



# **Validação de correntes marítimas de superfície medidas por um sistema de radares de alta frequência na zona sul da Península Ibérica**

**R.P. Vicente e A.S. Martinho**

Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, [pires.vicente@hidrografico.pt](mailto:pires.vicente@hidrografico.pt)

- **Motivação**
- **Objetivos**
- **Dados e metodologia**
- **Resultados**
  - Radiais
  - Trajetoórias
- **Considerações finais**

- Detecção remota aplicada ao oceano
- Necessidade de validar os dados de corrente HF

HF – *High Frequency*

## - Validação do sistema HF do TRADE

(recorrendo a trajetórias de boias derivantes)

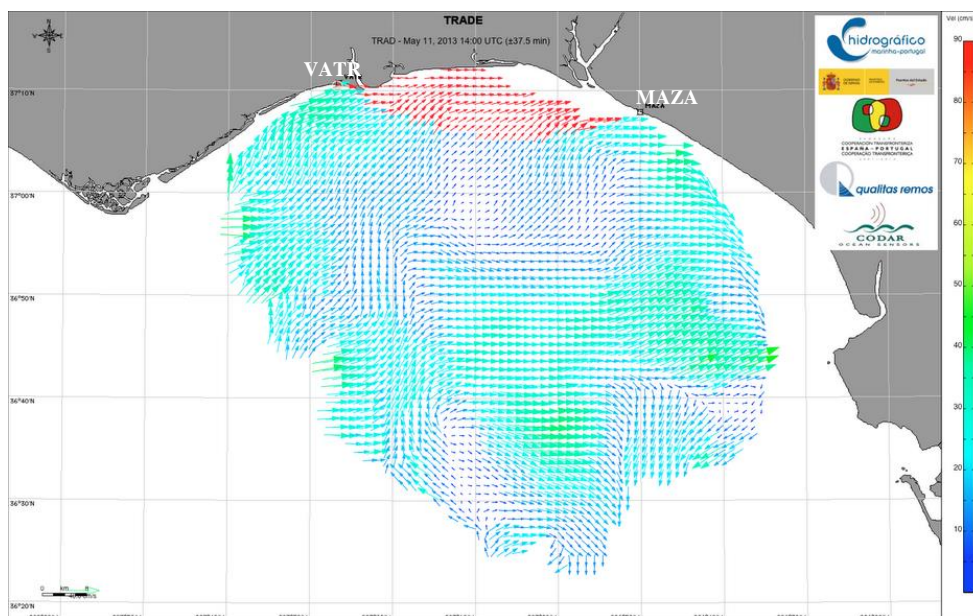


Diagrama horário de correntes de superfície geradas pelo sistema HF do projeto TRADE. Barra colorida indica a velocidade da corrente. A localização das antenas é identificada por VATR e MAZA.

## - Derivar função de transferência

HF – High Frequency

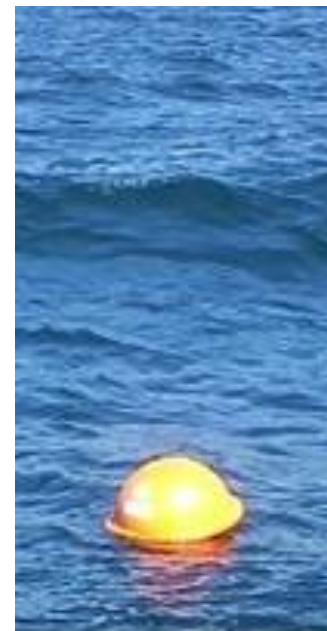
TRADE - Transregional Radars for Environmental applications - [www.tradehf.eu](http://www.tradehf.eu)



Antena SeaSonde  
instalada em Vila Real  
de Santo António (foto  
por P. Agostinho, 2013)

# Correntes marítimas medidas pelo sistema HF

# Trajetórias lagrangeanas de três boias derivantes



Boia do tipo iShpere (foto por C. Fernandes, 2013)

## Dados de vento – AROME (IPMA)

AROME - modelo de previsão numérica do tempo. Resolução 2,5 km.

