

Anexo I – Avaliação estatística dos resultados obtidos a partir do campo de ajuste

Ao longo do desenvolvimento da fase de comparação entre dados medidos e observados, várias versões de campos de ajuste (ou mapas de ajustes) foram obtidas. Para que houvesse uma comparação quantitativa das diversas versões, adotou-se o uso de ferramentas estatísticas que mostraram uma evolução da taxa de acerto dos resultados do modelo Brams quando comparados com dados medidos. As ferramentas estatísticas utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Ferramentas estatísticas utilizadas no estudo

| Descrição | Fórmula |
|---|--|
| <u>Erro médio</u> | $\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n}$ <p>Onde: P_i é o valor previsto; O_i o valor observado e n é o número total de observações.</p> |
| <u>Desvio padrão do erro</u> | $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{(n - 1)}}$ <p>Onde: $\varepsilon_i = P_i - O_i$ $\bar{\varepsilon}$ = erro médio</p> |
| <u>Erro absoluto médio (MAE)</u> | $MAE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - O_i }{n}$ |
| <u>Raiz do erro médio quadrático (RMSE)</u> | $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$ |

A visualização dos resultados é realizada através de um histograma de distribuição do erro e também por um gráfico do tipo xy, tendo na abscissa o valor previsto pelo modelo e na ordenada o valor observado. Através dos resultados obtidos também é apresentada a melhor reta obtida pelo método dos mínimos quadrados, que busca correlacionar os pontos observados e medidos. A equação desta reta e o coeficiente de correlação (R^2) também são apresentados no gráfico.

Para cada versão obtida de campo de ajuste, foram realizados estudos estatísticos que avaliaram o histograma do erro, o espalhamento no gráfico xy (incluindo a correlação entre

dados observados e previstos), o erro médio, o desvio padrão do erro, o MAE, e o RMSE, sendo, este último, considerado o parâmetro mais rigoroso por aplicar maior peso aos erros de maior magnitude (CHAI, 2014; SAVAGE et al., 2013; MCKEEN, 2005).

A primeira avaliação consistiu na comparação dos resultados do modelo Brams com a climatologia do Inmet. O valor da raiz do erro médio quadrático (RMSE) foi de aproximadamente 1,6 m/s. A redução do valor do RMSE ao longo das várias versões pode ser observada na Figura 1. O melhor valor encontrado para o RMSE foi obtido durante a sexta versão do campo de ajustes, apresentando uma MAE de 0,44 m/s e um RMSE de 0,57 m/s.

