



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

MODELAÇÃO NUMÉRICA DA CIRCULAÇÃO E DO TRANSPORTE NA RIA FORMOSA

COALA: Dinâmica dos nutrientes e da matéria particulada –
trocas entre uma lagoa costeira e o oceano adjacente através
de um sistema de múltiplas barras: o caso da Ria Formosa,
sul de Portugal
Fundação para a Ciência e a Tecnologia

Lisboa • março de 2014

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 138/2014 – **DHA/NEC**

Título

MODELAÇÃO NUMÉRICA DA CIRCULAÇÃO E DO TRANSPORTE NA RIA FORMOSA

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

João Fabião

Bolseiro de Investigação, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Marta Rodrigues

Bolseira de Pós-doutoramento, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

André B. Fortunato

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 138/2014

Proc. 0604/111/17844

Resumo

A Ria Formosa (sul de Portugal) é uma laguna muito produtiva, de elevada importância ecológica e económica. Assim, perceber os processos que afetam a produtividade deste ecossistema é fundamental para a sua gestão sustentável. O projeto COALA visa estudar a dinâmica de trocas de nutrientes, clorofila e material particulado entre a Ria Formosa e o oceano adjacente, assim como a influência dos principais forçamentos (e.g. maré) nesta dinâmica, utilizando uma abordagem multidisciplinar que combina modelação numérica e campanhas de campo. O modelo hidrodinâmico SELFE foi aplicado na Ria Formosa, representando adequadamente os principais padrões de circulação. Este modelo foi combinado com um modelo de transporte lagrangeano para estudar a influência dos forçamentos ambientais na dinâmica de trocas lagoa – oceano. Foram simulados diversos cenários de vento, de batimetria e de descarga de efluentes de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) locais. Os resultados sugerem uma influência significativa do vento e da batimetria na quantidade de partículas exportadas para a zona exterior a escalas temporais curtas. A análise do transporte de potenciais poluentes (e.g. nutrientes) das estações de tratamento de águas residuais pode contribuir para suportar a gestão da Ria Formosa.

Palavras-chave: modelação hidrodinâmica, modelos lagrangeanos, vento, batimetria, ETAR

NUMERICAL MODELLING OF CIRCULATION AND TRANSPORT IN THE RIA FORMOSA

Abstract

The Ria Formosa (South of Portugal) is a highly productive coastal lagoon, very important from both economic and ecological viewpoints. Understanding the processes that affect the productivity of this ecosystem is thus essential to support its sustainable management. The COALA project aims to study the exchanges of nutrients, chlorophyll and particulate matter between the Ria Formosa and the ocean, and how this dynamics is influenced by the main forcings (e.g. tide), combining field surveys and numerical modelling in a multidisciplinary approach. The hydrodynamic model SELFE was applied, with a good ability to represent the main circulation patterns. This model was combined with a lagrangean model used to study the influence of the environmental forcings on the dynamics of lagoon – ocean exchanges. Several scenarios were simulated with different wind conditions, bathymetric configurations and discharged flows from local wastewater treatment plants. Results suggest a considerable influence of wind direction and bathymetry in the amount of particles exported out of the system at short time scales. The analysis of transport patterns of potential pollutants (nutrients among others) discharged by the wastewater treatment plants may contribute to support the management of the Ria Formosa.

Keywords: hydrodynamic modeling, lagrangean models, wind, bathymetry, WWTP

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e objetivos	1
1.2	Organização do relatório.....	1
2	Metodologia.....	2
3	A Ria Formosa	3
4	Descrição dos modelos	4
4.1	Modelo hidrodinâmico – SELFE	4
4.2	Modelo lagrangeano – VELApart.....	5
5	Calibração e validação do modelo hidrodinâmico SELFE 2D	6
5.1	Calibração do modelo	6
5.2	Validação do modelo	10
6	Calibração e validação do modelo hidrodinâmico SELFE 3D	15
6.1	Introdução	15
6.2	Calibração do modelo	16
6.3	Validação do modelo	17
6.4	Forçamento atmosférico	21
6.5	Batimetria.....	22
7	Análise de influência dos forçamentos na circulação e no transporte.....	26
7.1	Definição de cenários	26
7.2	<i>Setup</i> das simulações.....	28
7.3	Análise dos resultados.....	29
8	Conclusões.....	44
	Referências Bibliográficas.....	46
	Descrição do modelo hidrodinâmico SELFE.....	53
	Descrição do modelo lagrangeano VELApart	59
	Distribuição espacial das partículas nos diversos cenários.....	61

