



# 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
  - Trajetórias
- Considerações finais

- Deteção 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)

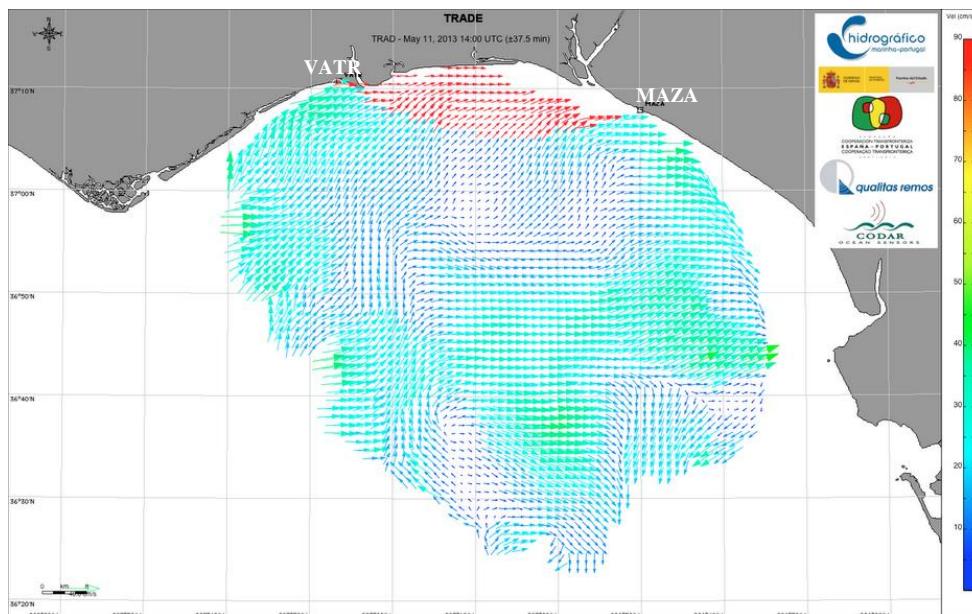


Diagrama horário de correntes de superfície geradas pelo sistema HF do projeto TRADE. Barra colorida indica a velocidade da corrente. A localização das antenas é identificada por VATR e MAZA.

- Derivar função de transferência

HF – High Frequency

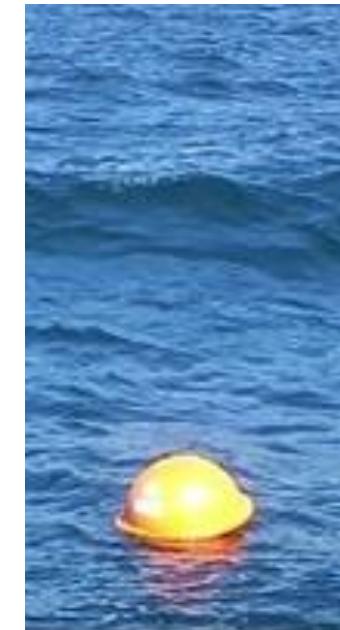
TRADE - Transregional Radars for Environmental applications - [www.tradehf.eu](http://www.tradehf.eu)



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 iSphere (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)

