

# Impacte da assimilação de dados de vento provenientes de satélite em ambiente *offshore*: caso de estudo da Berlenga

Miguel Fernandes<sup>(1)</sup>, Paulo Costa<sup>(1)</sup>, Ana Estanqueiro<sup>(1)</sup>  
[miguel.fernandes@ineti.pt](mailto:miguel.fernandes@ineti.pt), [paulo.costa@lneg.pt](mailto:paulo.costa@lneg.pt), [ana.estanqueiro@ineti.pt](mailto:ana.estanqueiro@ineti.pt)

<sup>(1)</sup> LNEG (ex. INETI) – Laboratório Nacional de Energia e Geologia,  
Estrada do Paço do Lumiar 22 Lisboa

## Introdução

Com o acentuado desenvolvimento da capacidade de produção de energia eólica *onshore*, onde Portugal já excede, actualmente, 3500 MW de capacidade instalada, é de esperar que este número ascenda a patamares muito elevados, tendo em conta os objectivos ambiciosos que a União Europeia planeia para o sector até 2020, prevendo-se que, em 2013, Portugal atinja a meta dos 5100M de capacidade instalada. No entanto, o recurso eólico *onshore* nacional não é infinito, tendo o LNEG já estimado uma meta nacional para a capacidade eólica sustentável *onshore* para Portugal Continental de, aproximadamente, 6000MW [1], capacidade só ultrapassável com a libertação de região actualmente protegidas ambientalmente de forma severa, bem como com a introdução de impactos não desprezáveis sobre as populações, que seria desejável evitar. Desta forma, e para um horizonte temporal além de 2013, há que fomentar e redireccionar as oportunidades de investimento do sector para outro nicho de mercado que se espera emergente, e que é o aproveitamento da energia eólica *offshore* que o País dispõe [2].

Em 2006 o INETI produziu o Atlas de Vento *Offshore* [2] para Portugal Continental, com resolução espacial de 1x1km, recorrendo-se a procedimentos de modelação numérica através do uso de um sofisticado modelo atmosférico de mesoscala. O Atlas obtido permitiu identificar regiões e locais ao longo da costa ocidental Portuguesa com adequada capacidade para a exploração do recurso. Uma das regiões mais evidenciadas, pelo elevado recurso energético apresentado foi a região costeira associada à costa da zona oeste de Portugal Continental, em particular nas imediações do arquipélago das Berlengas (Fig. 1). As Berlengas são um conjunto de pequenas ilhas rochosas, situadas aproximadamente a sete milhas náuticas ao largo da cidade de Peniche. Constituem-se por ser uma reserva natural com elevadas restrições ambientais. Foi autorizado ao LNEG, por parte de entidades ambientais, a instalação de um mastro anemométrico na ilha de maior dimensão – ilha das Berlengas. O mastro foi montado com dois anemómetros de copos, situados a 10 e 20m de altura e apenas um catavento a 20m. Os dados de

vento registados desse mastro constituíram-se como informação preciosa para efeitos de um estudo de validação do recurso eólico *offshore* [3]. Esse estudo de validação permitiu ainda aferir a qualidade das simulações numéricas para o mar aberto tendo em conta uma base de dados de vento observacionais oriundos de satélite, nomeadamente do quikSCAT [4], tendo sido verificada uma elevada concordância entre os resultados simulados e os observados por todas as fontes de vento em jogo. A validação pôde ser assim realizada, quer para a região de mar aberto quer por via pontual – localização do mastro anemométrico das Berlengas.

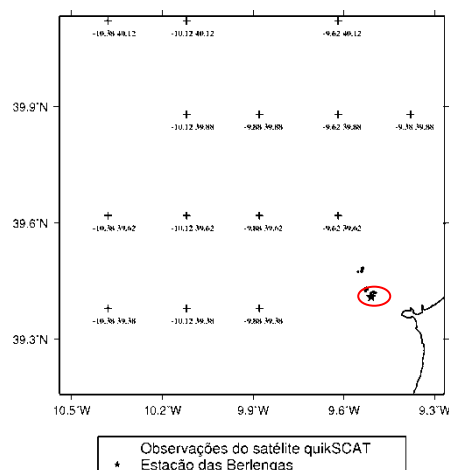


Fig. 1.- Localização da estação da Berlenga.