Índice de figuras

Figura 3.1 – Sector oeste da Ria Formosa, com a localização das barras (fonte: Google Maps).	3
Figura 5.1 – Malha de cálculo utilizada na calibração do modelo hidrodinâmico.	6
Figura 5.2 – Batimetria e estações utilizadas na calibração do modelo hidrodinâmico.	7
Figura 5.3 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para a simulação com a batimetria de 1980, sintetizados para 8 constituintes de maré (MSF, O1, K1, M2, S2, M4, MS4, M6).....	8
Figura 5.4 – Comparação do erro quadrático médio (EQM) dos níveis com simulações anteriores.	9
Figura 5.5 – Prismas de maré médios na barra da Ria Formosa (An – barra do Ancão, FO – barra de Faro-Olhão, Ar – barra da Armona, Fu – barra da Fuzeta, Ta – barra de Tavira, La – barra do Lacém).....	10
Figura 5.6 – Batimetria e estações utilizadas na validação do modelo hidrodinâmico 3D.	11
Figura 5.7 – Comparação dos erros quadráticos médios (EQM) dos níveis com simulação anterior (CCF – Cais Comercial de Faro; IDE – Ilha Deserta).	12
Figura 5.8 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011 – SELFE2D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	13
Figura 5.9 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Primavera 2012 – SELFE2D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	13
Figura 5.10 – Prismas de maré de enchente no canal de Faro-Olhão: dados de campanha e resultados do modelo (SELFE).....	14
Figura 5.11 – Prismas de maré de vazante no canal de Faro-Olhão: dados de campanha e resultados do modelo (SELFE).....	14
Figura 6.1 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para a simulação 3D com a batimetria de 1980, sintetizados para 8 constituintes de maré (MSF, O1, K1, M2, S2, M4, MS4, M6).....	16
Figura 6.2 – Comparação entre séries temporais de níveis (Cais Comercial de Faro, CCF). Tempo em dias desde 10/10/2011.	17
Figura 6.3 – Comparação entre séries temporais de níveis (Ilha Deserta, IDE). Tempo em dias desde 10/10/2011.....	17
Figura 6.4 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	19
Figura 6.5 – Velocidades médias na barra da Armona nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	19
Figura 6.6 – Velocidades médias no canal de Faro nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	20
Figura 6.7 – Velocidades médias no canal de Olhão nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	20
Figura 6.8 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações sem e com vento – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	22
Figura 6.9 – Velocidades médias na barra da Armona nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações sem e com vento – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.	22

Figura 6.10 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.....	24
Figura 6.11 – Velocidades médias na barra da Armona nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.....	24
Figura 6.12 – Velocidades médias no canal de Faro nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.....	25
Figura 6.13 – Velocidades médias no canal de Faro nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.....	25
Figura 7.1 – Frequência de ocorrência das direções de vento em Faro (Fonte: INMG, 1991)	26
Figura 7.2 – Batimetrias utilizadas nos cenários: a) cenário de referência, b) fecho do Ancão, c) anos 80 e d) LiDAR.....	27
Figura 7.3 – Influência do vento na exportação das partículas da Ria Formosa para a zona costeira exterior, considerando o início das simulações numa situação de baixa-mar em maré viva e em maré morta. A posição inicial das partículas é indicada nas figuras: BAN – barra do Ancão, BFO – barra de Faro-Olhão e BAR – barra da Armona.....	30
Figura 7.4 – Histograma acumulado da percentagem de partículas que passam nas barras do Ancão (BAN), de Faro-Olhão (BFO) e da Armona (BAR) para o cenário base, considerando o início das simulações numa situação de baixa-mar de marés mortas e a posição inicial das partículas na a) barra de Faro-Olhão e b) barra da Armona.....	31
Figura 7.5 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação – cenário base, considerando o início da simulação numa situação de: a) baixa-mar em marés viva, b) baixa-mar em marés morta, c) meio da enchente em maré viva e d) meio da enchente em maré morta. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona.....	31
Figura 7.6 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de marés mortas. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona.....	33
Figura 7.7 – Histograma acumulado da percentagem de partículas que passam nas barras do Ancão (BAN), de Faro-Olhão (BFO) e da Armona (BAR) para o cenário a) base e b) com vento de Este, considerando o início das simulações numa situação de enchente de marés mortas e a posição inicial das partículas na barra da Armona.	34
Figura 7.8 – Influência da batimetria na exportação das partículas da Ria Formosa para a zona costeira exterior, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de marés vivas e marés mortas. A posição inicial das partículas é indicada nas figuras: BAN – barra do Ancão, BFO – barra de Faro-Olhão e BAR – barra da Armona.	35
Figura 7.9 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta: a) no cenário base e b) com batimetria dos anos 80. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona.	36
Figura 7.10 – Histograma acumulado da percentagem de partículas que passam nas barras do Ancão (BAN), Faro-Olhão (BFO) e Armona (BAR) para os cenários base e	