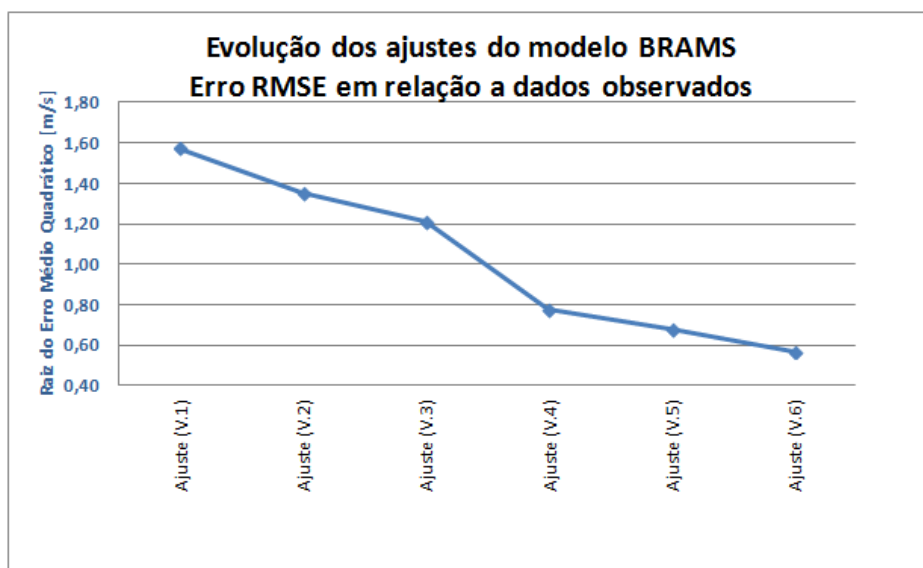


Figura 1 – Redução do erro RMSE observada com progressão dos ajustes do modelo

A última etapa de ajuste (versão 6) analisou valores de velocidades médias anuais previstas pelo modelo e observadas em uma base de dados composta de 138 estações, das quais foi utilizado um conjunto de 84 estações METAR e 29 estações anemométricas para ajuste e um segundo conjunto de 15 estações METAR e 10 estações anemométricas para o controle de qualidade do resultado do ajuste sobre o modelo. As figuras 2 e 3 mostram o espalhamento e o histograma do erro entre valores previstos e observados do conjunto de dados separado para ajuste.

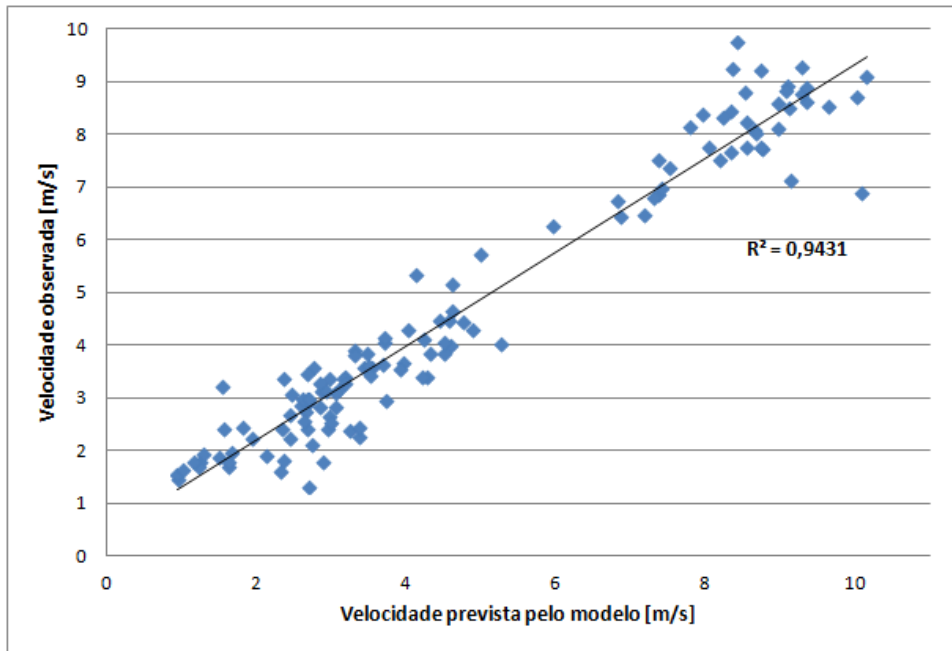


Figura 2 – Dispersão dos dados para realização da versão 6 do ajuste dos dados do modelo
Brams