No trabalho aqui apresentado evolui-se para uma nova etapa de validação das estimativas obtidas por modelação numérica, recorrendo-se ao uso da assimilação de dados de vento, no modelo numérico de mesoscala. A assimilação de dados de vento foi efectuada com recurso aos dados de vento oriundos de satélite e do mastro anemométrico nas Berlengas.

Os resultados alcançados no que dizem respeito às comparações das estimativas entre valores de vento assimilados e não assimilados permitem constatar uma melhoria de 17% na intensidade do vento e 10% na direcção do vento quando se utilizam processos de assimilação. A ausência de procedimentos de assimilação na região em estudo permitiu constatar a boa razoabilidade do modelo na previsão da variabilidade dos fenómenos

meteorológicos associados à turbulência e estratificação atmosférica.

Desta forma, o uso de esquemas de assimilação numérica implicam melhorias das estimativas locais e espaciais simuladas pelos modelos atmosféricos, sendo assim estes capazes de se afigurarem adequados à avaliação do recurso eólico *offshore* ao longo de toda a costa Portuguesa, mesmo para zonas mais refinadas, no que diz respeito à resolução espacial da malha de cálculo.

Para além disso, há que realçar que o recurso a esquemas de assimilação numéricos “alimentados” com base em dados de vento de satélite, e implementados em modelos atmosféricos de mesoscala colmatem eficazmente os propósitos de validação *in-situ* do recurso eólico *offshore* sobretudo em locais onde não é possível a instalação de um mastro anemométrico para confirmação das estimativas.

## Método

No presente trabalho avaliou-se o impacto da assimilação de dados de vento com recurso a um esquema de assimilação newtoniana, vulgarmente conhecido na literatura da especialidade como técnica de “nudging” [5] cujas equações (1) e (2) se apresentam de forma simplificada:

$$\frac{\partial \alpha(x, t)}{\partial t} = F(\alpha, x, t) + G_{\alpha} \frac{[\sum_{i=1}^N W_i^2(x - x_i, t - t_i) \cdot (\alpha_0 - \hat{\alpha})_i]}{\sum_{i=1}^N W_i(x - x_i, t - t_i)} \quad (1)$$

$$W_i = W_{xy}(D_i) + W_{\sigma}(\sigma - \sigma_i) + W_t(t - t_i) \quad (2)$$

Onde:

$\alpha(x, t)$  corresponde ao valor da grandeza no centro da célula da malha;

$F(\alpha, x, t)$  correspondem aos termos de forçamento das euações do movimento (advecção, criolis, etc);  $G_{\alpha}$  diz respeito ao factor de impacte do esquema de assimilação, conhecido por, factor de “nudging”;

$W_i(x, t)$  é a função de ponderação de influência das observações no modelo;

$\alpha_0$  é valor da observação;

$\hat{\alpha}$  a respectiva previsão do modelo interpolada para o local da observação;

Para testar o esquema de assimilação foi utilizado o modelo Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) [6] tendo sido efectuadas um conjunto de simulações numéricas, de elevada resolução espacial, em torno da região das Berlengas, para um período de um mês completo, nomeadamente, o mês de Janeiro de 2008.

Elaboraram-se 3 domínios de simulação, cobrindo áreas de estudo, com 50, 10 e 2km de resolução espacial horizontal, respectivamente (Fig. 2), processados com 32 níveis sigma. As condições iniciais e de fronteira ao longo da simulação, foram estabelecidas através do uso de dados 3D meteorológicos provenientes do projecto de Reanálise do NCAR [7]. As condições de fronteira foram “alimentadas” no modelo a cada 6h de integração.

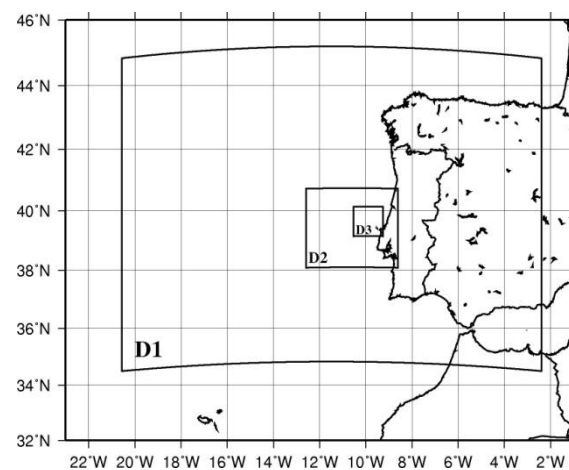


Fig. 2. – Limites horizontais dos domínios de simulação.