do fecho da barra do Ancão, considerando o início das simulações numa situação de baixa-mar de marés vivas e a posição inicial das partículas na a) barra de Faro-Olhão e b) barra da Armona.	37
Figura 7.11 – Tempo de exportação das partículas com origem nas ETAR para a zona costeira exterior, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de marés vivas e marés mortas e para o cenário de caudal médio. A posição inicial das partículas é indicada por: ETAR1– ETAR Faro-Noroeste, ETAR2 – ETAR Faro-Nascente, ETAR3 – ETAR Olhão-Poente, ETAR4 – ETAR Olhão-Nascente.	38
Figura 7.12 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 2 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	38
Figura 7.13 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 5 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	39
Figura 7.14 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 10 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	39
Figura 7.15 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	40
Figura 7.16 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 20 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	40
Figura 7.17 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 2 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	41
Figura 7.18 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 5 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	41
Figura 7.19 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 10 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	42
Figura 7.20 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	42
Figura 7.21 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 20 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição	

	inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	43
Figura A.1	– Esquema da malha vertical e do sistema de coordenadas híbridas SZ. Adaptado de Zhang e Baptista (2008). N_z é a superfície livre ao longo de todo o domínio, h_s é a profundidade de transição entre as camadas S e Z.	55
Figura A.2	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	64
Figura A.3	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	66
Figura A.4	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	68
Figura A.5	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	70
Figura A.6	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	72
Figura A.7	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	76
Figura A.8	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	78
Figura A.9	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja	

– barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	80
Figura A.10 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	82
Figura A.11 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	84
Figura A.12 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	88
Figura A.13 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	90
Figura A.14 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	92
Figura A.15 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	94
Figura A.16 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	96
Figura A.17 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-	

	Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	100
Figura A.18	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	102
Figura A.19	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	104
Figura A.20	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	106
Figura A.21	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.	108
Figura A.22	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	112
Figura A.23	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	114
Figura A.24	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	116
Figura A.25	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	118
Figura A.26	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	120
Figura A.27	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	124
Figura A.28	– Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixamar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.	126

Índice de quadros

Quadro 5.1 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis (CCF – Cais Comercial de Faro, IDE – Ilha Deserta).	12
Quadro 6.1 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para simulações em modo bidimensional e tridimensional (CCF – Cais Comercial de Faro; IDE – Ilha Deserta).	18
Quadro 6.2 - Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para simulações com e sem forçamento atmosférico.	21
Quadro 6.3 – Erro quadrático médio dos níveis para simulações com batimetria de referência e com batimetria LiDAR (CCF – Cais Comercial de Faro; IDE – Ilha Deserta).	23
Quadro 7.1 – Descrição dos cenários analisados.....	28

1 | Introdução

1.1 Enquadramento e objetivos

A Ria Formosa é um sistema lagunar localizado na costa sul de Portugal, com diversas ligações permanentes ao oceano. É um ecossistema de elevada produtividade biológica e diversidade ecológica, reunindo vários estatutos de proteção nacionais e internacionais. Para melhorar o conhecimento global do ecossistema da Ria Formosa, é necessário compreender a dinâmica de trocas entre a Ria Formosa e o oceano adjacente e ser capaz de prever a sua evolução. Para isso, é essencial caracterizar os padrões de circulação e de transportes na Ria Formosa, em particular as trocas entre a ria e o oceano através das barras, a influência das marés e de outros forçamentos ambientais. A compreensão desses processos é um dos principais objetivos do projeto “COALA – Dinâmica dos nutrientes e da matéria particulada – trocas entre uma lagoa costeira e o oceano adjacente através de um sistema de múltiplas barras: o caso da Ria Formosa, sul de Portugal” (PTDC/MAR/114217/2009), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e liderado pelo Prof. José Jacob da Universidade do Algarve.