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

## Características e especificações do sistema HF utilizado no projeto TRADE (Portal CODAR, Portal IH)

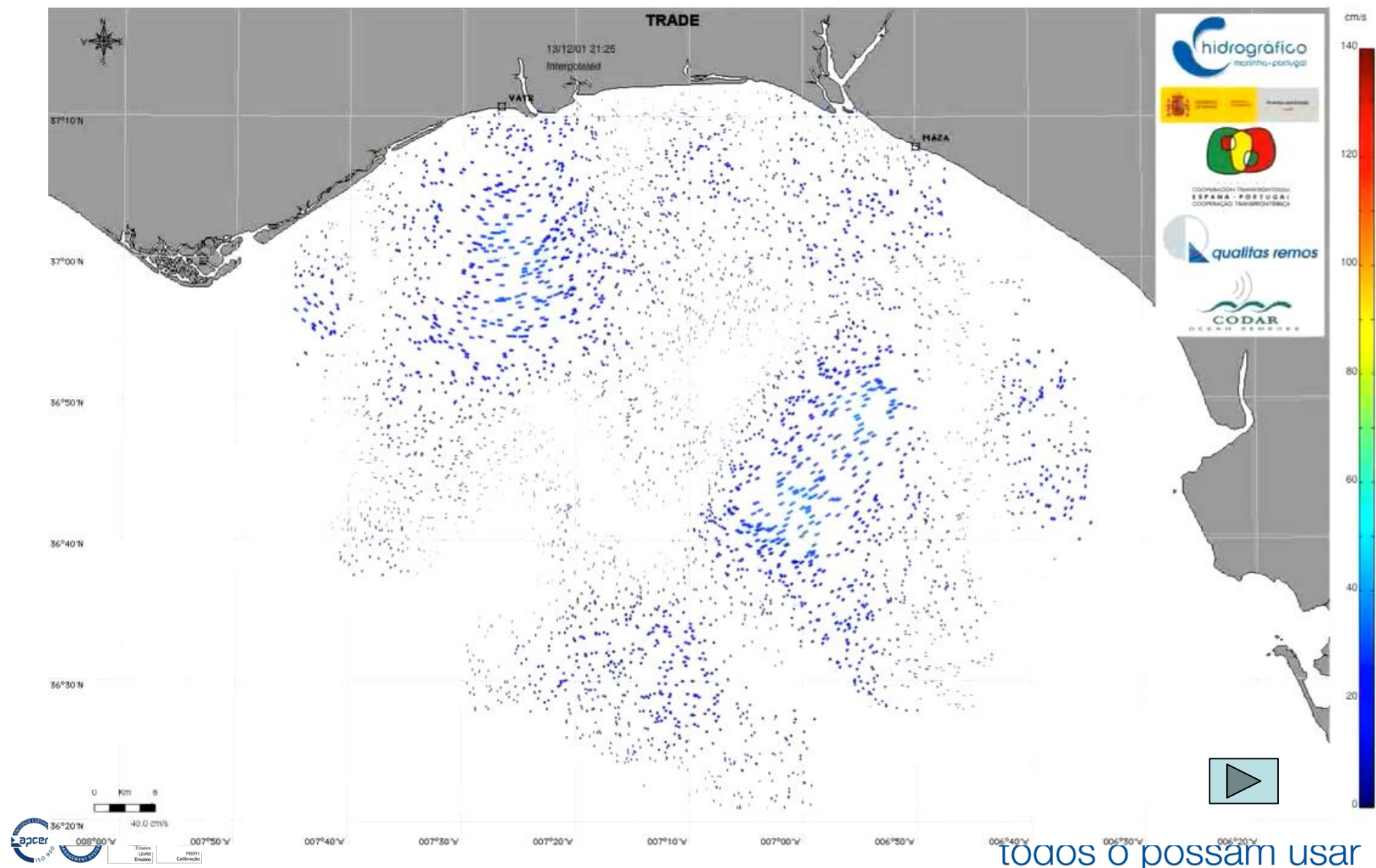
PARÂMETRO	ESTAÇÃO HF	
ID do radar	VATR	MAZA
Posição (WGS 84)	37,178° N / 7,443° W	37,131° N / 6,833° W
Data de operação	Iniciou em 2013	
Frequência central $f$	13,5 MHz	12,923 MHz
Comprimento de onda Bragg $\lambda_B$	11,1 m	11,6 m
Resolução	angular: 5° e espacial: 1,4 km	
Alcance nominal	20 a 75 km	

$$\lambda_r = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_B = \frac{1}{2} \lambda_r$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$





todos o possam usar



# Trajetórias das boias



Trajetórias reais das boias derivantes na região de interesse (implantado em Google Earth)