Relativamente aos dados de vento de satélite, recorreu-se à base de dados de registos diários que o Laboratório JPL da NASA mantém desde 1999, oriundos do satélite QuikSCAT[3]. Este satélite mantém uma órbita heliocêntrica garantindo duas passagens diárias no mesmo local, de onde são inferidas medidas de vento, à superfície, com uma resolução espacial de 0.25°x0.25°. Para este trabalho foram extraídos os dados de vento para uma área delimitada pelos meridianos 30°N a 50°N e paralelos 20°W a 1°W, durante o decurso do mesmo período temporal – Janeiro de 2008 - em particular, para os pontos apresentados na figura 1.

Para o esquema de assimilação numérica foram utilizados os dados de vento de satélite dos pontos já referenciados na Fig. 1 e também os registos de vento horários obtidos do mastro anemométrico nas Berlengas às alturas de 10 e 20 m.

A função de ponderação das observações no esquema de assimilação (equação 2) entra em linha de conta com a distância entre o ponto da malha ao local da observação  $W_{xy}(D_i)$ , a influência vertical da observação no nível sigma do modelo relativa

aos outros níveis verticais  $W_\sigma(\sigma - \sigma_i)$ , e  $W_t(t - t_i)$  correspondente à janela temporal de assimilação das observações.

Assim, o valor da grandeza  $\alpha(x, t)$  em cada passo de integração numérica, é afectado pelo desvio médio do erro entre os resultados simulados e os valores observados dentro do raio de influência horizontal e vertical bem como pelo erro temporal mantido entre os valores da observação e previsão ocorridos durante o período definido como janela temporal de assimilação. Nos resultados abaixo apresentados, foi utilizado para o factor de nudging  $G_\alpha$  o valor de  $6E-4 \text{ s}^{-1}$ , adequado para a região em estudo. O raio de influência horizontal e vertical para avaliação do impacto do desvio entre as observações e os resultados simulados é de 200km e  $0.1\sigma$ , respectivamente. A janela temporal utilizada foi de 12h devido à frequência de passagem do satélite nas proximidades da região em estudo

## Resultados

Com base nos *outputs* horários do domínio de maior resolução espacial (2x2km) foram criadas séries temporais de intensidade e direcção do vento provenientes das simulações numéricas com o modelo WRF-ARW com e sem esquema de assimilação numérica, para o ponto da grelha mais próximo do mastro anemométrico das Berlengas à altura de 20 m acima do nível do solo. Nas figuras 3 e 4, apresentam-se os resultados simulados para a intensidade e direcção do vento, respectivamente, para o local do mastro anemométrico, a 20m de altura.

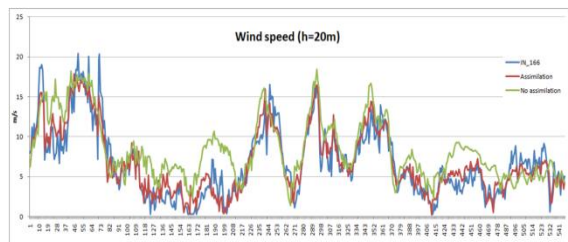


Fig. 3. – Comparação da intensidade do vento simulado para o local do mastro durante Janeiro de 2008. Azul – observação no mastro; Vermelho - estimativas com assimilação; Verde – estimativas sem assimilação.

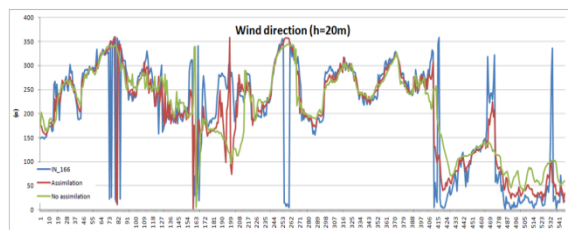


Fig. 4. – Comparação da direcção do vento simulado para o local do mastro durante Janeiro de 2008. Azul – observação no mastro; Vermelho - estimativas com assimilação; Verde – estimativas sem assimilação.

Nas tabelas 1 e 2 apresentam-se os valores dos parâmetros estatísticos obtidos com base nos resultados da intensidade e direcção do vento consoante se utilizou ou não o esquema de assimilação numérica.

