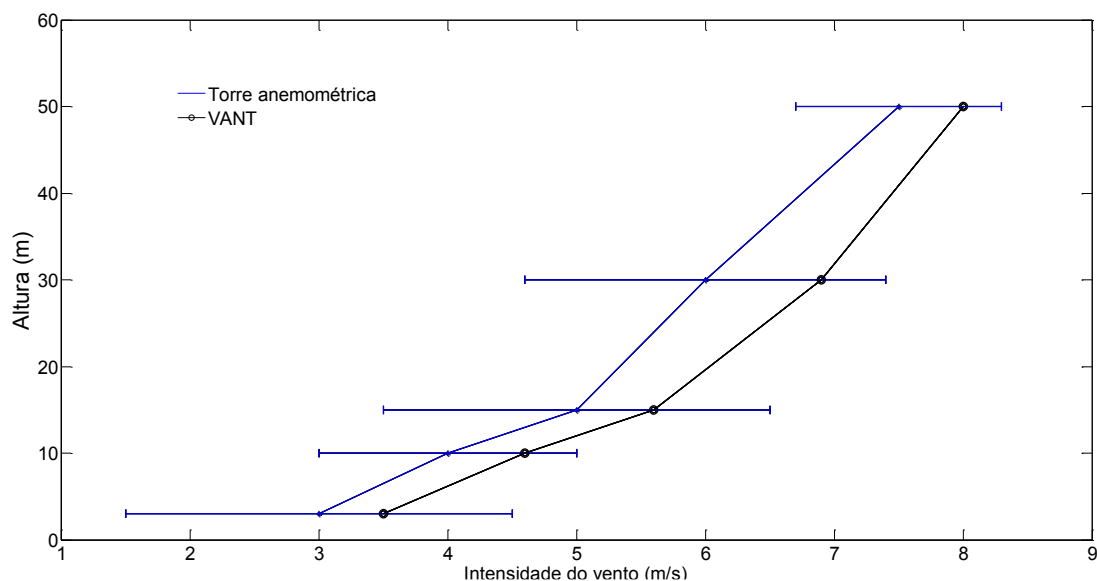


Figura 3 – Perfil do vento levantados pela torre anemométrica e pelo VANT. As barras horizontais indicam a variação do vento no intervalo de 1 minuto no período analisado, medidos pela torre anemométrica.

A partir da Figura 3 nota-se que as medidas realizadas pelo VANT, embora dentro do intervalo de variação das respectivas medidas dos anemômetros da torre, são sempre maiores.

Uma comparação entre medidas realizadas em alturas idênticas e no mesmo intervalo de tempo por um anemômetro maritimizado da Young e com o hospedado no VANT (3-D sônico da marca Young), mostram que o sônico 3-D tendeu a registrar valores maiores (Figura 4). Estes dois anemômetros estiveram separados por uma distância próxima a 800 m e ambos sobre a superfície da água o que tende a diminuir a heterogeneidade espacial do vento. Se esta última afirmativa estiver certa, ou seja, se pudermos assumir que não houve variação espacial substancial do vento na escala de 800 m, então pode-se concluir que os valores maiores registrados pelo VANT são devidos a uma ligeira sobre estimativa do sônico 3-D quando comparado ao maritimizado da Young. Um experimento específico, que instale estes dois anemômetros próximos, deverá ser realizado para informações mais acuradas acerca desta questão.