Este projeto envolveu uma abordagem multidisciplinar, combinando a aquisição de dados com a modelação numérica de elevada resolução. A componente de aquisição de dados de campo foi assegurada pela Universidade do Algarve através do Centro de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Algarve (CIMA). O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) assegurou as tarefas de modelação ambiental, em especial o desenvolvimento e aplicação de um modelo hidrodinâmico e de um modelo lagrangeano de transporte.

No presente relatório descrevem-se o desenvolvimento e aplicação de um modelo hidrodinâmico na Ria Formosa, assim como a aplicação de um modelo lagrangeano de transporte que possibilitou a simulação de diversos cenários sujeitos a diferentes forçamentos ambientais (vento, batimetria e caudais de água doce). Os resultados obtidos ao longo deste projeto, e em especial os que são descritos neste relatório, contribuem para um conhecimento mais amplo sobre a dinâmica de trocas entre a Ria e a zona costeira adjacente e sobre a influência de diversos forçamentos nas trocas de massa da Ria Formosa, podendo contribuir para uma melhor gestão deste importante sistema.

1.2 Organização do relatório

O relatório encontra-se organizado em oito capítulos incluindo a presente Introdução. Os capítulos 2, 3 e 4 descrevem, respetivamente, a metodologia adotada, a zona de estudo e os modelos utilizados. A calibração e validação do modelo hidrodinâmico em modo bidimensional e tridimensional são apresentadas nos capítulos 5 e 6, respetivamente. No capítulo 7 apresentam-se os resultados dos cenários analisados. Por fim, o capítulo 8 apresenta as principais Conclusões.

2 | Metodologia

O trabalho descrito neste relatório compreendeu diversas etapas:

1. numa primeira fase, procedeu-se à calibração e validação do modelo hidrodinâmico SELFE aplicado à Ria Formosa em modo bidimensional, com base em aplicações anteriores. Os resultados foram comparados com dados recolhidos em diferentes períodos e com resultados de aplicações anteriores;
2. seguidamente, adotando um procedimento semelhante ao utilizado na aplicação em modo bidimensional, procedeu-se à calibração e validação do modelo hidrodinâmico SELFE em modo tridimensional barotrópico. Com base nesse trabalho, testaram-se vários forçamentos, o que permitiu identificar e definir os mais relevantes para o caso da Ria Formosa;
3. seguiu-se a aplicação do modelo de partículas VELApart para estudar os fluxos entre a Ria Formosa e o oceano adjacente;
4. em seguida, procedeu-se à definição e simulação de diversos cenários considerando diferentes forçamentos ambientais (vento, batimetria e caudais de água doce);
5. por fim, analisou-se a influência dos diferentes forçamentos ambientais nos fluxos de massa entre a Ria Formosa e o oceano adjacente, tendo a análise dos resultados servido para estabelecer diversas conclusões.

3 | A Ria Formosa

A Ria Formosa, localizada na costa Sul de Portugal, é um ecossistema de elevada produtividade biológica e diversidade ecológica, reunindo vários estatutos de proteção nacionais e internacionais (Parque Natural, sítio da Rede Natura 2000 e integração na Convenção de Ramsar). Para além do interesse ambiental, a Ria Formosa tem grande importância económica para a população da região, suportando diversas atividades (e.g. pesca, mariscagem, turismo, extração de sal).

