

PREVISÃO DE ONDAS EXTREMAS ALÉM DO QUINTO DIA UTILIZANDO ENSEMBLES

Ricardo Martins Campos

atmosmarine

www.atmosmarine.com

Introdução

- Lorenz (1963a,b, 1965, 1968): *“even with perfect models and perfect observations, the chaotic nature of the atmosphere would impose a finite limit of about two weeks to the predictability of the weather”*;
- Introduziu acidentalmente uma perturbação no modelo atmosférico. Com o tempo essa pequena diferença se tornou muito maior (Teoria do Caos);
- Qualidade do modelo diminuiu com o tempo de previsão. Epstein (1969) e Leith (1974) sugeriram o uso de previsões probabilísticas ao invés da previsão determinística;
- "Ensemble Forecasting" diversas previsões são feitas com o mesmo modelo numérico, introduzindo perturbações aleatórias às condições iniciais das rodadas;
- Desenvolvimento das maneiras mais eficazes de perturbar as condições iniciais do modelo: *“ensemble forecasting”* implementados em Dezembro de 1992 no NCEP e ECMWF (Tracton and Kalnay, 1993, Toth and Kalnay, 1993, Palmer et al., 1993, Molteni et al., 1996, Toth and Kalnay, 1997);

Dois objetivos principais:

- (1) Média dos membros mais acurada que os membros individuais e que o modelo determinístico após alguns dias de previsão. *“components of the forecast that are most uncertain tend to be averaged out”* (Kalnay, 2003)
- (2) Estimar as incertezas na previsão através do espalhamento dos membros.

Desafios: custo computacional/resolução. GWES NOAA: 7 nós com 16 processadores

Precisão e limite de previsibilidade

- Qualidade da média dos ensembles supera o modelo determinístico por volta do quinto dia de previsão. Nesse exemplo o ensemble estende em um dia o comprimento da previsão com AC acima de 60%, de 7 para 8 dias;

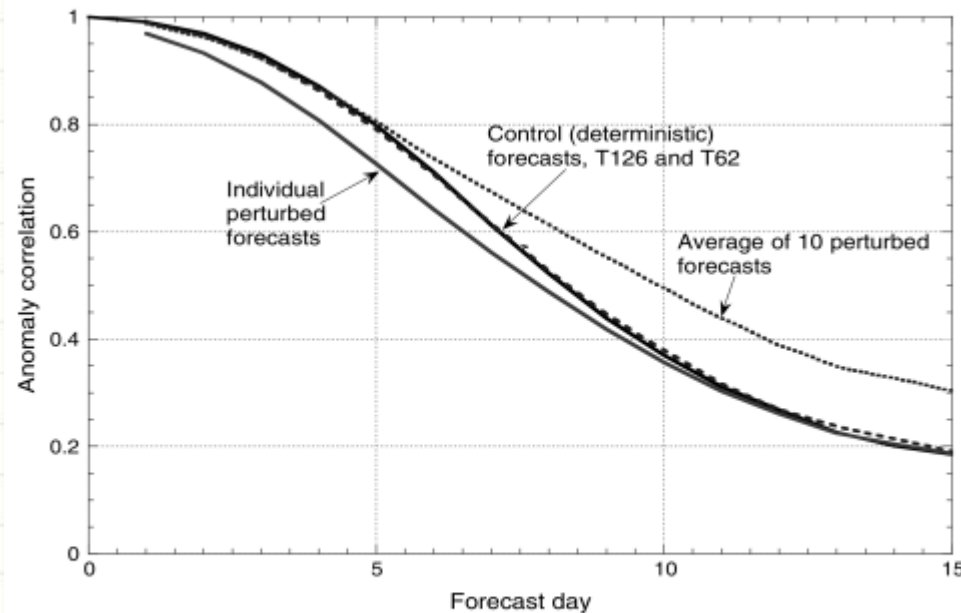


Figure 1.7.1: Anomaly correlation of the ensembles during the winter of 1997–8 (controls, T_{126} and T_{62} , and ten perturbed ensemble forecasts). (Data courtesy Jae Schemm, of NCEP.)

Fornece ferramentas para aumentar o limite de previsibilidade de Lorenz para além de duas semanas.

NCEP Global Wave Ensemble Forecast System

- Implementado em 2005 (Chen, 2006) e inicialmente validado por Cao et al. (2007);
- Quatro ciclos por dia (10 dias de previsão);
- Resolução espacial de 0.5 grau e temporal de 3 horas;
- 20 membros + controle;
- Forçado com ventos do GEFS, utilizando o modelo de ondas WAVEWATCH III (Tolman, 2016);
- Alves et al. (2013) descreve a implementação anterior (válida até 12/2016) – Erros do ensemble mais baixos que o determinístico principalmente a partir do quinto do dia de previsão (melhoria depende da variável e da métrica);
- Diversos outros centros de previsão utilizam ensembles atualmente. Três centros fornecem previsões globais de acesso público com ensembles:

Environment Canada (CMC- Canadian Meteorological Centre)

https://weather.gc.ca/ensemble/index_e.html

http://nomads.ncep.noaa.gov/txt_descriptions/CMCENS_doc.shtml

US Navy - Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC)

<http://www.usno.navy.mil/FNMOC>

http://nomads.ncep.noaa.gov/txt_descriptions/FENS_doc.shtml

Environmental Modeling Center/NCEP/NOAA – Global Ensemble Forecast System / Global Wave Ensemble System (GEFS/GWES)

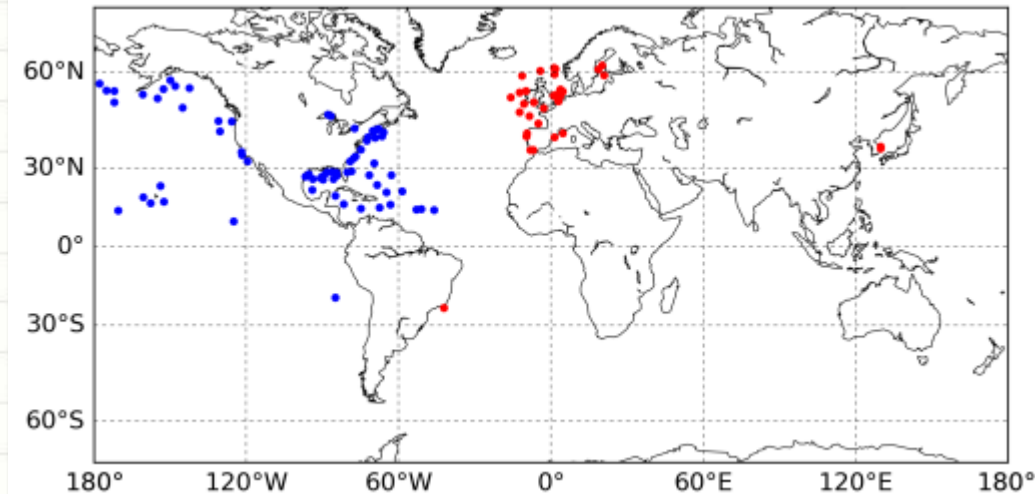
<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/ensemble/>

Avaliação do GWES contra medições

Dados de altímetro

Dados de bóias (115):

- NDBC
- CERSAT/IFREMER (Marine Environment Monitoring Service, MyOcean, WMO)

