

Medição da velocidade do vento a bordo de um Veículo Aéreo Não Tripulado

Rianne de Jong¹, Tomás Chor², Nelson Dias²

¹*University of Twente, Holanda*

²*Departamento de Engenharia Ambiental/UFPR
e-mail: t.chor0@gmail.com*

1. Introdução

A medição da magnitude e direção do vento (que é de grande importância para estudos de dispersão) geralmente é feita de duas maneiras: radiossondagens ou anemômetros em torres. Apresentamos aqui uma opção alternativa: a medição através de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). O objetivo deste trabalho é desenvolver e validar um algoritmo simples para realizar essa medição. O uso de VANTs para a obtenção de dados meteorológicos não é novidade (Kroonenberg et al., 2008). Do ponto de vista prático as principais dificuldades para a realização desta medição são a alta taxa de turbulência na atmosfera, a possibilidade de medição de uma das componentes da velocidade relativa do vento e o fato de o avião ser um referencial não inercial.

2. Desenvolvimento da teoria

Nos baseamos na equação de velocidade relativa entre dois referenciais, sendo um deles não inercial:

$$\vec{V}^E = \vec{V}_0^E + (\vec{\omega}_{bE} \times \vec{r})^b + \vec{v}_a^b \quad (1)$$

onde \vec{V}^E é a velocidade do vento, \vec{V}_0^E é a velocidade do avião em relação ao solo, $\vec{\omega}_{bE}$ é a velocidade angular do avião em relação ao referencial fixo, \vec{r} é a distância do tubo de Pitot até o centro de gravidade do avião e \vec{v}_a^b é a velocidade do vento em relação ao avião. Os sobrescritos indicam o referencial no qual o vetor está expresso: E e b significam os

referenciais fixo terrestre e do avião, respectivamente. Todos os termos da Eq. (1) devem estar representados no mesmo sistema de referência, o que introduz a necessidade de uma matriz R_{bE} de mudança de base de b para E . A matriz R_{bE} , de acordo com a teoria de Euler, é obtida pela multiplicação das matrizes R_x , R_y e R_z , nessa ordem, que são as rotações planas em torno de cada um dos eixos x , y e z . Como possuímos apenas um tubo de Pitot, é impossível o conhecimento de todo o vetor \vec{v}_a^b a cada intervalo de tempo, o que nos deixa com um sistema matemático subdeterminado. Adotando a hipótese de vento constante durante um número n de medições, o número de equações e incógnitas cresce segundo a regra $n=3+2/3m$, onde n é o número de incógnitas e m o número de equações. Para $m > 9$ o sistema fica superdeterminado, que é um meio de abordar o problema da turbulência. O método escolhido para se tratar o sistema é o método dos mínimos quadrados. Primeiramente, ajusta-se o sistema de equações em um sistema matricial:

$$V_i - R_{i2}v_{a2}^b - R_{i3}v_{a3}^b = V_{0i} + R_{i1}v_{a1}^b + (\vec{\omega}_{bE}^E \times r^E)_i = \eta_i \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -R_{12}^1 & -R_{13}^1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -R_{22}^1 & -R_{23}^1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -R_{32}^1 & -R_{33}^1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R_{12}^2 & -R_{13}^2 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -R_{22}^2 & -R_{23}^2 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -R_{32}^2 & -R_{33}^2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -R_{12}^N & -R_{13}^N \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -R_{22}^N & -R_{23}^N \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -R_{32}^N & -R_{33}^N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \\ v^1 \\ w^1 \\ v^2 \\ w^2 \\ \vdots \\ v^N \\ w^N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \eta_1^1 \\ \eta_2^1 \\ \eta_3^1 \\ \eta_1^2 \\ \eta_2^2 \\ \eta_3^2 \\ \vdots \\ \eta_1^N \\ \eta_2^N \\ \eta_3^N \end{pmatrix} \quad (3)$$

onde $N = n/3$, e R_{ij}^N é o elemento ij da matriz R_{bE} do intervalo de tempo N ; U , V e W são as componentes x , y e z do vetor velocidade do vento e η_i^N é o i -ésimo elemento da matriz-coluna η no tempo N , definida na

equação (2). Chamando de Ψ a matriz do sistema em (3), e de χ o vetor de incógnitas:

$$\Psi\chi = \eta \Rightarrow \Psi^T\Psi\chi = \Psi^T\eta \quad (4)$$

que pode ser resolvido para as incógnitas χ_r

3. Implementação do algoritmo e resultados

O algoritmo desenvolvido foi aplicado aos dados coletados durante um voo que aconteceu na cidade de Tijucas do Sul, PR. No nível do solo a direção do vento era predominantemente nordeste. O voo foi uma subida em círculos até uma altura de 200 metros e um retorno seguindo o mesmo padrão. Aplicando-se o algoritmo utilizando $N = 500$ obtém-se o seguinte resultado (Figura 1):

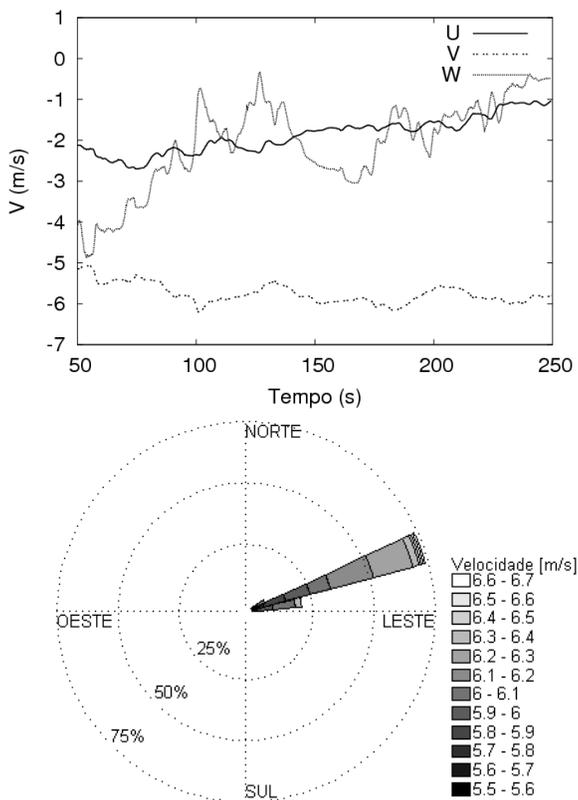


Figura 1. Na primeira estão as componentes da velocidade obtidas e, na segunda uma a rosa dos ventos a partir dos dados.

4. Conclusão

O resultado para as componentes horizontais é satisfatório; no entanto, a componente vertical está superestimada. Valores normais para a mesma estão sempre abaixo de zero. A razão disso é provavelmente a baixa resolução das medições do tubo de Pitot (0,26 m/s) e também o fato de o ângulo de arfagem ser consideravelmente menor que os outros ângulos, o que faz com que a componente vertical seja a componente que menos é medida diretamente.

5. Referências

KROONENBERG, A.V. D.; MARTIN, T.; BUSCHMANN, M.; BANGE, J.; VORSMANN, P. **Measuring the wind vector using the autonomous mini aerial vehicle M2AV.** [s. L.]: **Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology**, 25:1969-1982, 2008.