Velocidade	Com Assim.	Sem Assim.
Correlação (%)	93.30	76.45
Desvio Abs. (m/s)	1.23	2.71
RMSE (m/s)	1.55	3.28

Tabela 1. - Parâmetros estatísticos da intensidade do vento obtidos para o local do mastro. Resultados com e sem assimilação.

Direcção	Com Assim.	Sem Assim.
Desvio Abs. (°)	20.97	36.57
RMSE (°)	34.90	53.02

Tabela 2. - Parâmetros estatísticos da direcção do vento obtidos para o local do mastro. Resultados com e sem assimilação.

Observando as figuras 1 e 2 conjuntamente com os valores estatísticos apresentados nas tabelas 1 e 2, pode-se constatar a melhoria dos resultados das simulações quando se utiliza o esquema de assimilação. De forma idêntica procedeu-se a uma avaliação da qualidade do vento simulado à superfície num local de passagem do satélite QuikSCAT. Na figura 5, assinala-se com um círculo a vermelho, o local seleccionado.

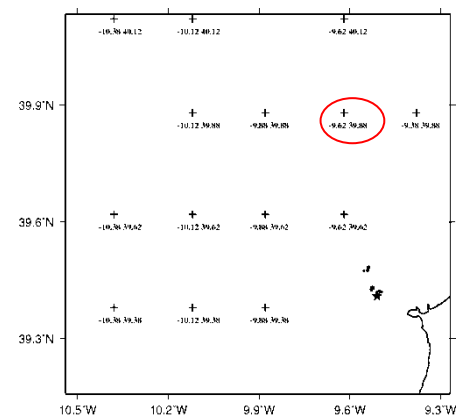


Fig. 5. – Localização do ponto de passagem do satélite QuikSCAT para averiguação de resultados simulados.

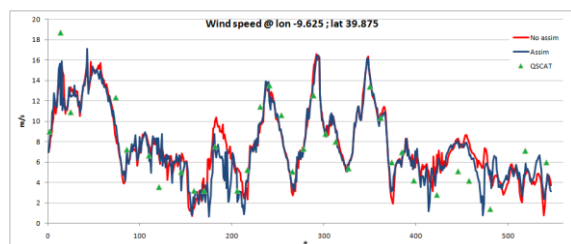


Fig. 6. – Comparação da intensidade do vento para o local de passagem do QuikSCAT durante Janeiro de 2008. Triângulo verde – observação satélite; Vermelho - estimativas sem assimilação; Azul – estimativas com assimilação.

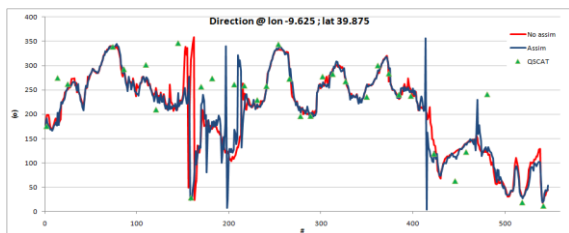


Fig. 7. – Comparação da direcção do vento para o local de passagem do QuikSCAT durante Janeiro de 2008. Triângulo verde – observação satélite; Vermelho - estimativas sem assimilação; Azul – estimativas com assimilação.

Nas tabelas 3 e 4 apresentam-se os valores dos parâmetros estatísticos no local seleccionado de passagem do QuikSCAT para os valores simulados da intensidade e direcção do vento.

<b>Velocidade</b>	Com Assim.	Sem Assim.
Correlação (%)	84.21	81.95
Desvio Abs. (m/s)	1.55	1.64
RMSE (m/s)	2.08	2.25

Tabela 3. - Parâmetros estatísticos da intensidade do vento obtidos para o local de passagem do QuikSCAT. Resultados com e sem assimilação.

<b>Direcção</b>	Com Assim.	Sem Assim.
Desvio Abs. (°)	25.81	35.80
RMSE (°)	41.13	54.12

Tabela 4. - Parâmetros estatísticos da direcção do vento obtidos para o local de passagem do QuikSCAT. Resultados com e sem assimilação.

Igualmente se observa, das tabelas 3 e 4 e das figuras 6 e 7 que o esquema de assimilação permite que o modelo obtenha um melhor desempenho quando se utilizam os dados de vento de superfície do satélite QuikSCAT.