- Análise de vetores radiais – produto interno
- Análise de trajetórias para corrente e vento – método de Runge-Kutta 2ª ordem

Métodos de correção de trajetórias			formulário
Correção separada	corrente	k1, $\theta_1$ separados	
	vento	k2, $\theta_2$ separados	
Correção conjugada	corrente	k1, $\theta_1$ conjugados	$\vec{U}_d = \kappa U_{hf} \cos(\alpha) \vec{u}_x + \kappa U_{hf} \sin(\alpha) \vec{u}_y$ $\alpha = D_{hf} + \theta$
	vento	k2, $\theta_2$ conjugados	
Correção simultânea	corrente e vento	k1, $\theta_1$ , k2, $\theta_2$ simultaneamente	$u_d = \kappa_1 U_{hf} \cos(\theta_1 + D_{hf}) + \kappa_2 U_w \cos(\theta_2 + D_w)$ $v_d = \kappa_1 U_{hf} \sin(\theta_1 + D_{hf}) + \kappa_2 U_w \sin(\theta_2 + D_w)$

k1 – coeficiente de correção da intensidade da corrente

k2 – coeficiente de correção da intensidade do vento

$\theta_1$  – ângulo de correção da direção da corrente

$\theta_2$  – ângulo de correção da direção do vento

# Análise de vetores radiais em Mazagon

$$\text{velocidade radial boia} = \frac{\vec{r} \cdot \vec{U}}{|\vec{r}|}$$

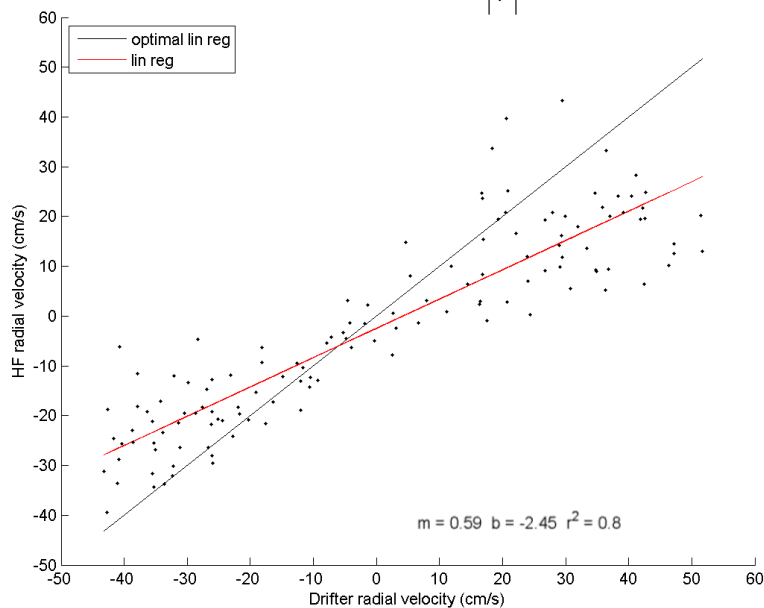
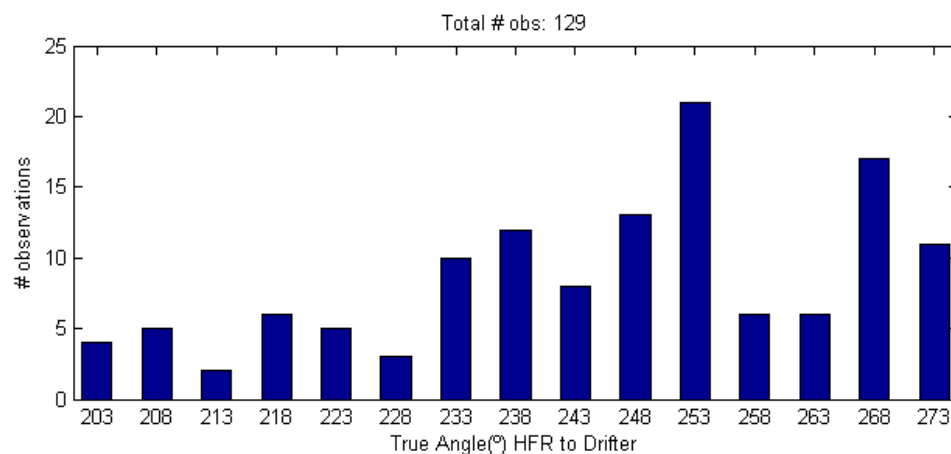
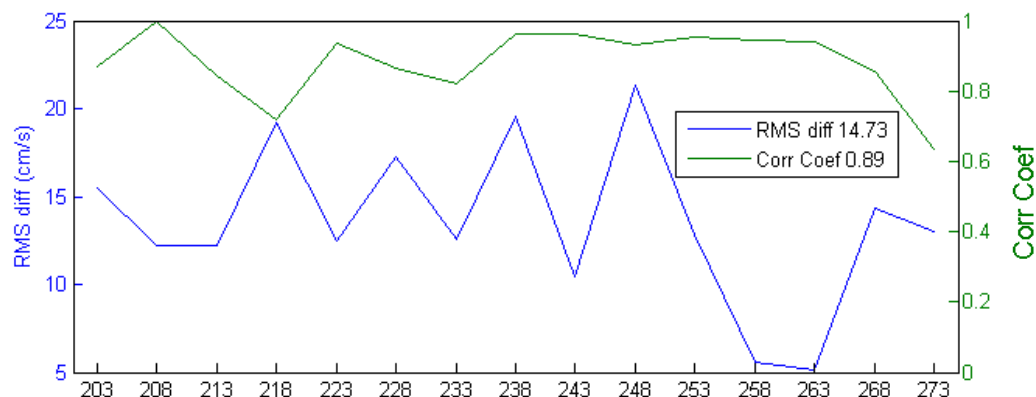