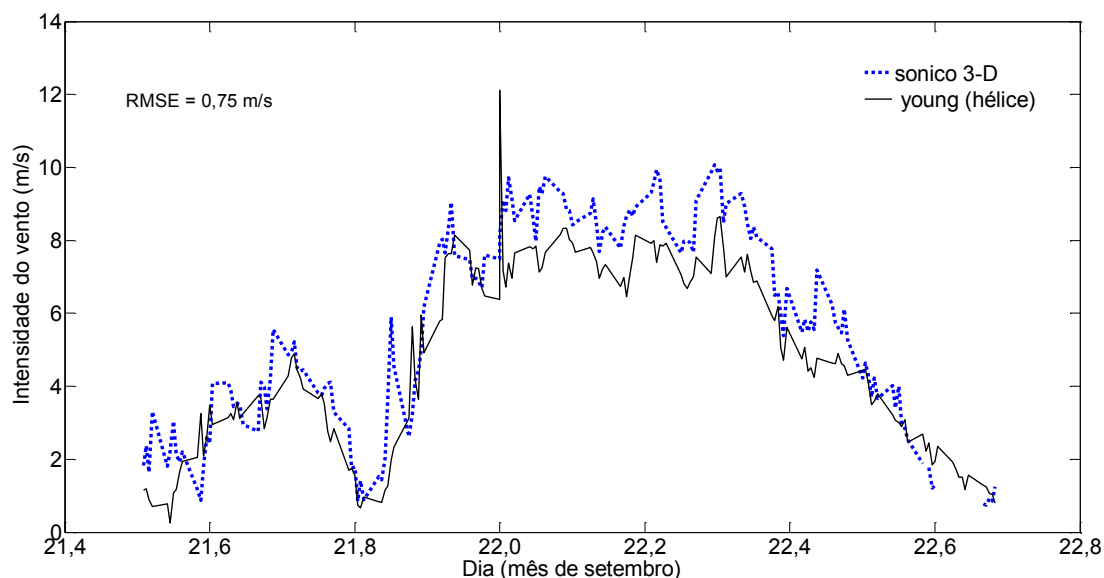


Figura 4 – Comparação do vento medido pelo anemômetro sônico 3-D (Usado no VANT) e pelo tipo de hélice (da torre), ambos da marca Young. A altura de medições refere-se a 3 metros.

#### 4. Conclusões

No final do mês de outubro último foi concebido e realizado um experimento, no campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), que visou investigar o uso de um hexacóptero para sustentar um anemômetro tridimensional, para fins de perfilamento do vento. Os dados de uma torre anemométrica com medidas a 3, 10, 15, 30 e 50 m foram utilizados para comparação. Os experimentos foram realizados em condições de ventos moderadamente intensos, valores atingiram  $8,0 \text{ m s}^{-1}$  a 50 m e em condição de atmosfera instável. Sob estas condições o VANT mostrou-se bastante estável e controlável. Comparações entre as medidas feitas pelo VANT e a torre em alturas correspondentes indicou convergência dos dados. Uma limitação observada foi a redução drástica na autonomia de voo o que esteve associado ao elevado peso do anemômetro utilizado, cerca de 1,7 kg - fora o datalogger e cabo elétrico. Está em andamento testes para a utilização de um anemômetro 2-D que pesa sensivelmente menos. Resolvida a questão da autonomia, os próximos passos serão a realização dos perfis por estacionar o VANT em cada altura referente aos sensores e fazer uma amostragem temporalmente mais robusta ao invés do perfil contínuo (instantâneo) como o realizado no presente experimento.

#### Agradecimentos

À FAPEMIG (Projeto APQ 1575/14) e ao CNPq (309315/2015-8 e 406801/2013-04). À Equinócio Geoambiental pelo fornecimento e suporte ao uso do VANT.

## Referências Bibliográficas

Arya, S. P. (2001). **Introduction to Micrometeorology**. Academic Press, San Diego, 2001. 287 p.

Assireu, A. T.; Pimenta, F. ; Souza, V. **Assessment of the wind power potential of hydroelectric reservoir**. In: Enner Alcântara. (Org.). **Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation**. 1ed. Nova York: Nova Science Publishers, 2011, v. 01, p. 1-30.

Beyrich, F. and Mengelkamp, H.-T. Evaporation over a Heterogeneous Land Surface: EVA GRIPS and the LITFASS-2003 Experiment - an Overview. **Boundary-Layer Meteorology** 121, 1–28. 2006.

Bange, J., Beyrich, F. and Engelbart, D. A. M., 2002: Airborne Measurements of Turbulent Fluxes during LITFASS-98: A Case Study about Method and Significance. **Theory and Applied Climatology**, 73, 35–51.

Dias, N., J. Gonçalves, L. Freire, T. Hazegawa, and A. Malheiros. Obtaining potential virtual temperature profiles, entrainment fluxes, and spectra from mini unmanned aerial vehicle data. **Boundary-Layer Meteorology**, 145 (1), 93-111, 2012.

Kroonenberg van den A.C., T. Martin, M. Buschmann, J. Bange, and P. Vörsmann: Measuring the Wind Vector Using the Autonomous Mini Aerial Vehicle M<sup>2</sup>AV. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 25, 1969–1982, 2008.

Lange, B. S.; Larsen, J.; Hojstrup, R.; Arthelmie, R.: Importance of thermal effects and the sea surface roughness for offshore wind resource assessment. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. 92, 959–988, 2004.

Manwell, J. F.; McGowan J. G. and Rogers, A. L. **Wind energy explained**, John Willey and Sons, West Sussex, England, 590 pp., 2002.

Mayer S, Sandvik A, Jonassen M, Reuder J. Atmospheric profiling with the UAS SUMO: a new perspective for the evaluation of fine-scale atmospheric models. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 2010.