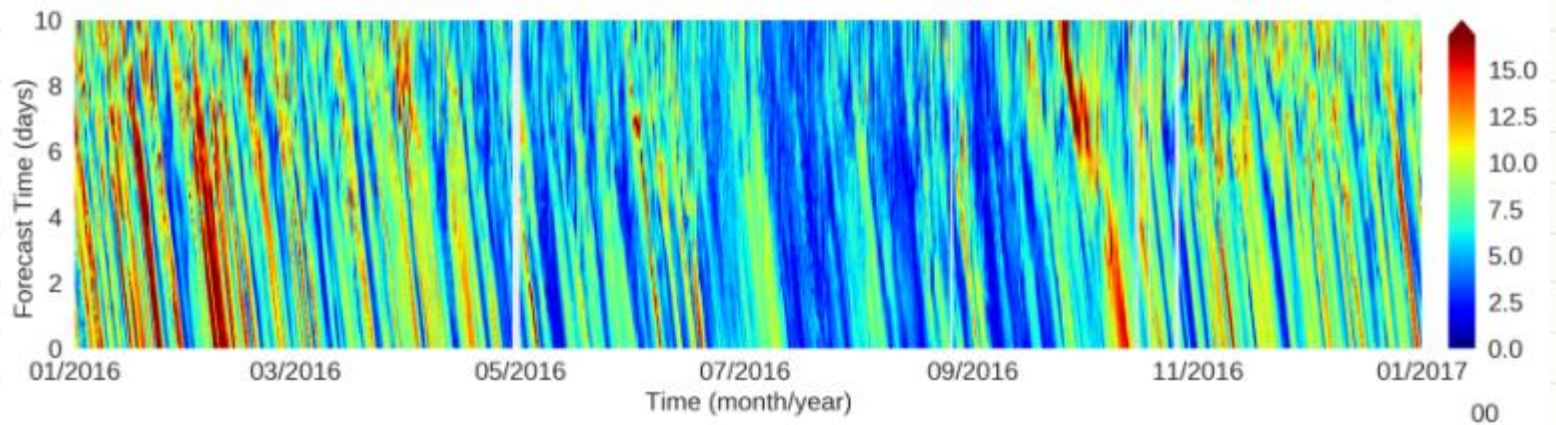
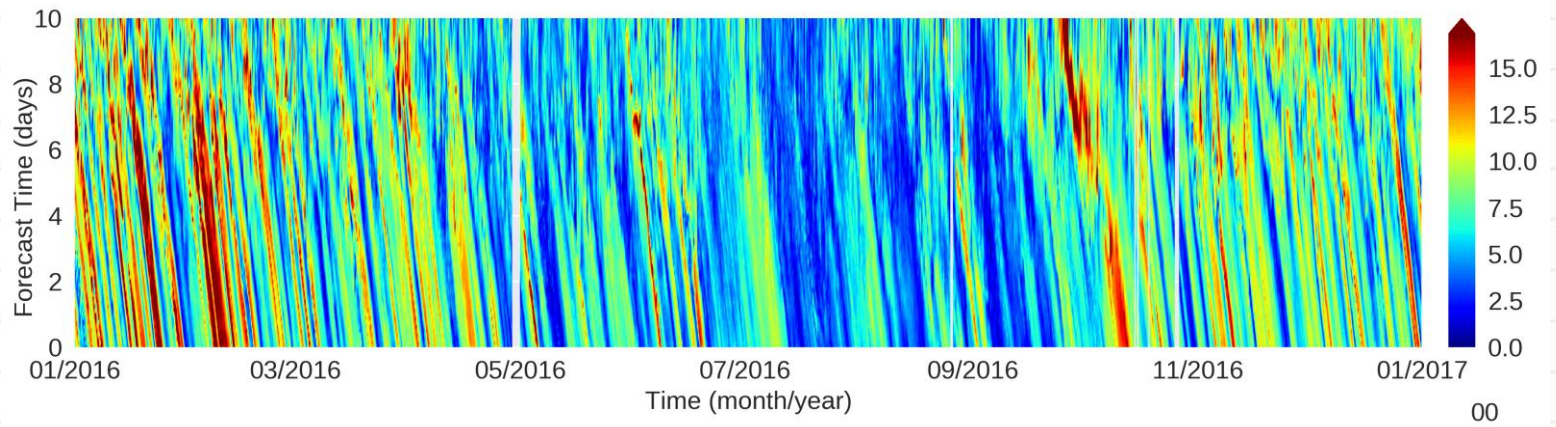
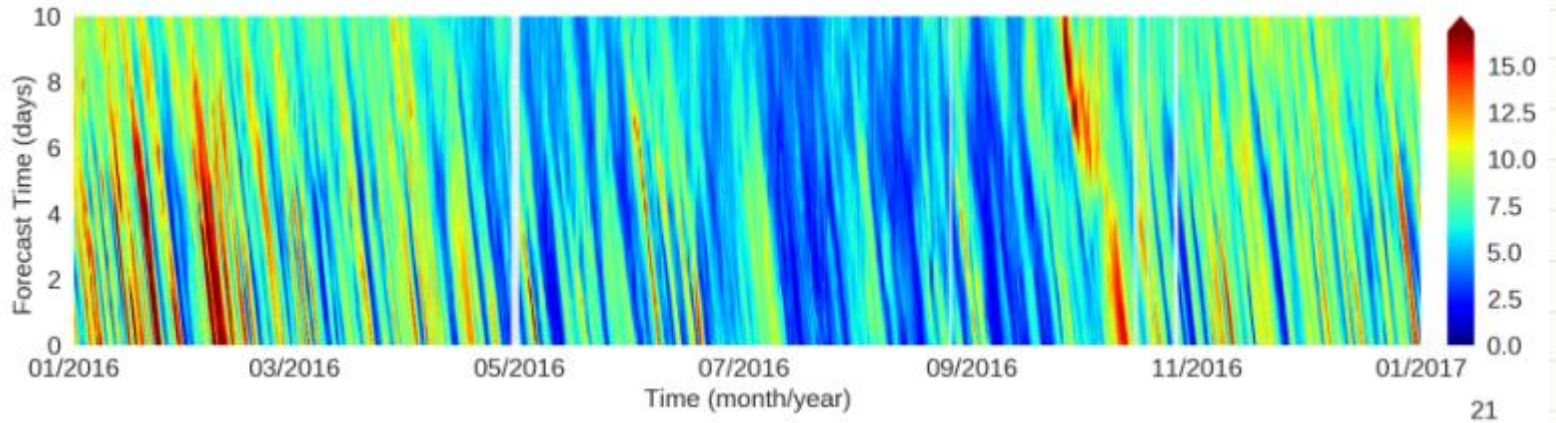


Métricas do erro:

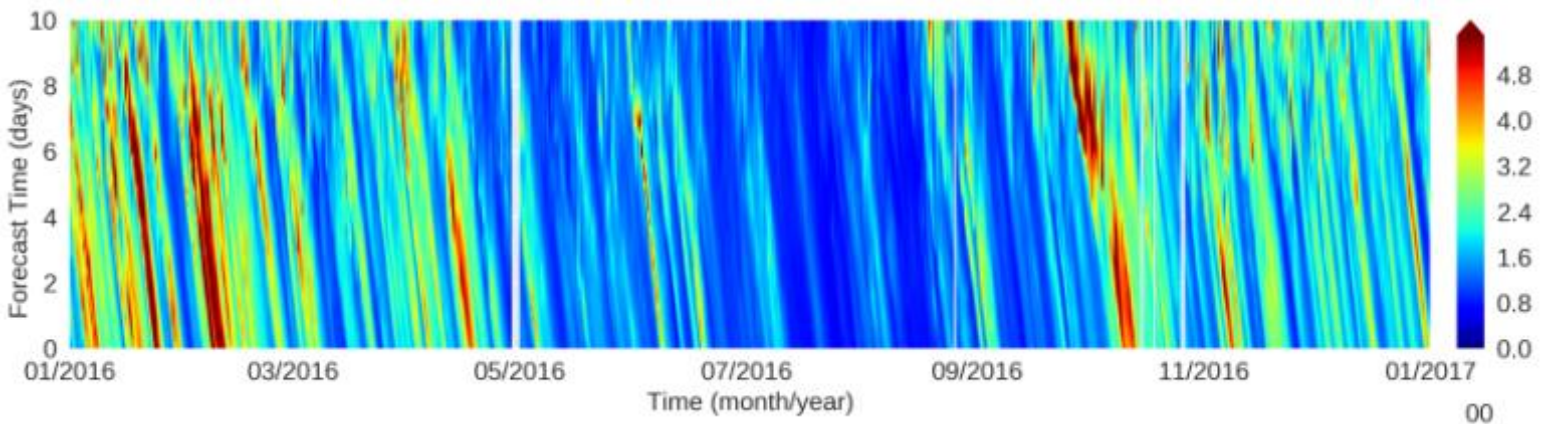
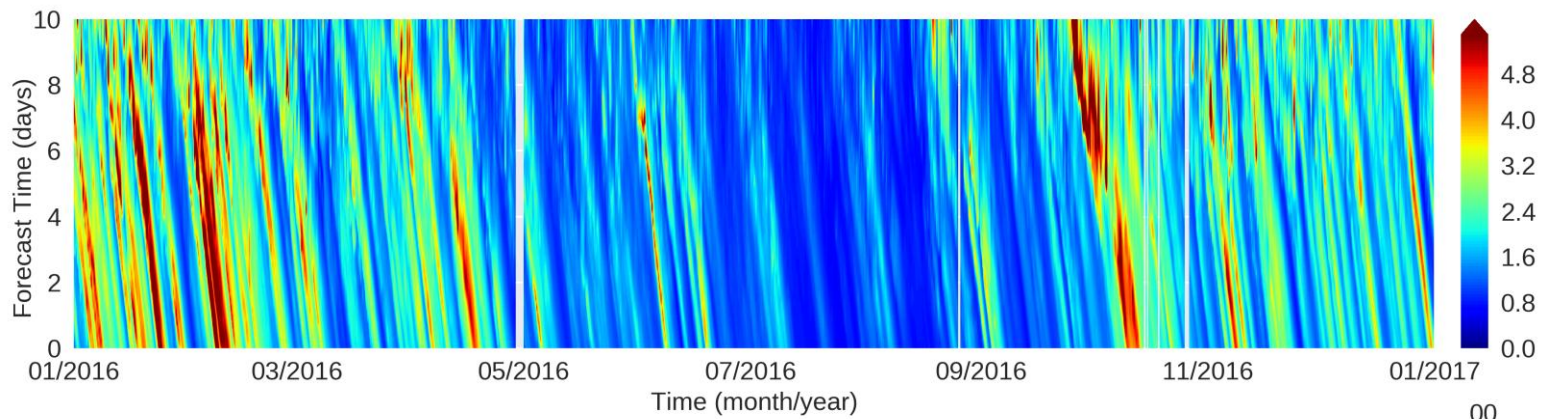
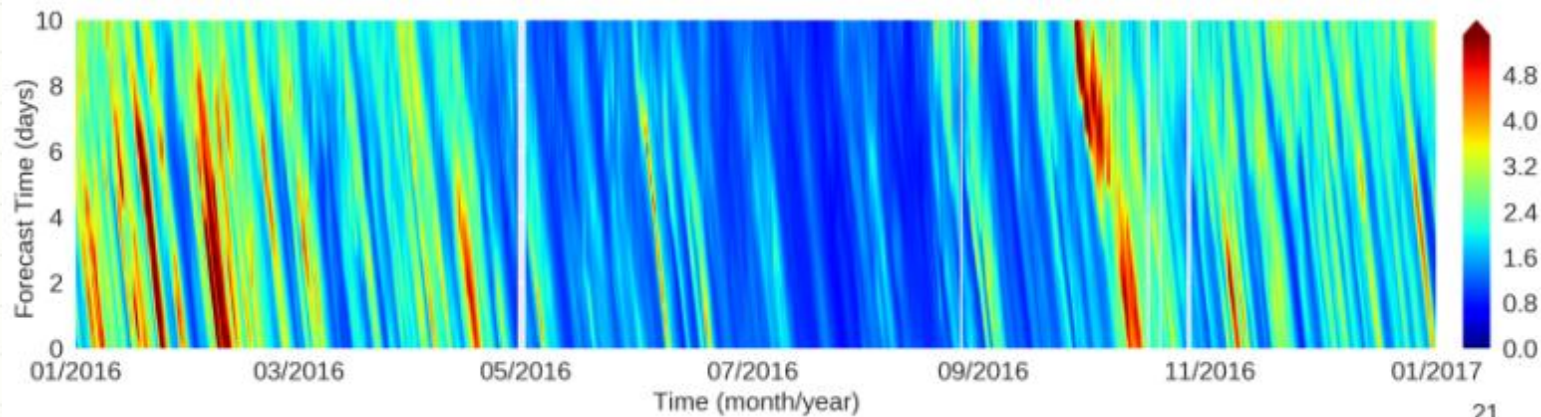
$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)}{n} \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)^2}{n}} \quad \text{SI} = \frac{\text{RMSE}}{\bar{B}}$$

$$\text{MPE} = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)}{\bar{B}} \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})(M_i - \bar{M})}{(\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2 \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2)^{1/2}}$$