No decurso deste trabalho procurou-se igualmente analisar o impacte da assimilação de dados de vento no que diz respeito à intensidade dos ciclos de brisa, quer diurna quer nocturna. Apesar de o mês simulado ser o mês de Janeiro de 2008 – mês de inverno, ocorreram alguns dias de céu limpo ou pouco nublado com fraca manifestação de brisas. No entanto, os resultados espaciais obtidos com o modelo WRF-ARW sem integrar o esquema de assimilação de relaxação newtoniana, tendeu a aumentar o efeito da brisa diurna e nocturna. Refazendo as simulações com a integração do esquema de assimilação, os resultados obtidos aproximaram-se mais fielmente dos valores observados – satélite e mastro anemométrico. Este resultado pode ter particular interesse sobretudo na modelação do escoamento atmosférico na costa oeste Portuguesa, para os meses de Verão, onde a frequência de ocorrência, manutenção e intensificação das brisas diurna e nocturna é

bastante mais notória. Isto pode significar, que, numa primeira aproximação, o uso de um esquema de assimilação pode levar a reduzir eventuais sobreestimativas da intensidade do vento quando simulado com o modelo WRF-ARW.

Nas figuras 8 a 11, podem-se observar, os efeitos espaciais do uso do esquema de assimilação e o seu impacto na simulação da intensidade do vento oriundo da brisa nocturna e diurna para os dias 19 e 20 de Janeiro de 2008, respectivamente.

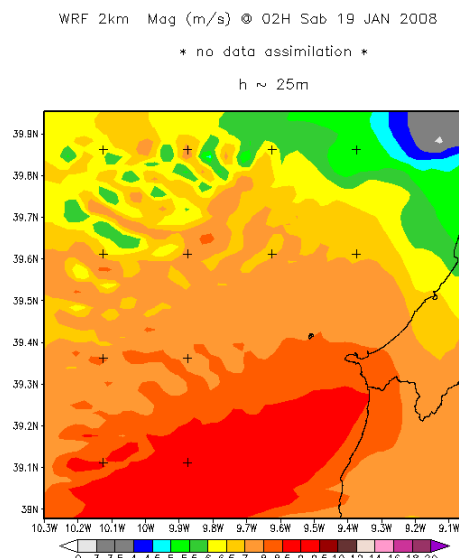


Fig. 8. – Mapa simulado da intensidade do vento, obtido para as 02h UTC do dia 19 de Janeiro de 2008. Resultado sem esquema de assimilação.

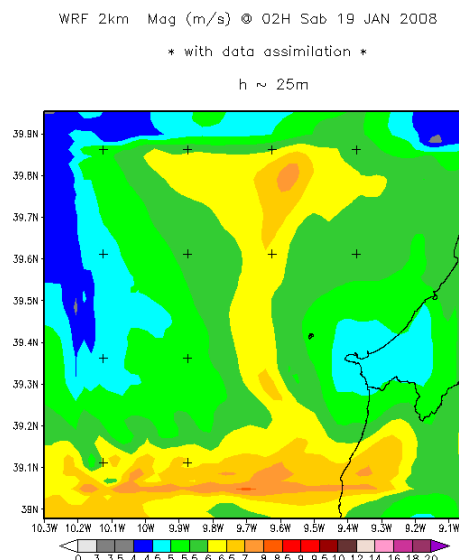


Fig. 9. – Mapa simulado da intensidade do vento, obtido para as 02h UTC do dia 19 de Janeiro de 2008. Resultado com esquema de assimilação.

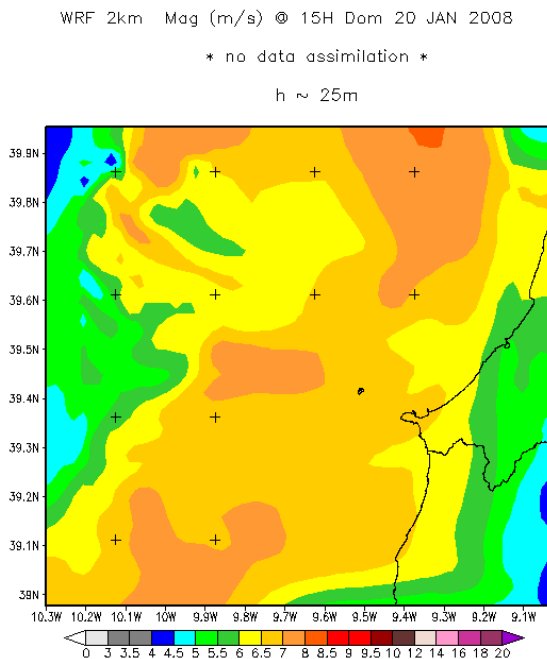


Fig. 10. – Mapa simulado da intensidade do vento, obtido para as 15h UTC do dia 20 de Janeiro de 2008. Resultado sem esquema de assimilação.