A Ria Formosa é um sistema lagunar com cerca de 80 km² de área, 55 km de comprimento (Este-Oeste) e 6 km de largura máxima. É delimitada exteriormente por um cordão dunar de ilhas barreira com mais de 50 km de comprimento e possui seis ligações permanentes ao oceano — barras do Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuzeta, Tavira e Lacém —, que contribuem para uma grande renovação de água no seu interior. Em particular, cerca de 90% do volume de água é trocado no sector oeste, onde se desenvolveu o presente estudo (Figura 3.1) (Jacob *et al.*, 2013). A laguna, com uma profundidade média de aproximadamente 2 metros, encontra-se ocupada por sapais, salgados, vasas, bancos de areia e canais. A Ria Formosa é um sistema meso-mareal com uma amplitude média de maré de cerca de 2 m, variando entre 1,5 m e 3,5 m, dominada pelas constituintes semi-diurnas da maré. Devido à reduzida entrada de água doce e à predominância do efeito de maré na circulação, é considerado um sistema verticalmente bem misturado, sem evidência de estratificação salina ou térmica (Newton e Mudge, 2003; Pacheco *et al.*, 2010; Jacob *et al.*, 2012).



Figura 3.1 – Sector oeste da Ria Formosa, com a localização das barras (fonte: Google Maps).

A influência da maré na hidrodinâmica da Ria Formosa e nas dinâmicas das suas barras, assim como as trocas entre a Ria e o oceano adjacente, foram já objeto de diversos estudos baseados em aquisição de dados ou em modelação numérica, nomeadamente os trabalhos de Salles (2001), Williams *et al.* (2003), Salles *et al.* (2005), Dias *et al.* (2009), Pacheco *et al.* (2010) e Jacob *et al.* (2012).

4 | Descrição dos modelos

4.1 Modelo hidrodinâmico – SELFE

A hidrodinâmica foi simulada com o modelo hidrodinâmico SELFE — *Semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element* (Zhang e Baptista, 2008). Trata-se de um modelo de malhas não-estruturadas, desenvolvido para a simulação da circulação baroclínica a diferentes escalas espaciais, desde o rio até ao oceano. O SELFE faz parte de um sistema completo de modelos que inclui ainda módulos de agitação marítima (Roland *et al.*, 2012; Dodet *et al.*, 2013), dinâmica de ecossistemas (Rodrigues *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2012), contaminação fecal (Rodrigues *et al.*, 2011), dinâmica sedimentar (Pinto *et al.*, 2012), e de hidrocarbonetos (Azevedo *et al.*, 2009, Azevedo *et al.*, 2014), entre outros.

Este modelo calcula a elevação da superfície livre e os campos tridimensionais de velocidade, salinidade e temperatura, resolvendo as equações tridimensionais de águas pouco profundas, as quais consideram as aproximações hidrostática e de Boussinesq. O modelo inclui ainda um módulo de transporte que permite ao utilizador simular um conjunto de traçadores genéricos, para além da salinidade e da temperatura.

Relativamente à formulação numérica, o SELFE resolve o sistema de equações diferenciais através de esquemas de elementos finitos e volume finitos. A todas as equações são aplicados esquemas semi-implícitos, permitindo melhorar a estabilidade e maximizar a eficiência. As equações de continuidade e de conservação da quantidade de movimento são resolvidas em simultâneo, o que permite ultrapassar as condições de estabilidade mais restritivas (e.g., associadas ao número de Courant). Para a resolução dos termos advetivos nas equações da conservação de quantidade de movimento, o SELFE utiliza um método Euleriano-Lagrangeano (ELM). Os termos advetivos nas equações de transporte podem ser resolvidos com métodos ELM, *upwind* de volumes finitos (FVUM) ou *Total Variation Diminishing* (TVD). Para a discretização do domínio de cálculo, o SELFE utiliza malhas triangulares não-estruturadas na direção horizontal e coordenadas híbridas na vertical (coordenadas *S* e coordenadas *Z*). A utilização de coordenadas híbridas *S* e *Z* permite uma maior flexibilidade na representação da batimetria.

No Anexo I estão apresentados mais pormenores sobre a formulação do modelo hidrodinâmico. A descrição detalhada do modelo encontra-se em Zhang e Baptista (2008).