Diagrama de dispersão e regressão linear das velocidades radiais (cm/s) HF de MAZA vs boias nº1, nº2 e nº3. O segmento a negro representa a reta de regressão linear ótima e o segmento a vermelho a melhor reta ajustada aos dados



Em cima) o coeficiente de correlação a verde e o RMS a azul, distribuídos por setor azimutal da estação HF MAZA. Em baixo) gráfico de barras indicando o número de observações por setor azimutal

## Análise de vetores radiais

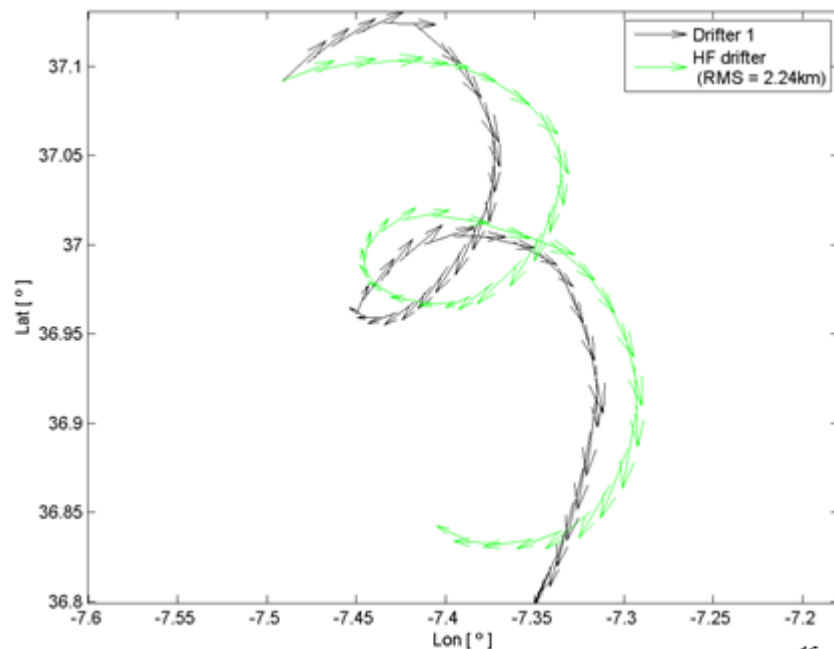
Site	Corr Coef	RMS (cm/s)	declive	interseção	$r^2$	# obs
MAZA	0,89	14,73	0,59	- 2,44	0,80	129
VATR	0,68	21,29	0,57	3,72	0,47	129

## Trajetoórias – Método correção isolada

$$\vec{U}_d = \kappa U_{hf} \cos(\alpha) \vec{u}_x + \kappa U_{hf} \sin(\alpha) \vec{u}_y$$