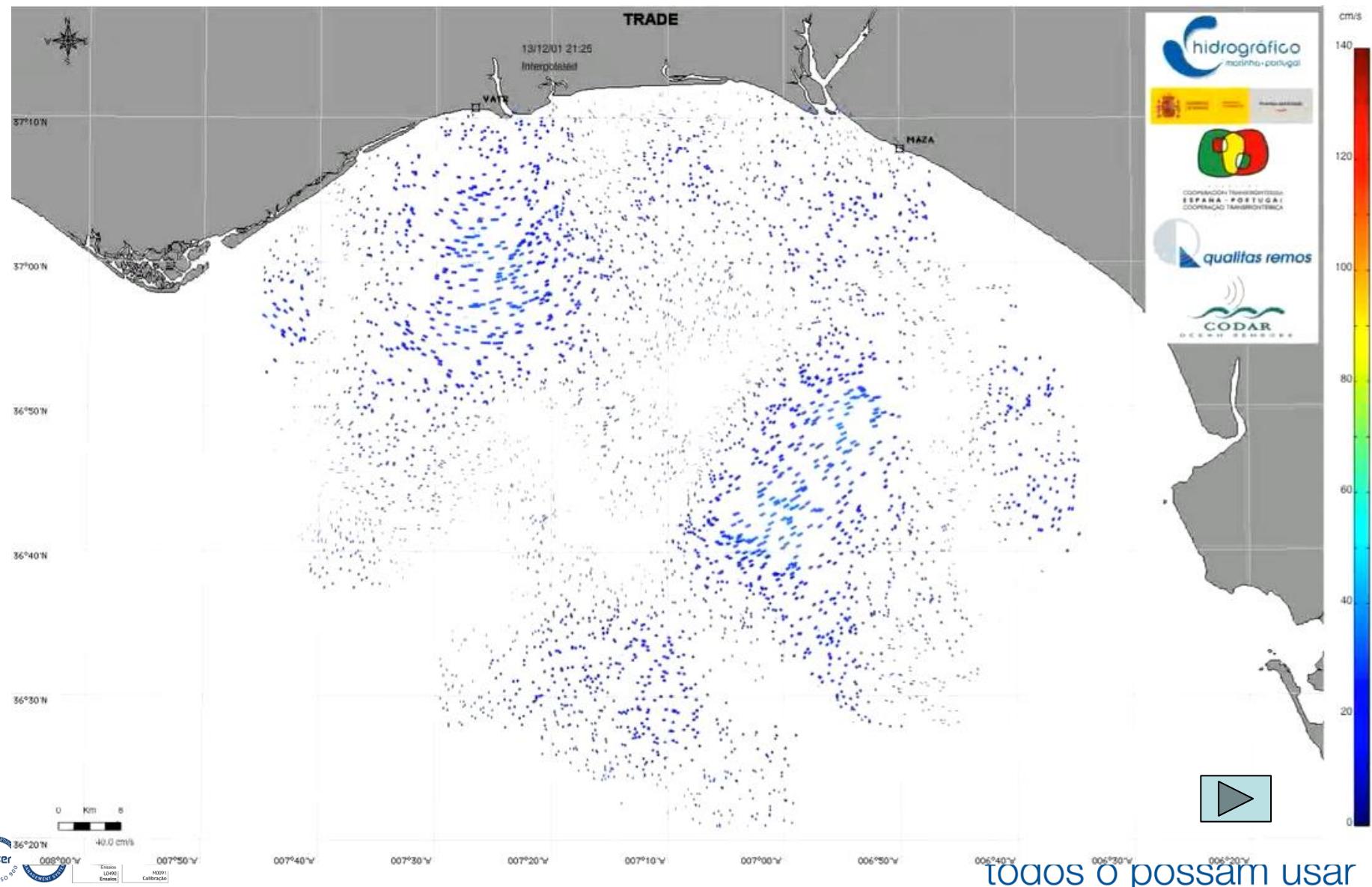
PARÂMETRO	ESTAÇÃO HF	
ID do radar	VATR	MAZA
Posição (WGS 84)	37,178° N / 7,443° W	37,131° N / 6,833° W
Data de operação	Iniciou em 2013	
Frequência central $f$	13,5 MHz	12,923 MHz
Comprimento de onda Bragg $\lambda_B$	11,1 m	11,6 m
Resolução	angular: 5° e espacial: 1,4 km	
Alcance nominal	20 a 75 km	

$$\lambda_r = \frac{c}{f} \quad \lambda_B = \frac{1}{2} \lambda_r$$

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

Portal CODAR - [www.codar.com](http://www.codar.com)  
 Portal IH - [www.hidrografico.pt/simoc.php](http://www.hidrografico.pt/simoc.php)

# Sistema HF do TRADE



# 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 2<sup>a</sup>ordem

Métodos de correção de trajetórias			formulário
Correção separada	corrente	k1, θ1 separados	
	vento	k2, θ2 separados	
Correção conjugada	corrente	k1, θ1 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, θ2 conjugados	
Correção simultânea	corrente e vento	k1, θ1, k2, θ2 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