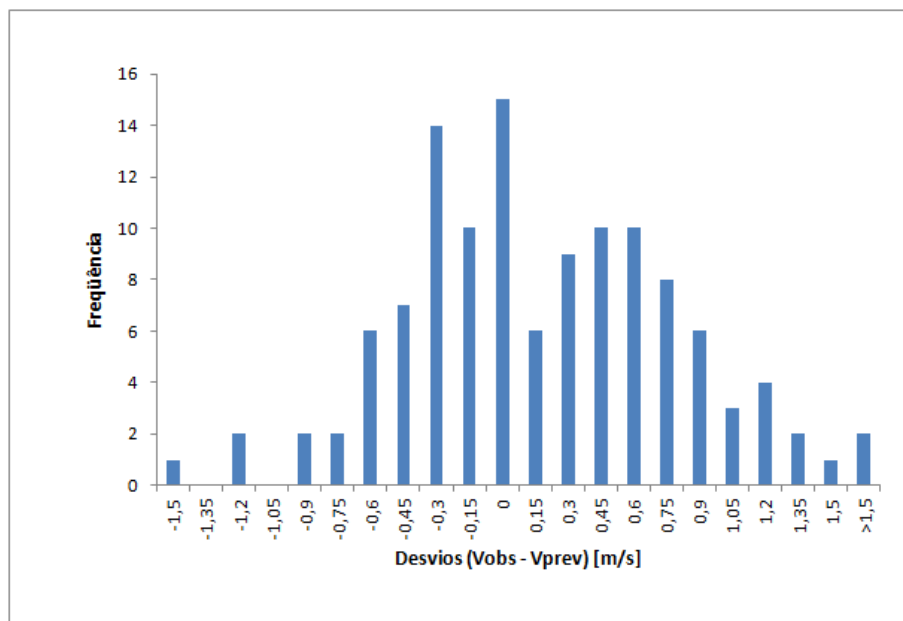


Figura 3 – Histograma da distribuição do erro (*Previsto – Observado*) para os dados do ajuste
V6

As figuras 4 e 5 mostram o espalhamento e o histograma do erro entre valores previstos e observados do conjunto de dados separado para o controle de qualidade após o ajuste. A Tabela 2 apresenta diversos parâmetros estatísticos obtidos através da avaliação dos dois conjuntos de dados utilizados na última versão de ajuste.

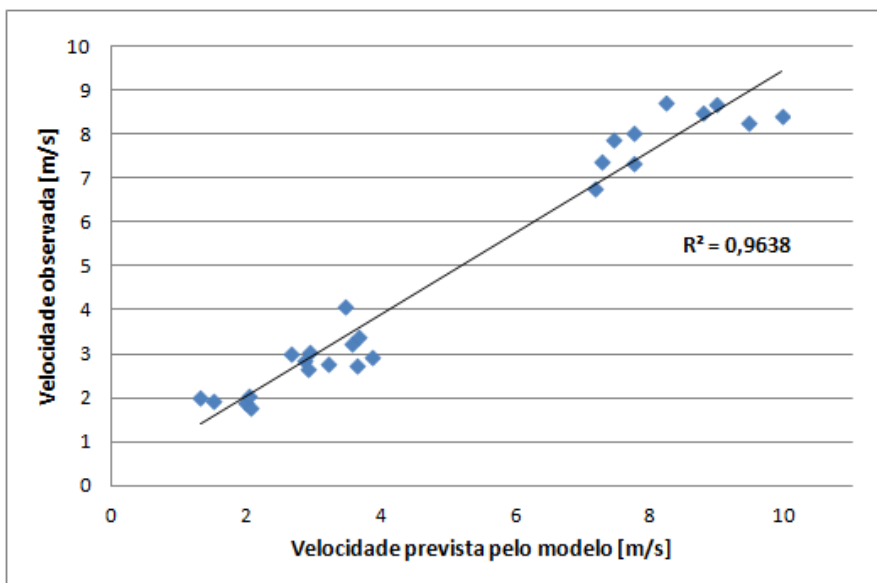


Figura 4 – Dispersão dos dados previstos (após ajuste) e observados para o conjunto utilizado no controle de qualidade.