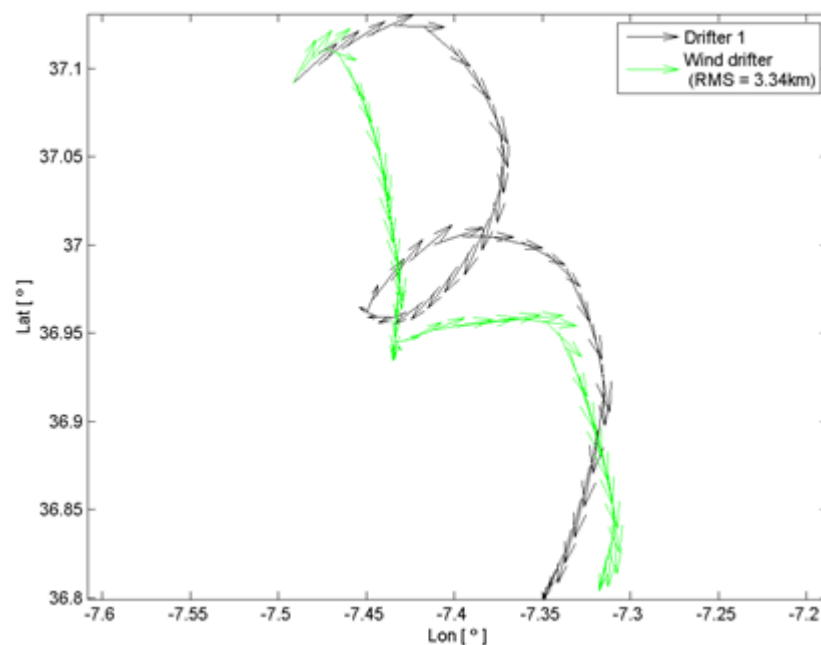
$$\alpha = D_{hf} + \theta$$

### Corrente vs boia nº1



Previsão de trajetória com dados de corrente HF (verde) corrigidos de  $\kappa_1 = 1,75$  e  $\theta_1 = -8^\circ$  ótimos e trajetória real da boia nº1 (negro). O desvio médio entre posições ao longo da trajetória é de 2,24 km

### Vento vs boia nº1



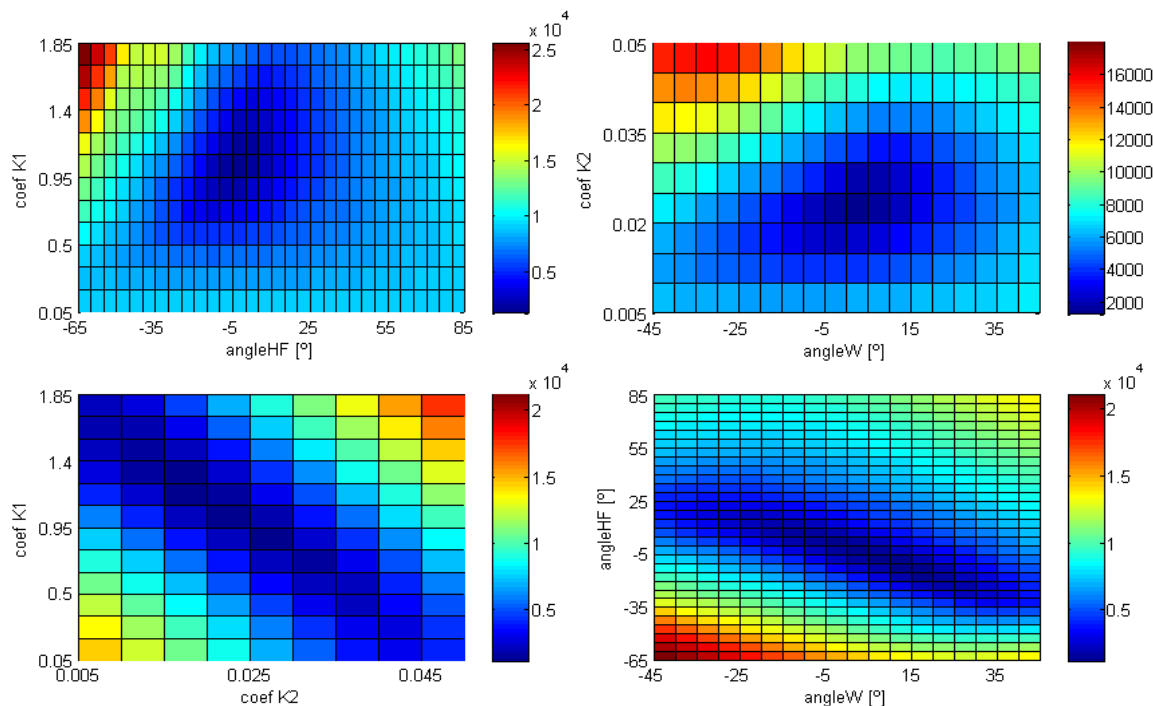
Previsão de trajetória com dados de vento (verde) corrigidos de  $\kappa_2 = 0,041$  e  $\theta_2 = -3^\circ$  ótimos e trajetória real da boia nº1 (negro). O desvio médio entre posições ao longo da trajetória é de 3,34 km