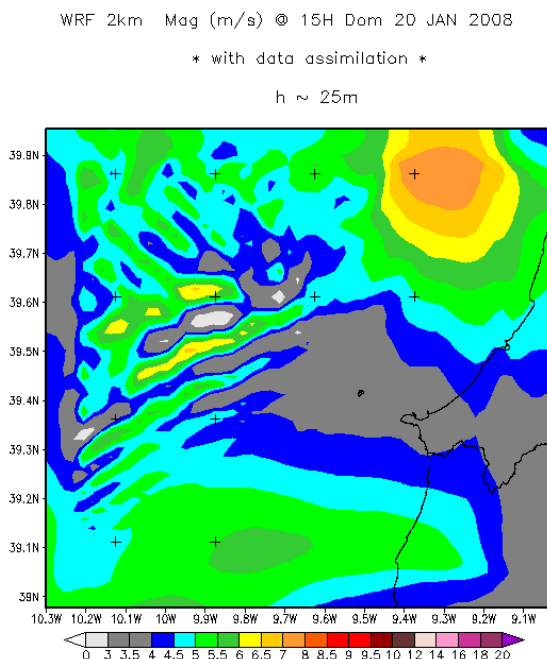


Fig. 11. – Mapa simulado da intensidade do vento, obtido para as 15h UTC do dia 20 de Janeiro de 2008. Resultado com esquema de assimilação.

De acordo com os resultados simulados, e para os dias aqui mapeados, é possível visualizar que as circulações de brisa noturna e diurna foram atenuadas pelo uso do esquema de assimilação através da inclusão dos dados de intensidade e direcção do vento provenientes do satélite QuikSCAT e do mastro anemométrico nas Berlengas.

No decurso do presente estudo pretendeu-se analisar a forma do perfil vertical de vento médio simulado com e sem esquema de assimilação no modelo WRF-ARW. O perfil vertical de vento médio até aos 250m de altura é um importante elemento para análise de estudos de recurso, desempenho e avaliação de aerogeradores eólicos *offshore*, podendo mesmo condicionar o tipo de classe de turbina pretendida para ser implementada num parque eólico *offshore*.

Com base nos resultados simulados com e sem esquema de assimilação, foram elaborados perfis médios da velocidade do vento, desde a altura de 10m até, aproximadamente 220m de altitude, para o local do mastro das Berlengas. Os resultados simulados são comparados com os dados de vento observados do mastro para as alturas disponíveis – 10 e 20m. Na figura 12, ilustram-se, os perfis médios do vento oriundos das simulações do modelo WRF-ARW para o mês completo de Janeiro de 2008.

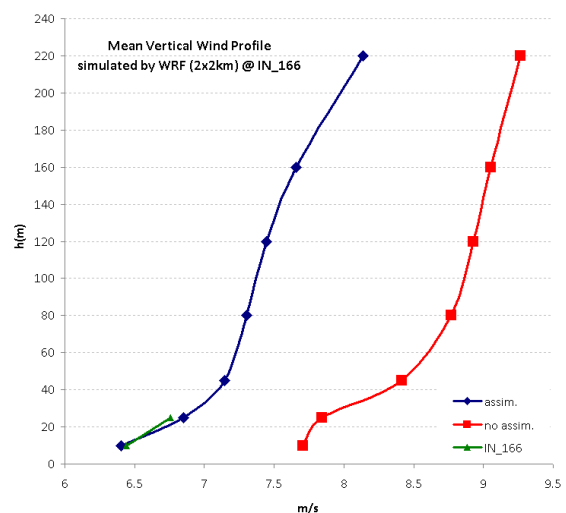


Fig. 12 – Perfis verticais médios de vento simulados com o WRF-ARW. Verde – valores médios de vento observados no mastro anemométrico das Berlengas; Azul – perfil de vento médio simulado com esquema de assimilação; Vermelho – perfil de vento médio simulado sem esquema de assimilação.