Tabela 2 – Principais valores estatísticos obtidos na versão 6 de ajuste dos dados simulados

| | Comparação dos dados previstos e observados antes do ajuste (versão 6) 113 estações | Controle de qualidade após ajuste (versão 6) 25 estações |
|----------------------|---|--|
| Desvio Padrão | 0,673 | 0,559 |
| MAE [m/s] | 0,518 | 0,442 |
| RMSE [m/s] | 0,678 | 0,570 |
| R² | 0,943 | 0,964 |

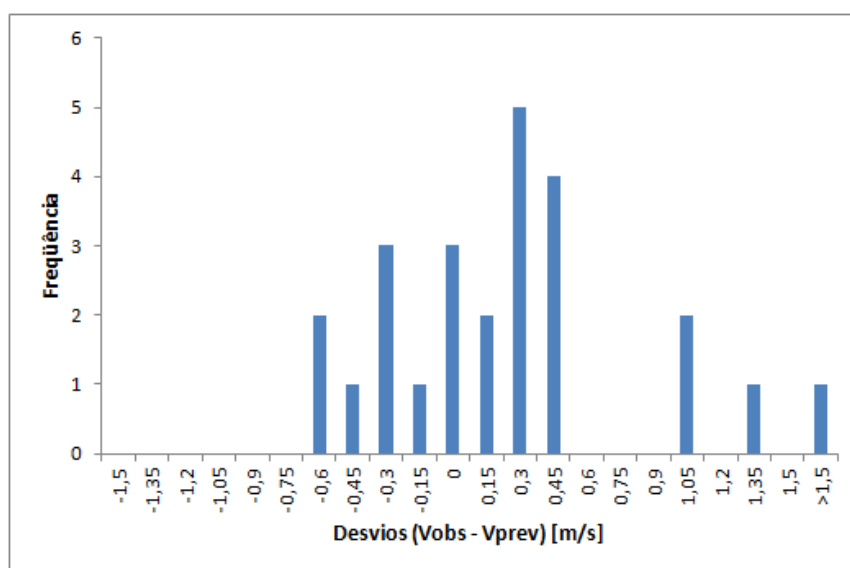


Figura 5 - Histograma da distribuição do erro (*Previsto – Observado*) do controle de qualidade

Conforme apresentado na Figura 1, houve uma melhora no desempenho dos ajustes realizados nos resultados do modelo. A última versão de ajuste apresentou uma média de erro absoluto (MAE) de 0,44 m/s e um RMSE de 0,57 m/s o que representa uma melhoria de 64% do valor de RMSE quando comparado com a primeira versão de ajuste. Os valores alcançados na última versão de ajuste são compatíveis com as variabilidades de medições anemométricas teoricamente calculadas pela norma IEC 61400-12-1 (IEC, 2005) ou mesmo quando determinadas experimentalmente (NEIVA et al., 2016).

Bibliografia

CHAI, T., e DRAXLER, R.R. , 2014. **Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature**, Geosci. Model Dev., 7, 1247–1250, 2014

IEC, 2005 - Norma IEC 61400-12-1, first edition 2005-12, **Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines.**

MCKEEN, S. A., WILCZAK, J., GRELL, G., et al, 2005. **Assessment of an ensemble of seven realtime ozone forecasts over eastern North America during the summer of 2004**, J. Geophys. Res., 110, D21307.

NEIVA, A.C.B., RAMOS, D.A., GUEDES, V.G., WALTER, A., e MELO, S.R.F.C., 2016. **Estudo Comparativo Teórico e Experimental da Variabilidade de Dados de Velocidade de Vento em Estações Anemométricas** – Brazil Windpower 2016 Conference and Exhibition – 30/08/2016 – disponível em: Pasta 1, ID208 (acessado em 14/12/2016): <https://www.dropbox.com/sh/2vux66jiicslyu6/AADIJ2XOXtgLzW35w9lg43ZYa?dl=0>.

SAVAGE, N. H., AGNEW, P., DAVIS, L. S., ORDÓÑEZ, C., THORPE, R., JOHNSON, C. E., O’CONNOR, F. M., e DALVI, M. 2013. **Air quality modelling using the Met Office Unified Model (AQUM OS24-26): model description and initial evaluation**, Geosci. Model Dev., 6, 353–372.