# Trajetoórias – Método correção simultânea

$$u_d = \kappa_1 U_{hf} \cos(\theta_1 + D_{hf}) + \kappa_2 U_w \cos(\theta_2 + D_w)$$

$$v_d = \kappa_1 U_{hf} \sin(\theta_1 + D_{hf}) + \kappa_2 U_w \sin(\theta_2 + D_w)$$

## Corrente e vento vs boia n°1



Desvio médio entre posições da boia n°1 ao longo da trajetória estimada, para a área de menor desvio, com correções

$\kappa_1 = 0,95$ ,  $\theta_1 = -6^\circ$ ,  $\kappa_2 = 0,021$  e  $\theta_2 = 2^\circ$ . Barra de cores em metros

## Comparação de métodos de correção de corrente e de vento aplicados nas trajetórias das boias

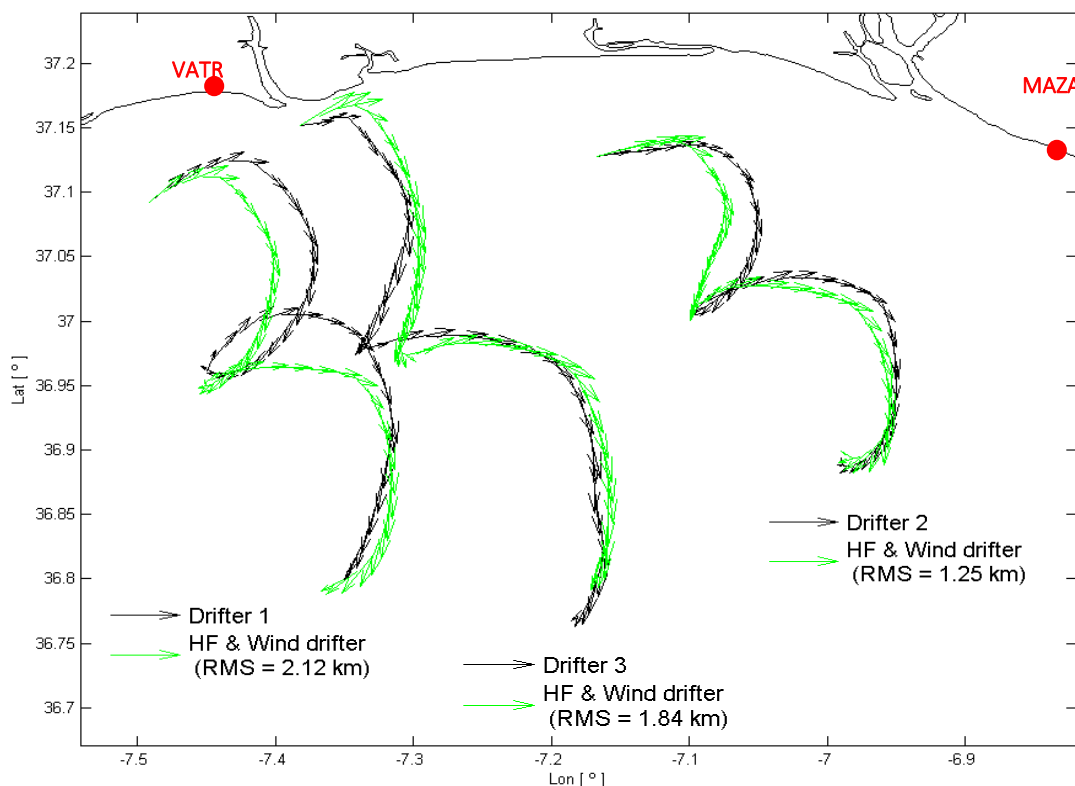
Método	Boias	Coef. corrente	Ângulo corrente	Coef. vento	Ângulo vento	RMS (km)
		$\kappa_1$	$\theta_1$ (°)	$\kappa_2$	$\theta_2$ (°)	
correção conjugada da corrente	1	1,75	-8	--	--	2,24
	2	2,06	-35	--	--	2,15
	3	1,93	-13	--	--	2,07
	média	1,913	-18,7	--	--	2,15
correção conjugada do vento	1	--	--	0,041	-3	3,34
	2	--	--	0,041	12	1,77
	3	--	--	0,052	6	1,62
	média	--	--	0,0447	5	2,24
correção simultânea da corrente e do vento	1	0,95	-6	0,021	2	1,18
	2	1,02	-17	0,029	-4	1,08
	3	1,05	-15	0,022	10	1,46
	média	1,01	-12,67	0,024	2,67	1,24
	1	0,58	-18	0,033	6	2,12
	2					1,25
	3					1,84