θ1 – ângulo de correção da direção da corrente

θ2 – ângulo de correção da direção do vento

# Análise de vetores radiais em Mazagon

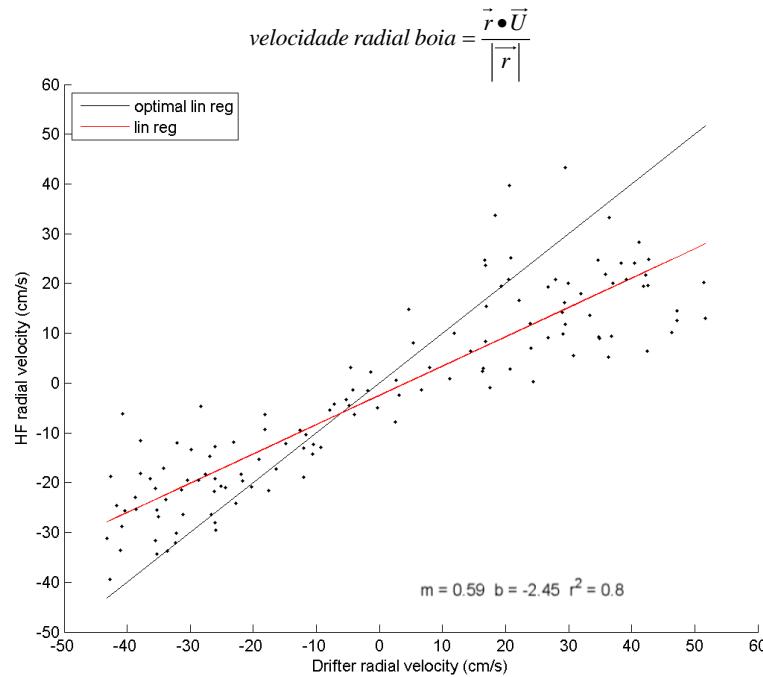
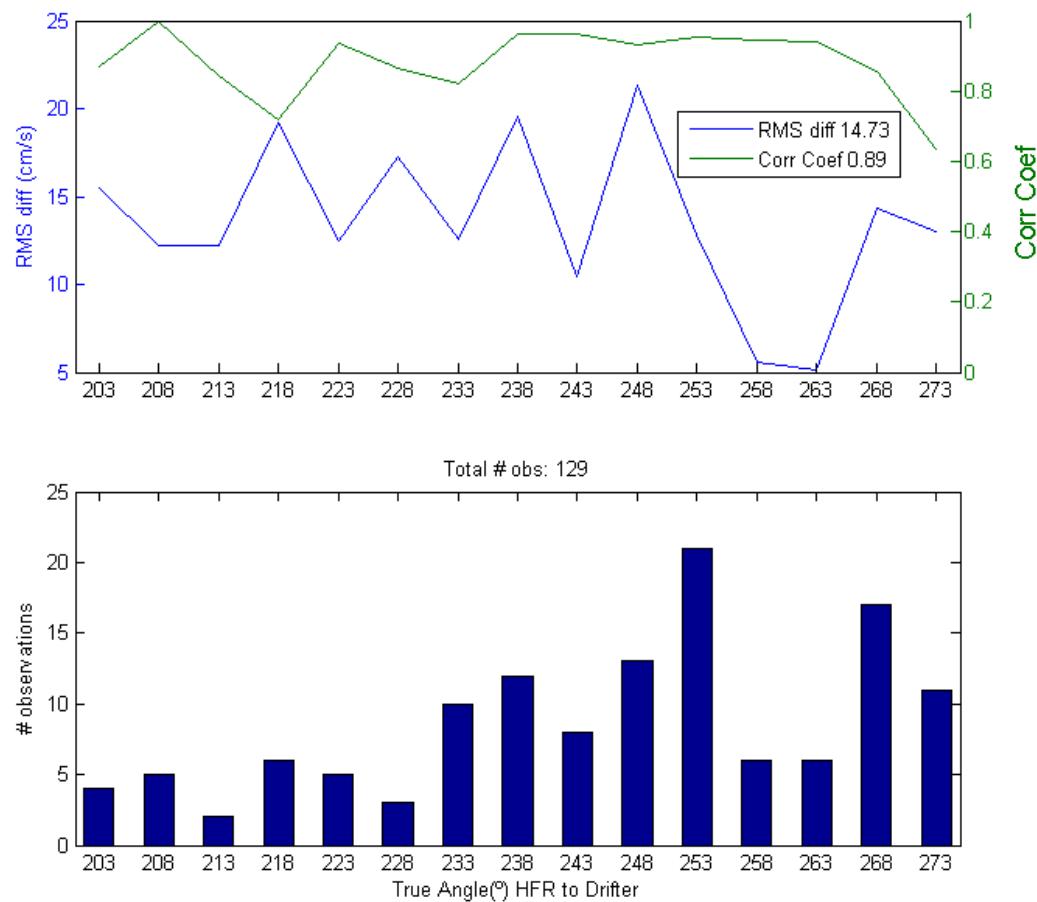