Vento a 10 metros (U10m)

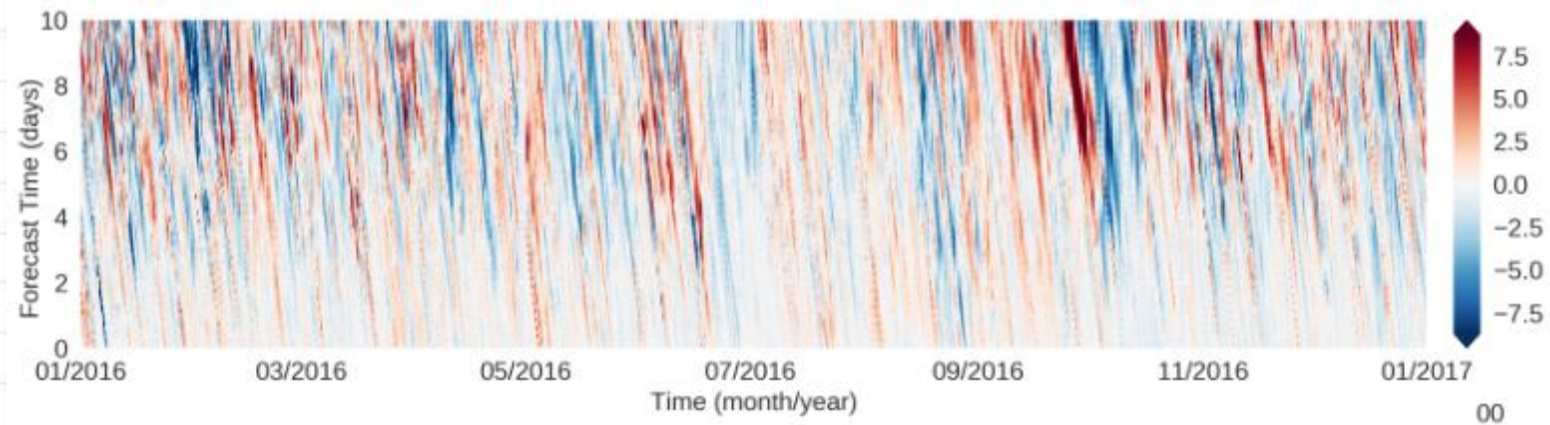
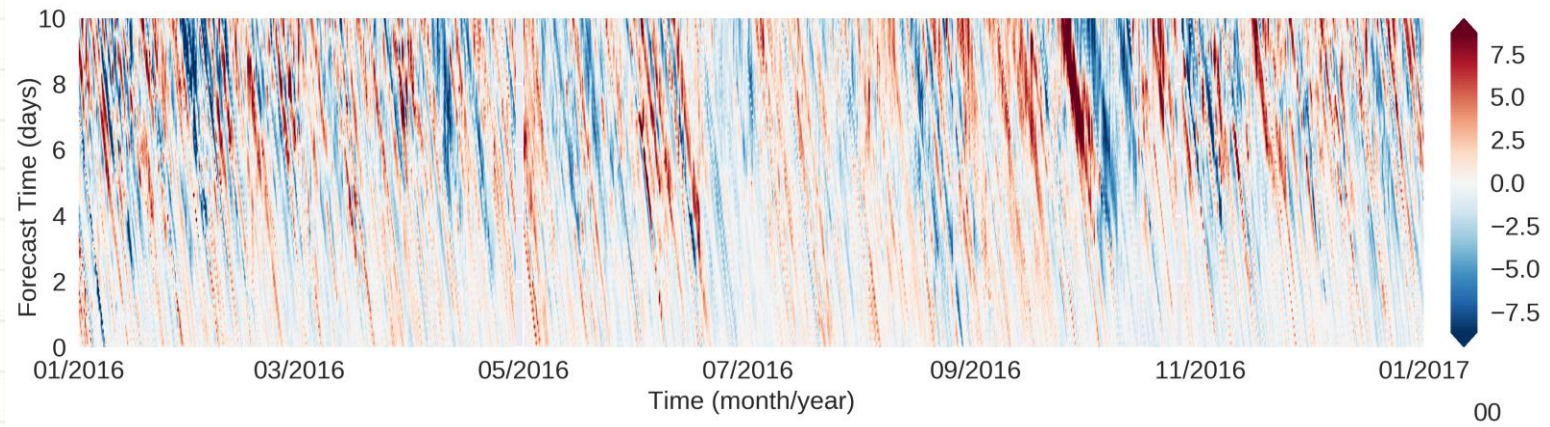
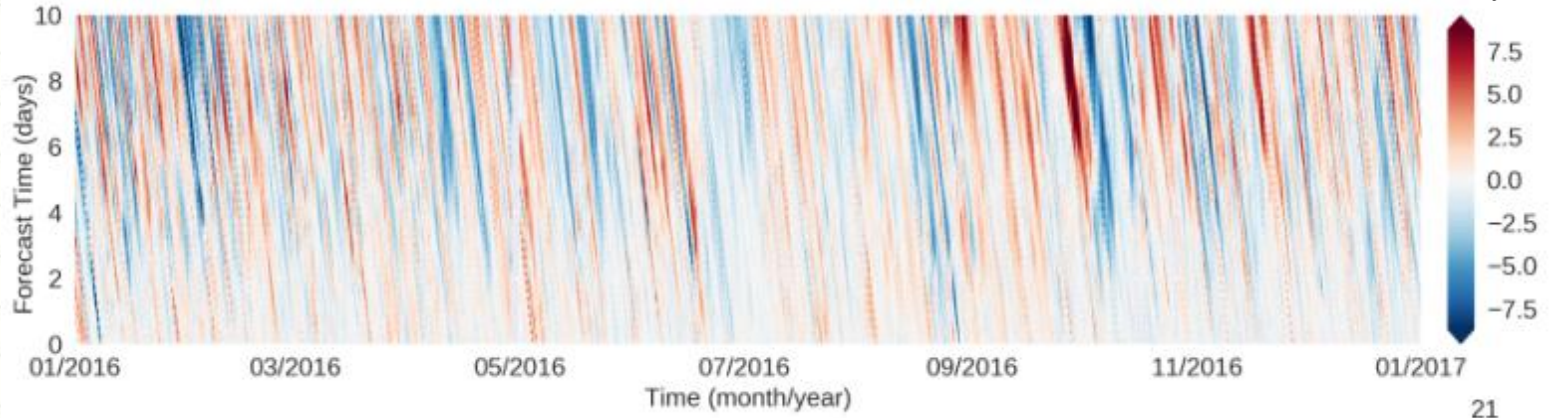


Altura Significativa de Onda (Hs)