## Trajetoórias – Método correção simultânea

$$u_d = \kappa_1 U_{hf} \cos(\theta_1 + D_{hf}) + \kappa_2 U_w \cos(\theta_2 + D_w)$$

$$v_d = \kappa_1 U_{hf} \sin(\theta_1 + D_{hf}) + \kappa_2 U_w \sin(\theta_2 + D_w)$$



Previsão de trajetórias corrigidas simultaneamente com dados de corrente e vento (verde) e trajetórias reais das boias nº1, nº2 e nº3 (negro) e respectivos RMS. Estações HF identificadas a vermelho

## Função de transferência

$$u = 0,58 U_{hf} \cos( D_{hf} - 18) + 0,033 U_w \cos(D_w + 6)$$

$$v = 0,58 U_{hf} \sin( D_{hf} - 18) + 0,033 U_w \sin(D_w + 6)$$

$u$  ,  $v$  - componentes da velocidade da boia

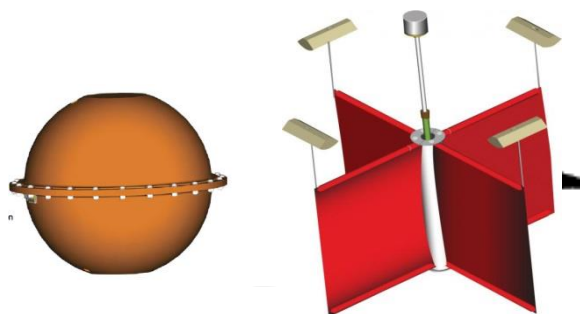
$U_{hf}$  ,  $D_{hf}$  - intensidade e direção da corrente

$U_w$  ,  $D_w$  - intensidade e direção do vento

Correção simultânea da corrente e vento



Influência do vento mascará a validação das correntes



Utilizar drifter com lastro menos exposta

Derivação de uma função de transferência

Consistência

Graber, H. C. e M. L. Heron, (1997). Wave height measurements from HF radar. *Oceanography*, Vol. 10, nº 2

Ferziger, J.H. & M. Peric. (1999). *Computational Methods for Fluid Dynamics*, (2nd edition), Springer, Berlin, pp.132 e 133

Paduan, J.D., K.C. Kim, M.S. Cook, e F.P. Chavez, (2006). Calibration and validation of direction-finding high frequency radar ocean surface current observations. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, pp. 862-875

Vicente, R. (2014). *Validação de correntes marítimas de superfície geradas por um sistema de radares de alta frequência com recurso a boias derivantes*, (Relatório final de estágio), Instituto Hidrográfico, Lisboa

Vincenty, T. (1975). Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of Nested Equations, *Survey Review*, vol. XXIII, nº 176, pp. 88-93. Disponível em : [http://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/inverse.pdf](http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf) (acedido em Dezembro, 2013)

# OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO

## Agradecimentos

José Paulo Pinto, Ilmer Golde, Jeff Paduan, Carlos Fernandes, Pedro Agostinho, Paula Sanches, Cristina Monteiro, Paul Mota, Joana Reis, Francisco de Almeida, Carlos Marques, Divisão de Oceanografia