Diagrama de dispersão e regressão linear das velocidades radiais (cm/s) HF de MAZA vs boias nº1, nº2 e nº3. O segmento a negro representa a reta de regressão linear ótima e o segmento a vermelho a melhor reta ajustada aos dados



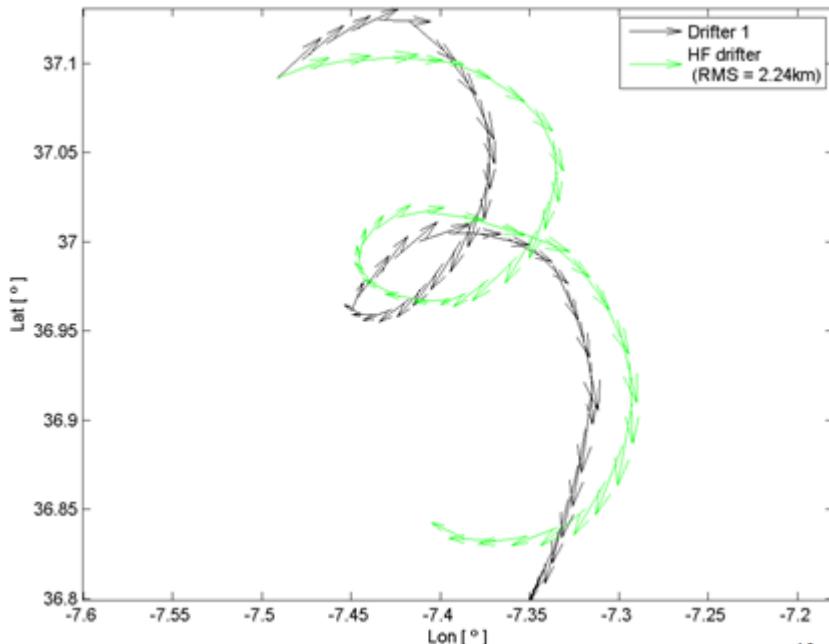
Em cima) o coeficiente de correlação a verde e o RMS a azul, distribuídos por setor azimutal da estação HF MAZA. Em baixo) gráfico de barras indicando o número de observações por setor azimutal

## Análise de vetores radiais

Site	Corr Coef	RMS (cm/s)	declive	interseção	r <sup>2</sup>	# 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