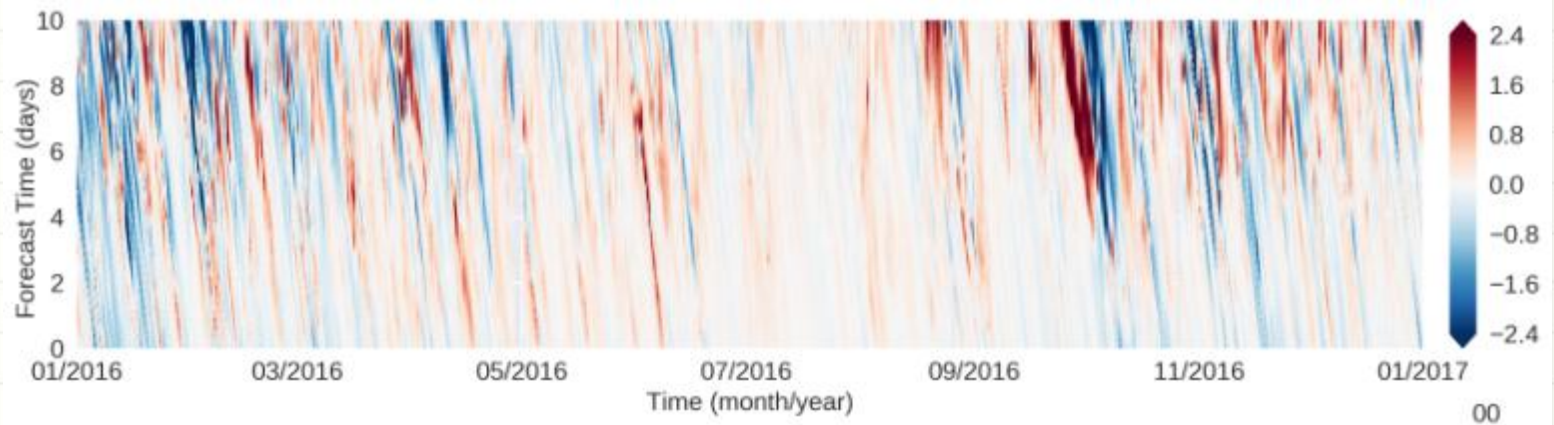
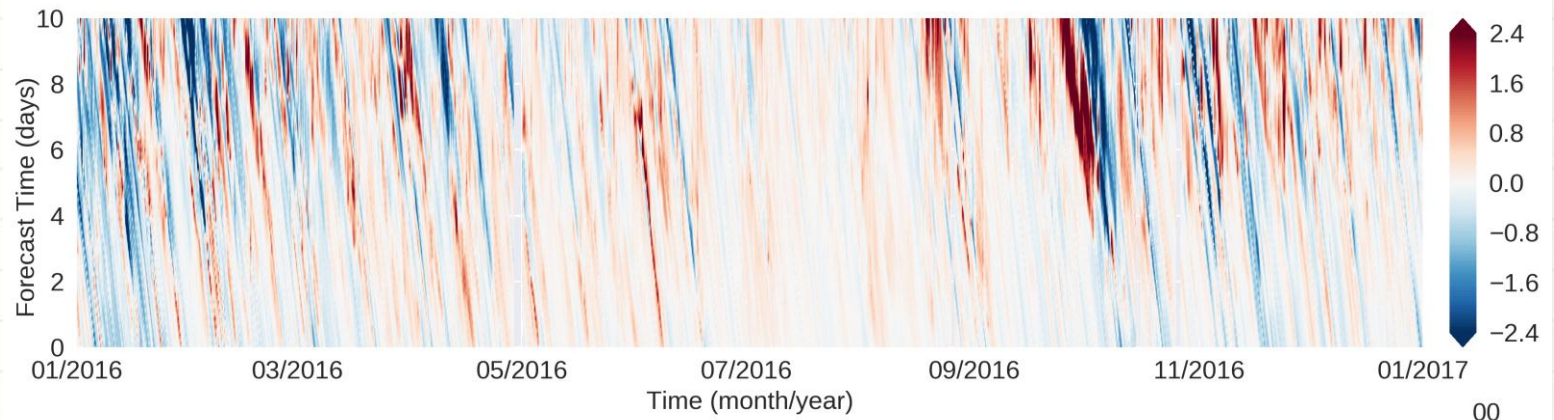
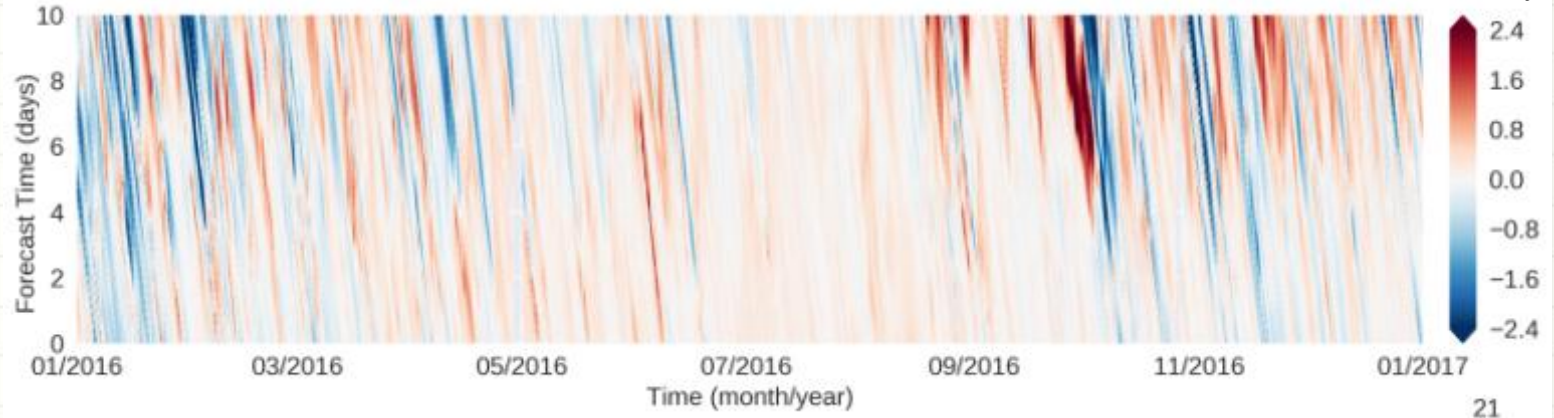
Bias U10m

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)}{n}$$



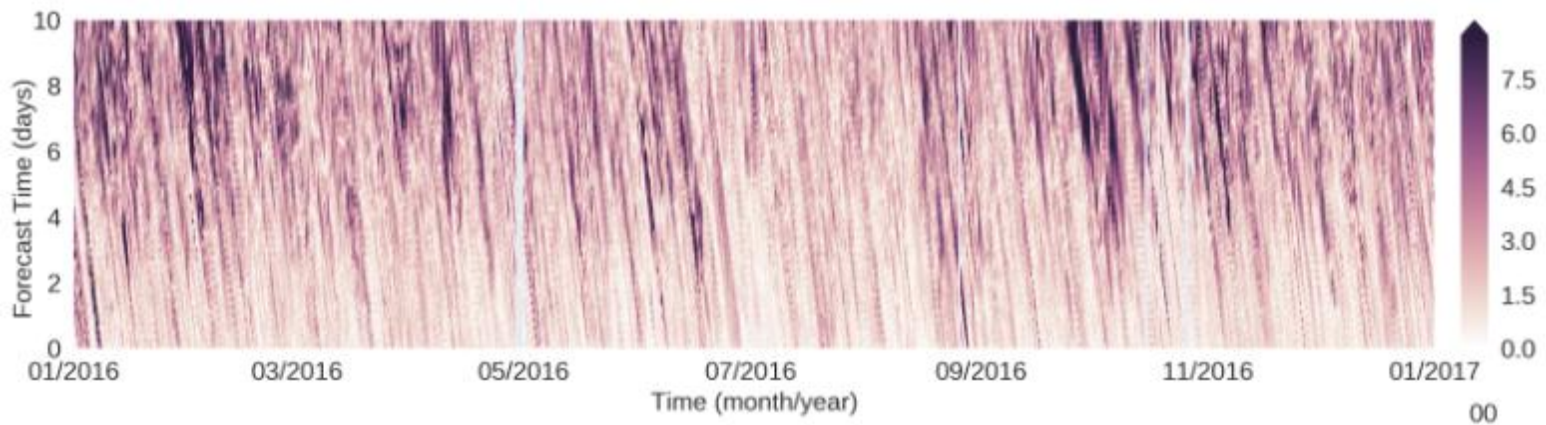
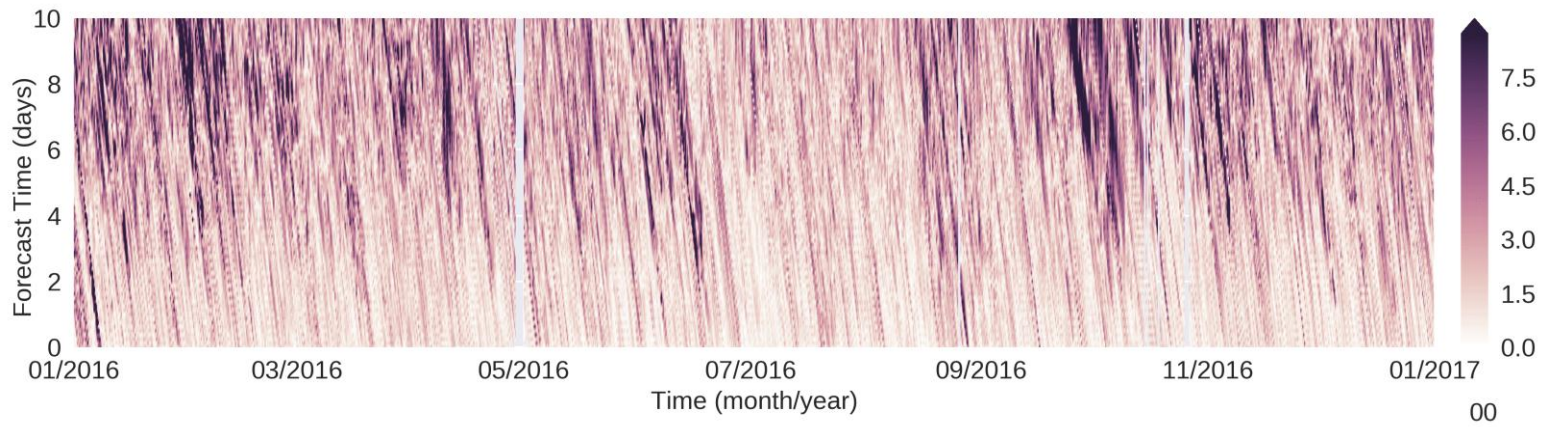
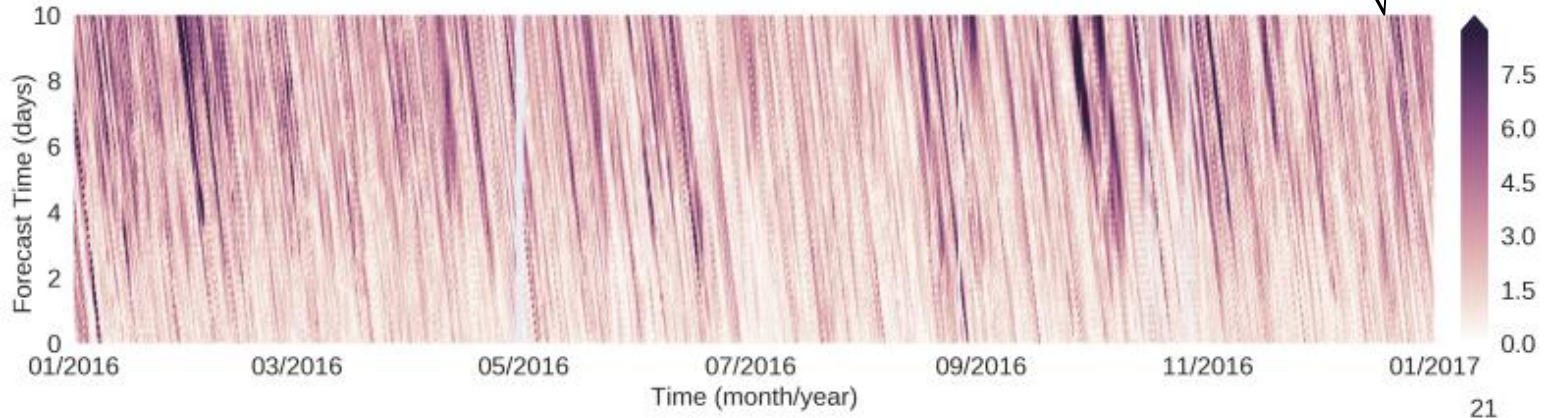
Bias Hs