Comparando os perfis médios verticais de vento obtidos com e sem esquema de assimilação é possível observar a existência de desvios médios na ordem dos 2 m/s, ao longo de todas as alturas. O esquema de assimilação integrado no WRF-ARW corrigiu para as alturas de observação, 10 e 20m, os valores simulados do vento médio e apresentou boa concordância com os dados de vento médio observados. Da figura 12, verifica-se ainda que o esquema de assimilação de relaxação newtoniana utilizado corrigiu os desvios do perfil vertical do vento médio, e conseqüentemente, teve “capacidade” para reduzir as sobre-estimativas de

vento simuladas com o modelo WRF-ARW. O resultado obtido tem particular interesse para o sector da eólica *offshore* porque a influência dos ciclos de brisa no campo do vento, domina a climatologia de vento nas regiões costeiras, em particular na zona oeste da costa litoral Portuguesa.

Todavia, a elaboração da análise do perfil de vento médio simulado carece de validação nas alturas superiores a 20m, para as quais, o LNEG não dispõe de dados observados, pelo que, os resultados simulados aqui obtidos, tem de ser encarados sob a forma provisória.

## Conclusões

A assimilação de dados de vento observados em modelos atmosféricos de mesoscala merece um lugar de destaque quando se pretende obter melhorias na qualidade dos resultados simulados. Através do uso de um esquema de assimilação por técnicas de relaxamento newtoniana no modelo ARW-WRF verificou-se haver melhorias significativas nos resultados simulados para o campo do vento - intensidade e direcção. Assim, e com vista à avaliação prévia do recurso eólico *offshore*, considera-se, em primeira aproximação, que a assimilação de dados de vento conduz a benefícios no que diz respeito à minimização das sobre-estimativas de vento obtidas por aplicação de modelos numéricos.

Foi também possível constatar o benefício da assimilação de dados de vento na correcção do perfil vertical de velocidades médio obtido para o local das Berlengas, onde está sediado um mastro anemométrico.

Este trabalho carece ainda de uma validação dos resultados, em particular para o perfil vertical de velocidades para as alturas em que o LNEG não dispõe de dados de vento observados. Todavia, este laboratório do estado Português já dispõe de uma estação LIDAR nas Berlengas, bastante próxima do local do mastro anemométrico, encontrando-se já a monitorizar o campo 3D do vento para 5 distintas alturas, desde os 20m até aos 200m.

## Trabalho Futuro

Pretender-se-á continuar com a metodologia de assimilação no modelo WRF-ARW para assimilar mais dados de vento à superfície, em particular, os observados por satélites SAR. Presentemente, o LNEG dispõe de uma ampla base de dados de imagens de satélite SAR cujo processamento se encontra em curso. Através dos dados de vento

monitorizados pela estação LIDAR do LNEG, poder-se-á validar o perfil vertical do vento médio, em toda a sua extensão vertical para a região em redor da ilha das Berlengas.

## Referências

- [1] T. Simões, P. Costa and A. Estanqueiro, *A Methodology for the Identification of the Sustainable Wind Potential. The Portuguese Case Study*, 978-1-4244-3811-2/09/\$25.00 © 2009 IEEE (<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04839951>)
- [2] P. Costa, T. Simões e A. Estanqueiro, *Assessment of the Sustainable Offshore Wind Potential in Portugal*, European Wind Energy Conference (EWEC), Atenas, 2006.
- [3] T. Simões, P. Costa e A. Estanqueiro, *Wind Resource Assessment in Berlengas Island*, European Offshore Wind (EOW), Berlim, 2007.
- [4] K. L. Perry *et. al.*, *SeaWinds on QuikSCAT level 3 Daily, Gridded Ocean Wind Vectors*, JPL Seawinds Project – Guide Document D-20335, versão 1.1, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Outubro, 1995.
- [5] D. R. Stauffer and N.L. Seaman, *Use of Four Dimensional Data Assimilation in a Limited-Area Model. Part I: Experiments with Synoptic Scale Data*, Monthly Weather Review, 118, pp. 1250-1277, 1990.
- [6] W.C. Skamarock, J.B. Klemp, *A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications*, J. Comp. Phys. 227 (2008), 3465-3485.
- [7] E. Kalnay *et. al.*, *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*, Bull. Amer. Meteor. Soc. 77, pp. 437-471.