## Trajetórias – Método correção isolada

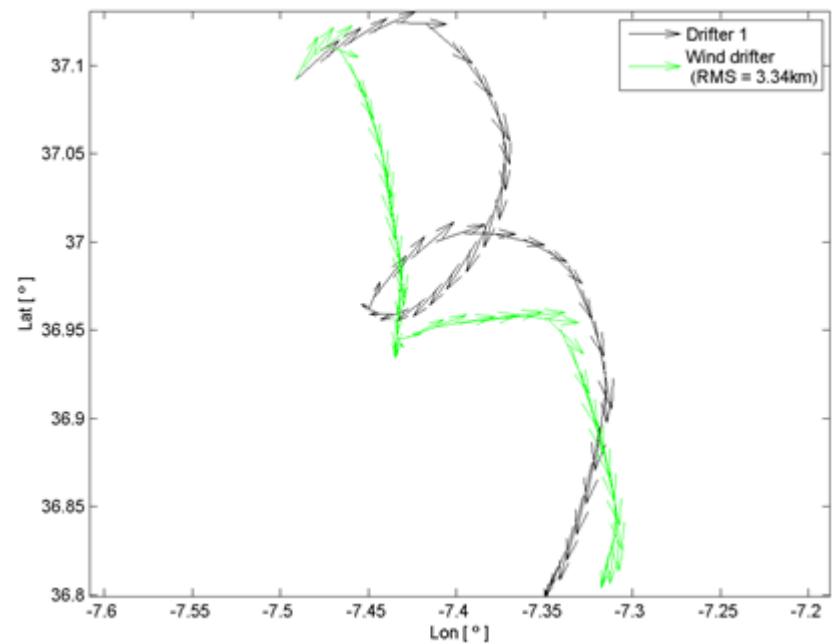
### Corrente vs boia nº1



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

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

### Vento vs boia nº1

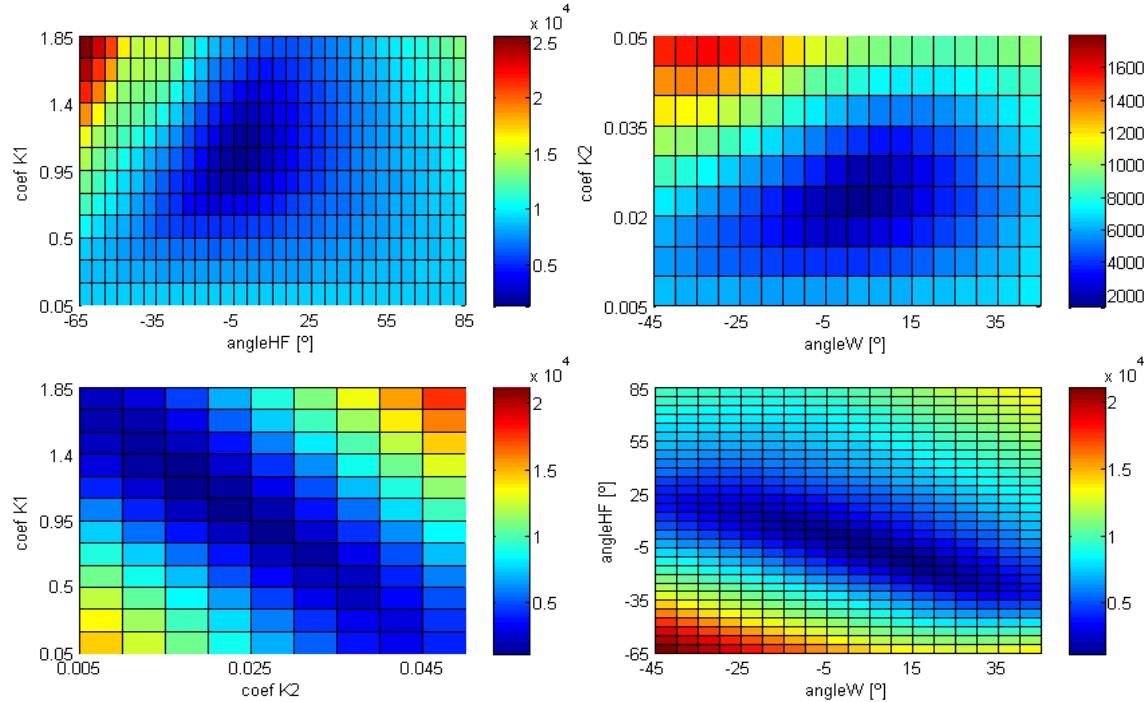


# Trajetórias – Método correção simultânea

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

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

## Corrente e vento vs boia nº1



Desvio médio entre posições da boia nº1 ao longo da trajetória estimada, para a área de menor desvio, com correções

$$\kappa_1 = 0.95, \quad \theta_1 = -6^\circ, \quad \kappa_2 = 0.021 \text{ e} \quad \theta_2 = 2^\circ. \text{ Barra de cores em metros}$$