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)}{n}$$



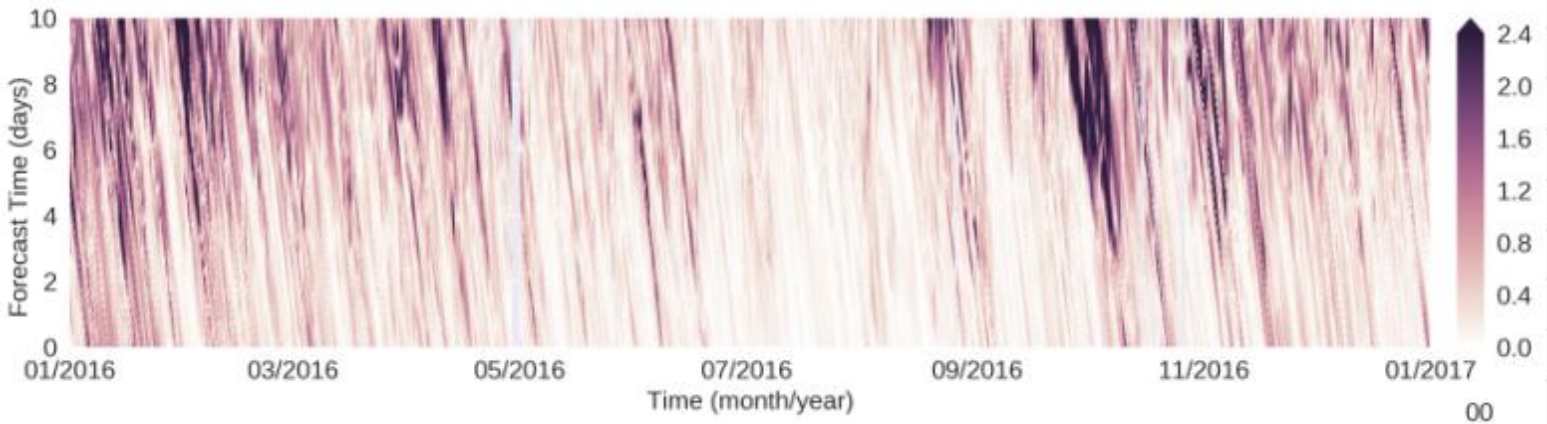
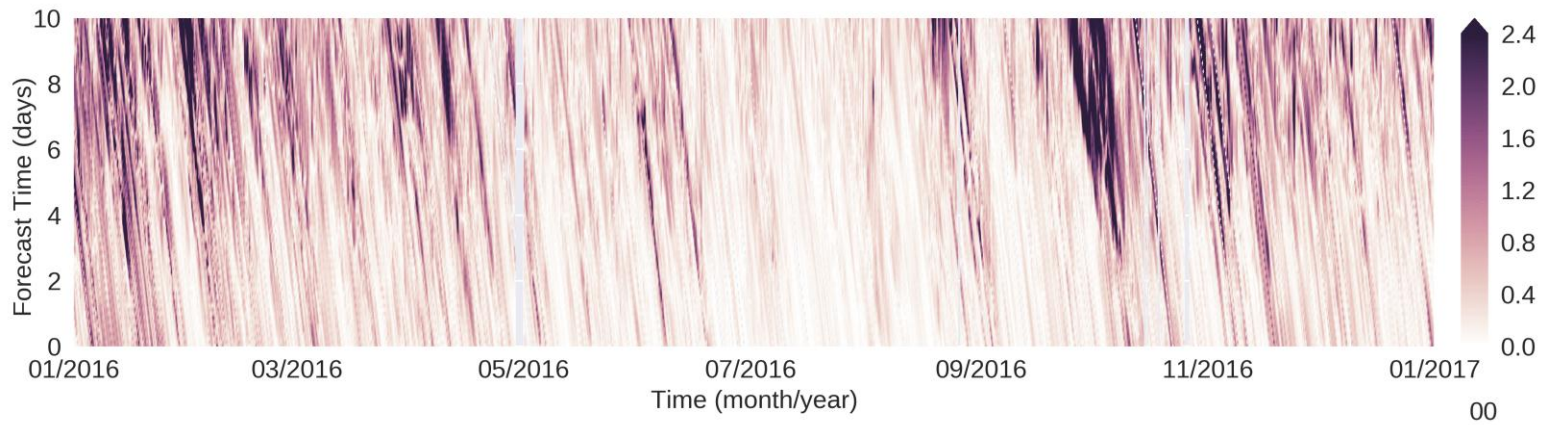
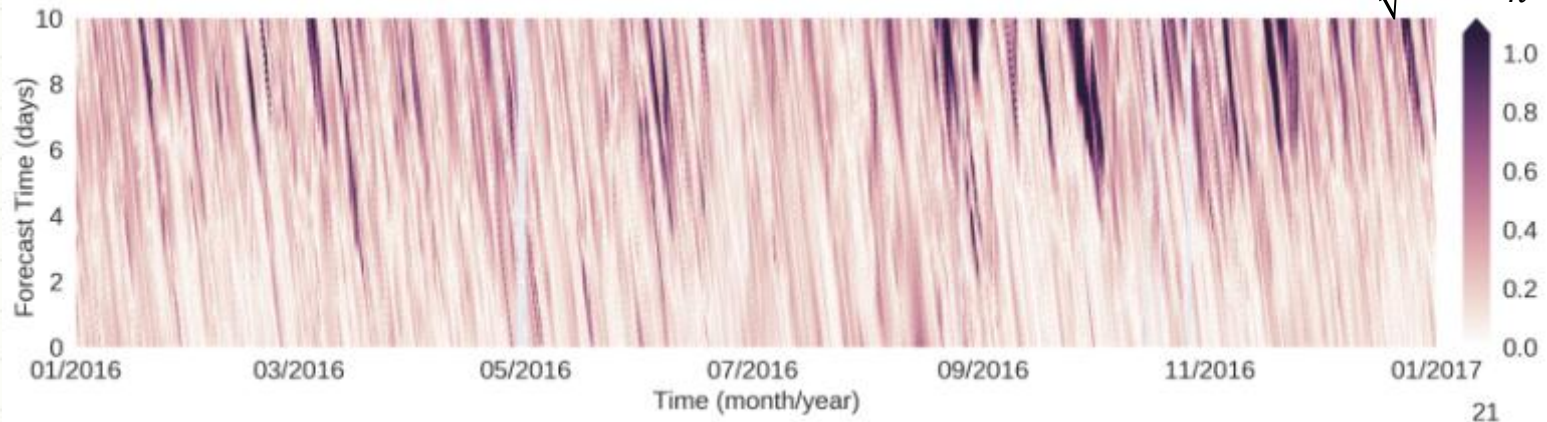
RMSE U10m

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)^2}{n}}$$



RMSE Hs

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)^2}{n}}$$



Erro em função do tempo de previsão

Azul: Controle (Determinístico)

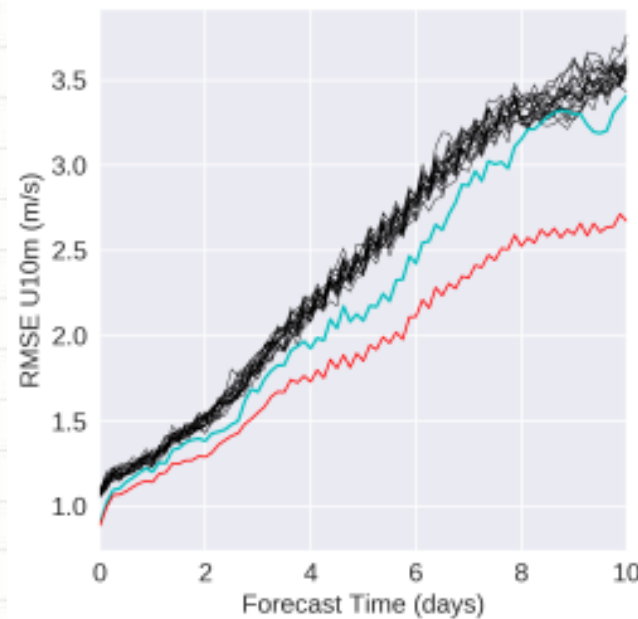
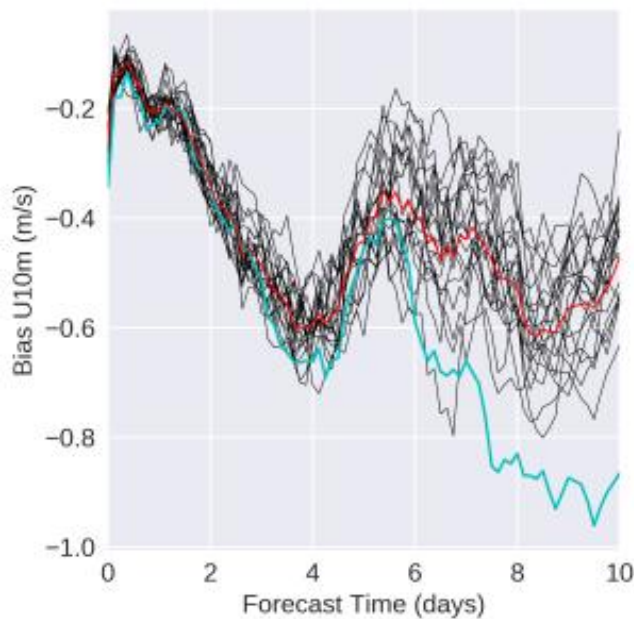
Vermelho: Ensemble Mean