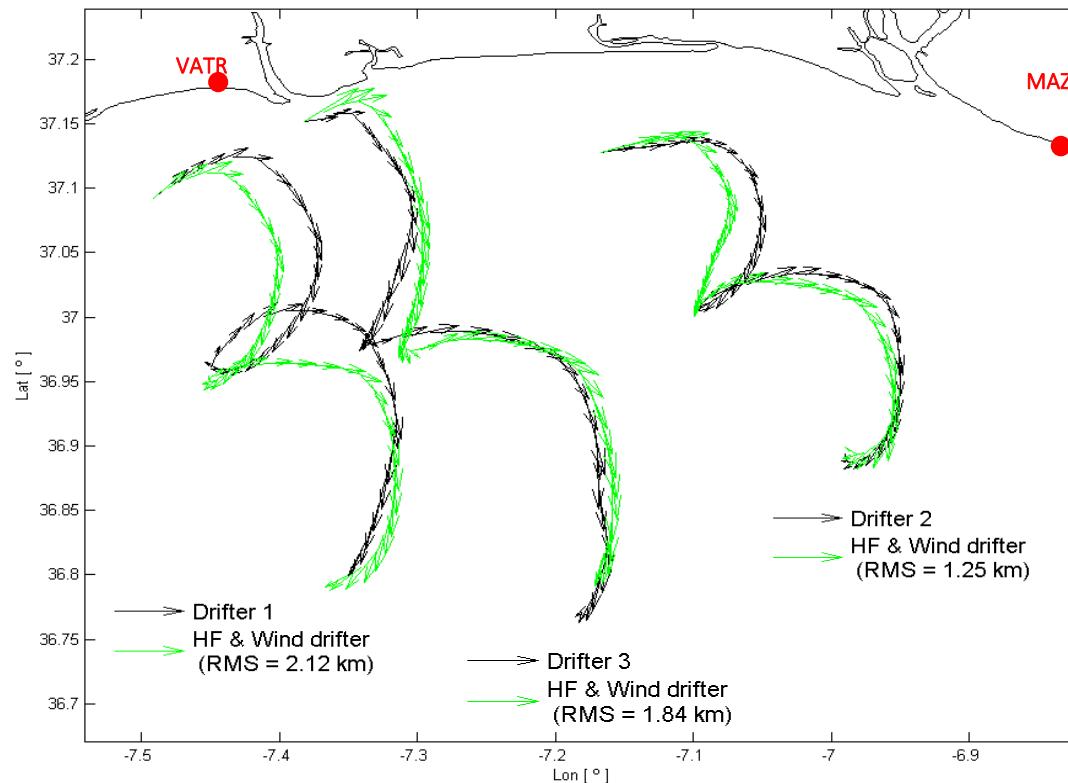
## Comparação de métodos de correção de corrente e de vento aplicados nas trajetórias das boias

Método	Boias	Coef.	Ângulo	Coef. vento	Ângulo	RMS (km)		
		corrente	$\kappa_1$	corrente	$\theta_1$ (°)	$\kappa_2$	$\theta_2$ (°)	
<b>correção conjugada da corrente</b>	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
<b>correção conjugada do vento</b>	1	--	--	0,041	--	-3	--	3,34
	2	--	--	0,041	--	12	--	1,77
	3	--	--	0,052	--	6	--	1,62
	média	--	--	0,0447	--	5	--	2,24
<b>correção simultânea da corrente e do vento</b>	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	--	--	--	--	2,12	--	
	2	0,58	-18	0,033	6	--	--	1,25
	3	--	--	--	--	--	--	1,84

# Trajetórias – 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, nº 2 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

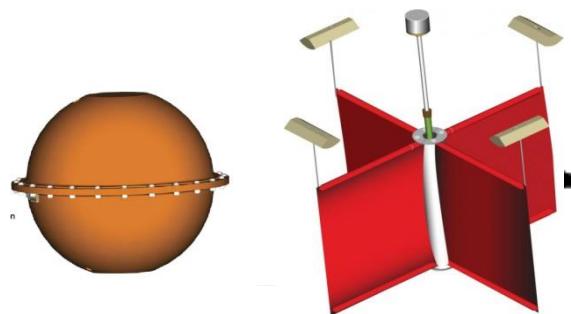
$U_{hf}$  ,  $D_{hf}$  - intensidade e direção da corrente

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

## Correção simultânea da corrente e vento



## Influência do vento mascára 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*, VoI. 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