Preto: Ensembles

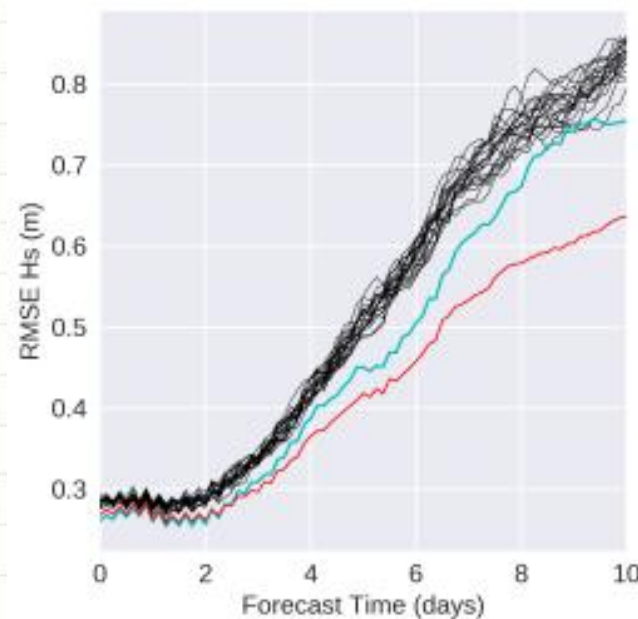
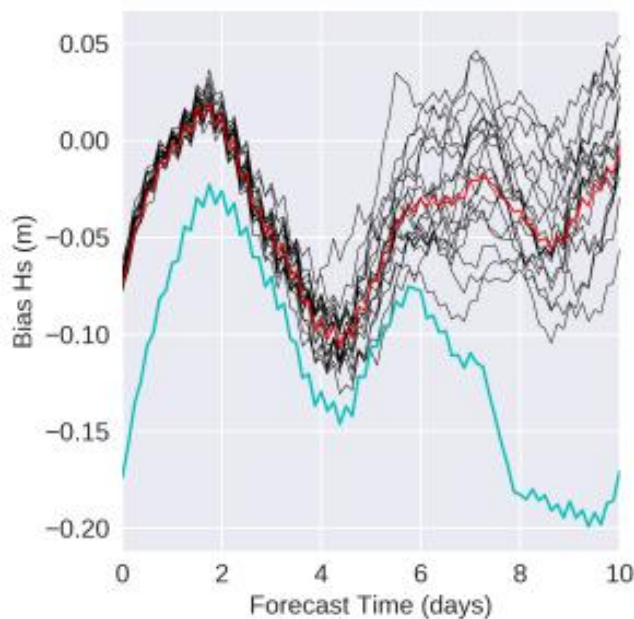
$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - B_i)^2}{n}}$$

U10m



Hs

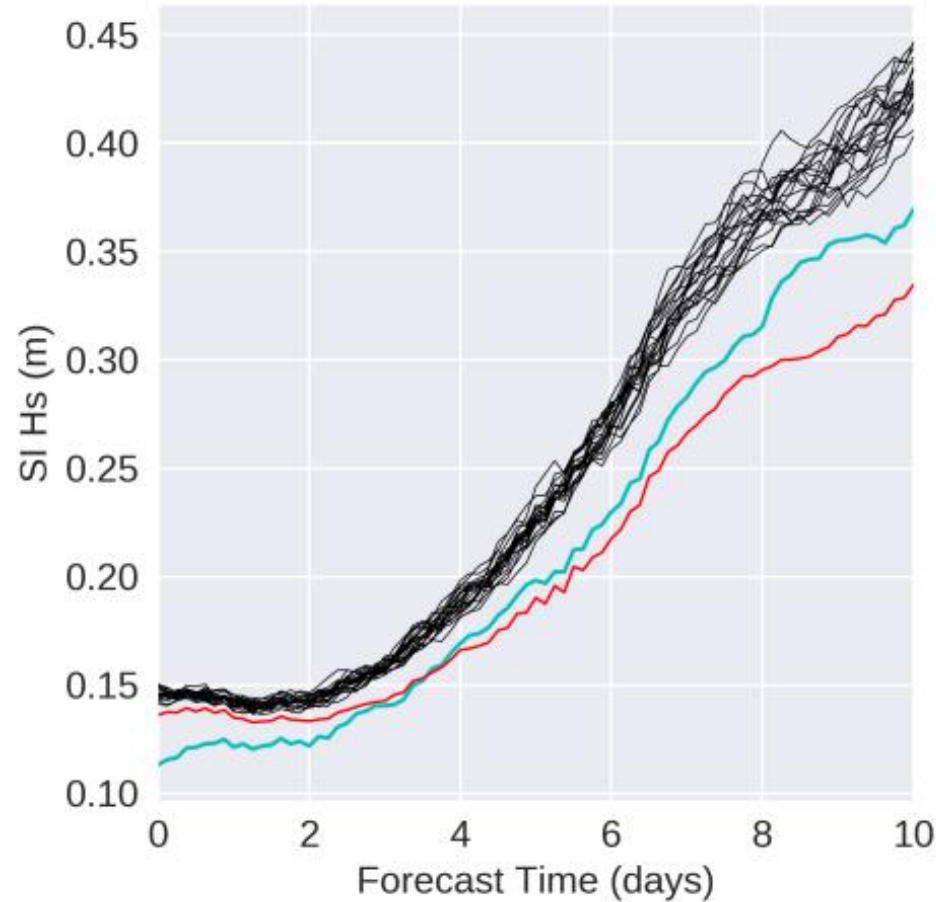


Erro em função do tempo de previsão

Azul: Controle (Determinístico)
Vermelho: Ensemble Mean
Preto: Ensembles

Índice de Espalhamento (Scatter Index):

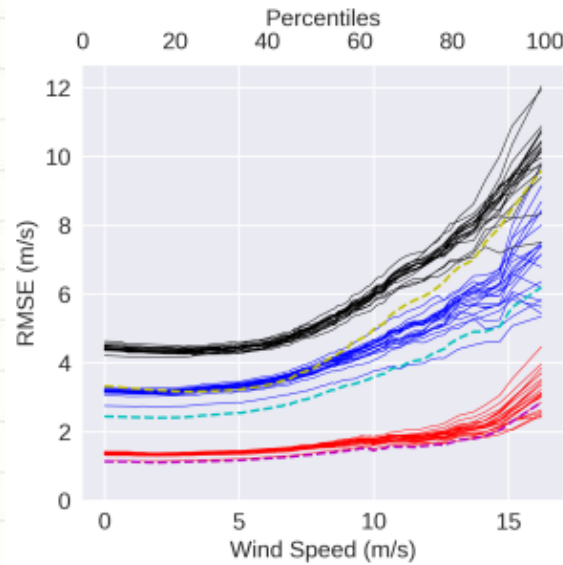
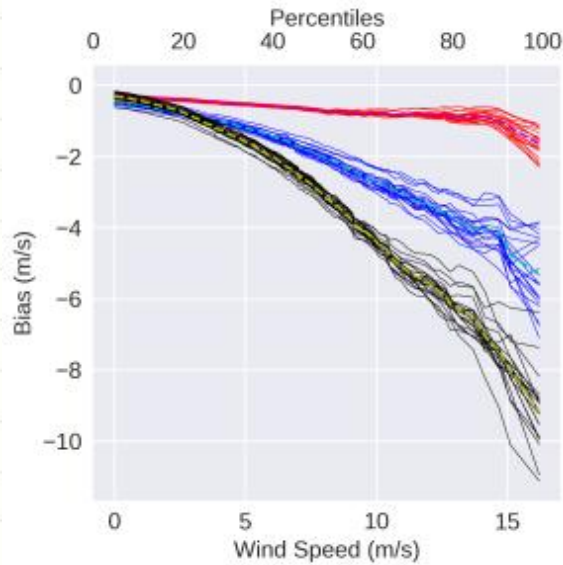
$$SI = \frac{RMSE}{\bar{B}}$$



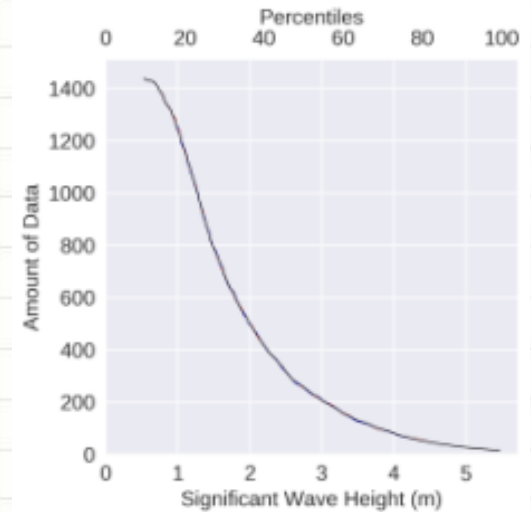
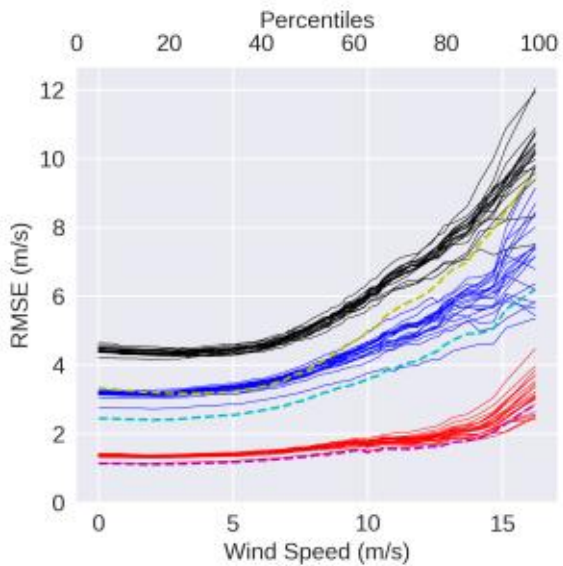
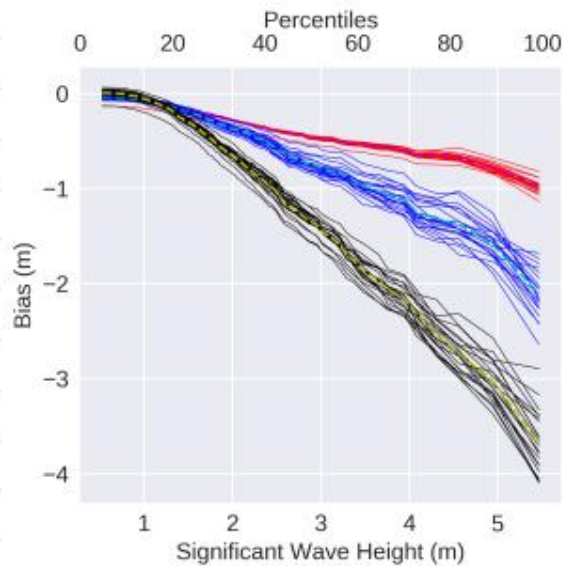
- Membros individuais com piores resultados que o determinístico e a média;
- Determinístico com melhores resultados que a média dos ensembles até o terceiro dia;
- Média dos ensembles significativamente melhor que o determinístico a partir do sétimo dia.

Erro em função dos percentis (0 a 99%)

Array de valores mínimos para re-amostrar o conjunto de dados e então calcular as métricas.

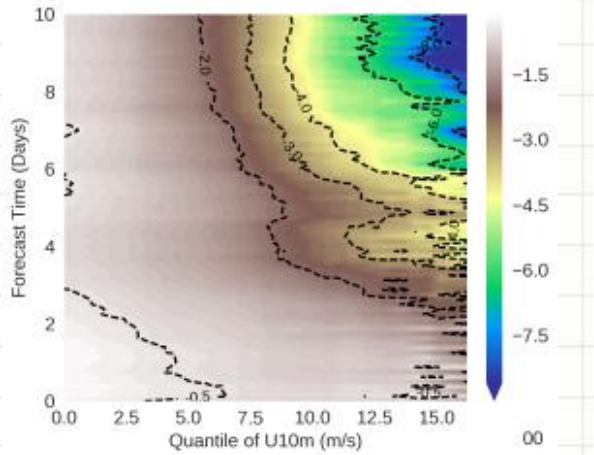


Vermelho: *Nowcast/Análise*;
Azul: *Previsão para o quinto dia*;
Preto: *Previsão para o décimo dia*.

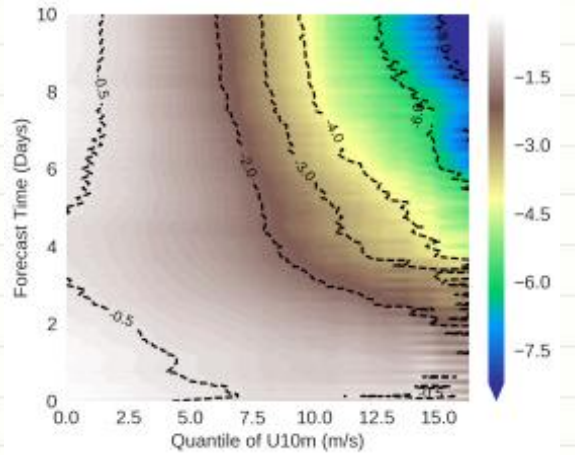


Erro (bias) em função do tempo de previsão (eixo Y) e dos percentis/quantis (eixo X)

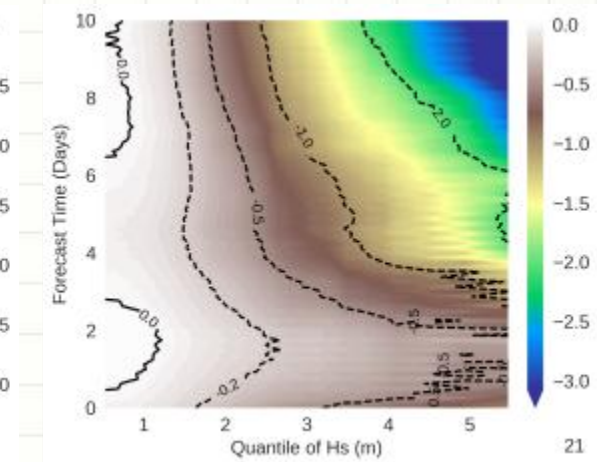
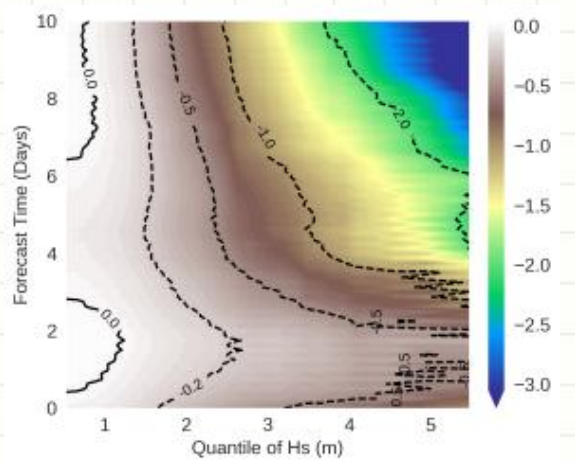
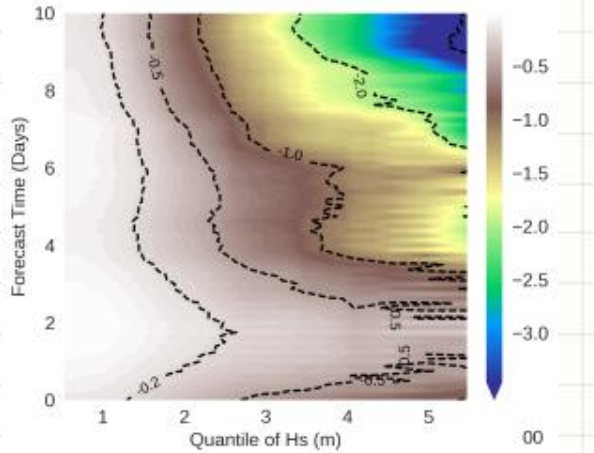
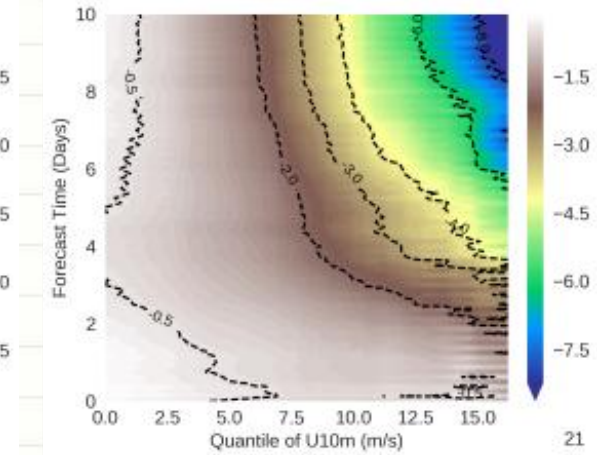
Controle(Determinístico)



Ensembles

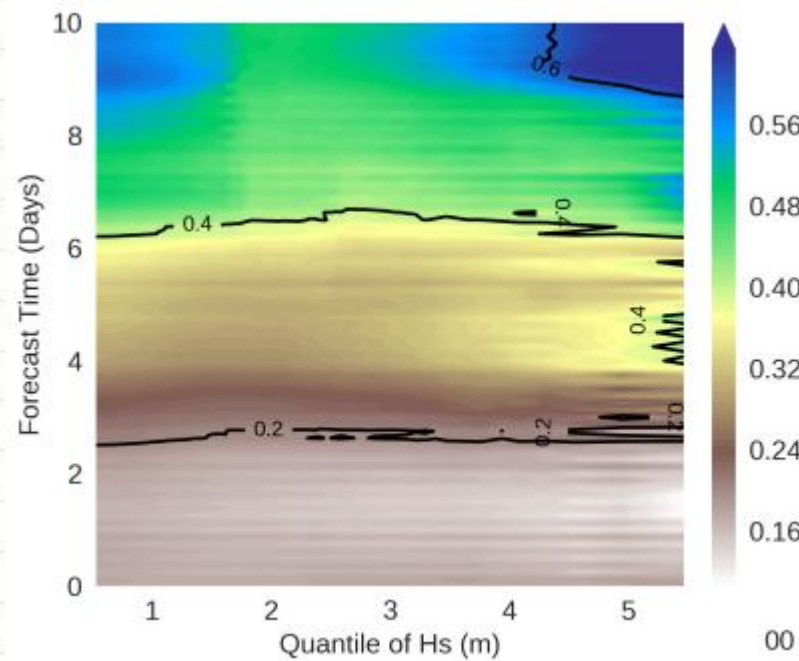


Ensemble Mean

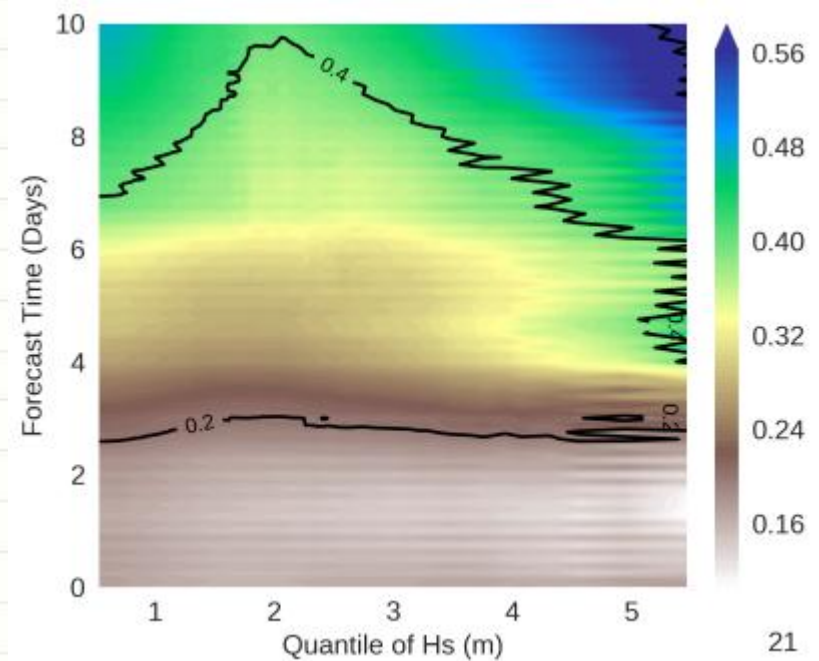


Melhoria do Índice de Espalhamento (*Scatter Index*) ao utilizar a média aritmética dos ensembles, em comparação com o determinístico.

Controle(Determinístico)



Ensemble Mean

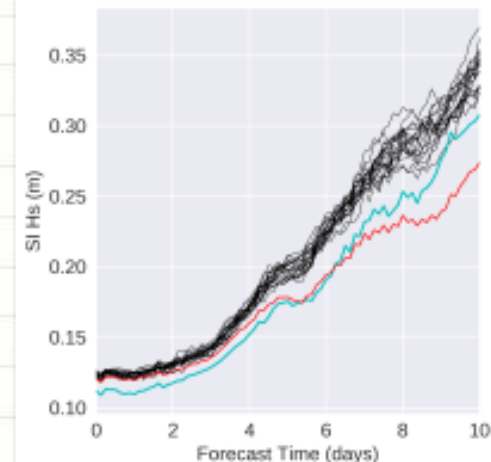


$$SI = \frac{RMSE}{\bar{B}}$$

Conclusões

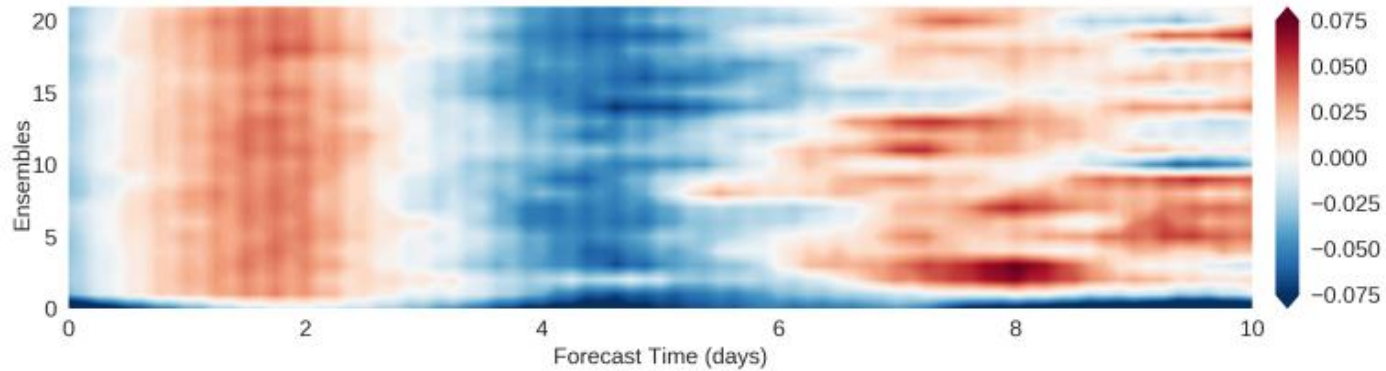
- Ao introduzir perturbações (aleatórias) no modelo determinístico há uma piora nos erros de cada membro (avaliando individualmente);
- Entretanto, as estatísticas integradas da média dos ensembles (erro da média e não a média do erro) melhoram significativamente a previsão, tanto em termos do tempo de previsão (3 dias em diante) quanto em função dos percentis (eventos mais severos);
- Essa redução do erro é vista em todas as bóias analisadas, mas ocorre de maneira diferente em cada região (dependência espacial);
- Tal melhoria não é evidente no Bias, mas sim no RMSE e métricas derivadas deste (SI).

Bóia 46028 (Pacífico)

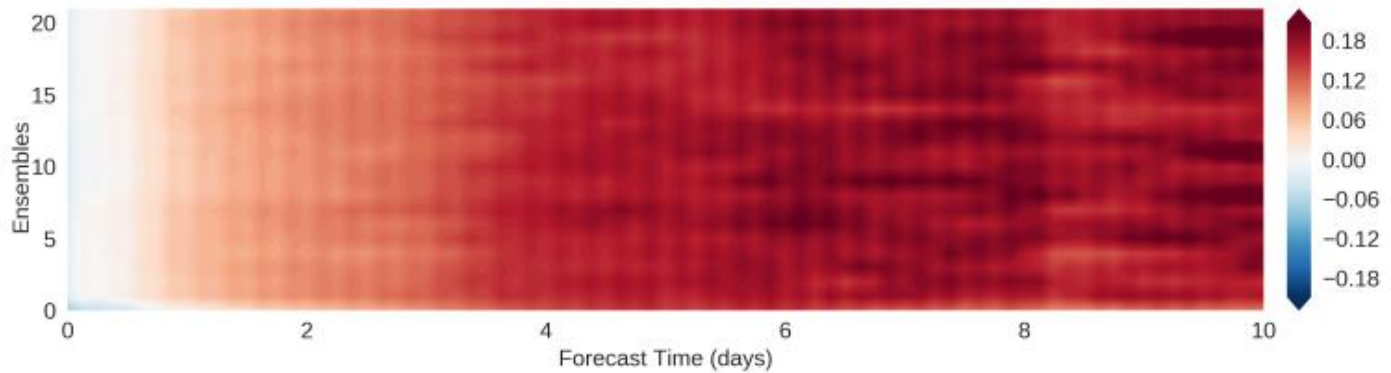


Média Aritmética dos ensembles e *Bias Correction*

Bias Hs 41048



Bias Hs 46028



$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$

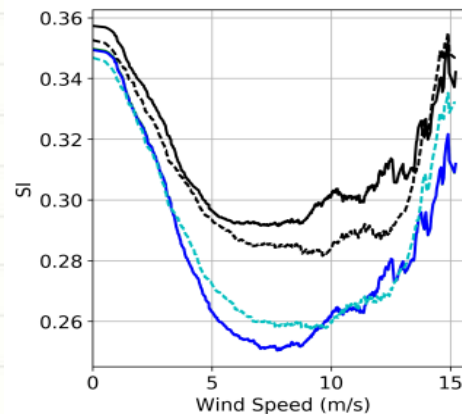
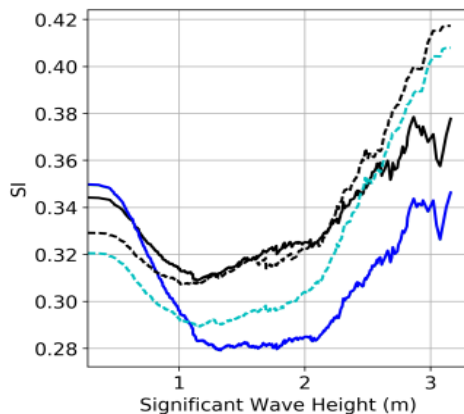
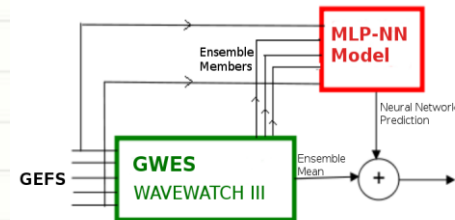


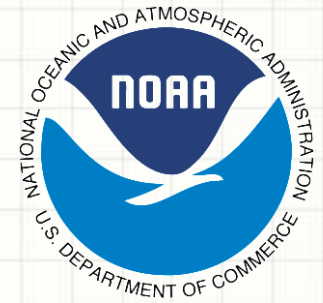
$$NN(p_1, p_2, \dots, p_n; a, b) = y_q = a_{q0} + \sum_{j=1}^k a_{qj} \cdot \tanh \left(b_{j0} + \sum_{i=1}^n b_{ji} \cdot p_i \right); \quad q = 1, 2, \dots, m$$

$$NEM = NN(p_1, p_2, \dots, p_n)$$



$$NEM = EM + NN_r(p_1, p_2, \dots, p_n)$$





Obrigado

ricardo.campos@noaa.gov
ricardo@atmosmarine.com



www.atmosmarine.com