4.2 Modelo lagrangeano – VELApart

O VELApart é um modelo bidimensional (2D) e quasi-tridimensional (quasi-3D) que permite simular as trajetórias de partículas em águas superficiais. Com base no cálculo das trajetórias, este modelo permite também estimar tempos de residência para dois tipos distintos de traçadores e calcular erros de fecho (Oliveira e Fortunato, 2002). Na versão 2D utilizada neste estudo, para um campo de velocidades médias na vertical, o modelo resolve a equação de transporte na forma não-conservativa para partículas individuais:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x_i} HD \frac{\partial c}{\partial x_j} + Q \quad (1)$$

onde c é a concentração ($[\text{massa}]/\text{m}^3$), (x, y) são as coordenadas cartesianas horizontais (m), u_i são as componentes horizontais da velocidade média na vertical (ms^{-1}), H é a profundidade total (m), D é o coeficiente de difusão (m^2s^{-1}), Q é o termo de fontes e sumidouros e t é o tempo (s).

No Anexo II estão apresentados mais pormenores sobre a formulação do modelo lagrangeano. A descrição detalhada do modelo lagrangeano encontra-se em Oliveira e Fortunato (2002).

5 | Calibração e validação do modelo hidrodinâmico SELFE 2D

5.1 Calibração do modelo

Para calibração do modelo hidrodinâmico SELFE, realizaram-se diversas simulações em modo bidimensional. Esta aplicação baseou-se na aplicação anterior do modelo ELCIRC (Zhang *et al.*, 2004) à Ria Formosa, descrita em Portela *et al.* (2011).

A calibração do modelo foi realizada essencialmente por comparação com dados de uma campanha exhaustiva conduzida pelo Instituto Hidrográfico entre Outubro de 1979 e Outubro de 1980.

O domínio horizontal foi discretizado numa malha com 90 056 nós e 176 998 elementos, com resolução espacial variável entre 10 m e 6 km (Figura 5.1). Utilizou-se informação batimétrica de 1980, contemporânea dos dados disponíveis (Figura 5.2). O modelo foi forçado apenas pela maré, com o forçamento imposto a partir da fronteira oceânica. Utilizaram-se 14 constituintes de maré (Z0, MSf, Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2, MN4, M4, MS4 e M6), determinadas através de um modelo regional desenvolvido a partir de Bertin *et al.* (2012). Definiu-se o passo de cálculo para 60 s. O modelo foi iniciado a partir de uma situação de repouso, considerando um período de *warm-up* de dois dias.

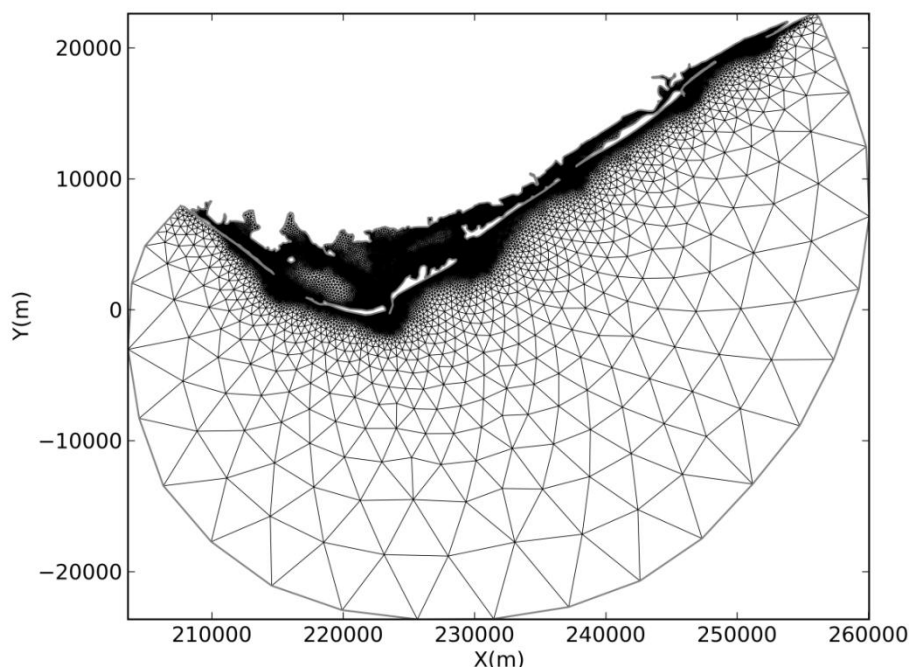


Figura 5.1 – Malha de cálculo utilizada na calibração do modelo hidrodinâmico.

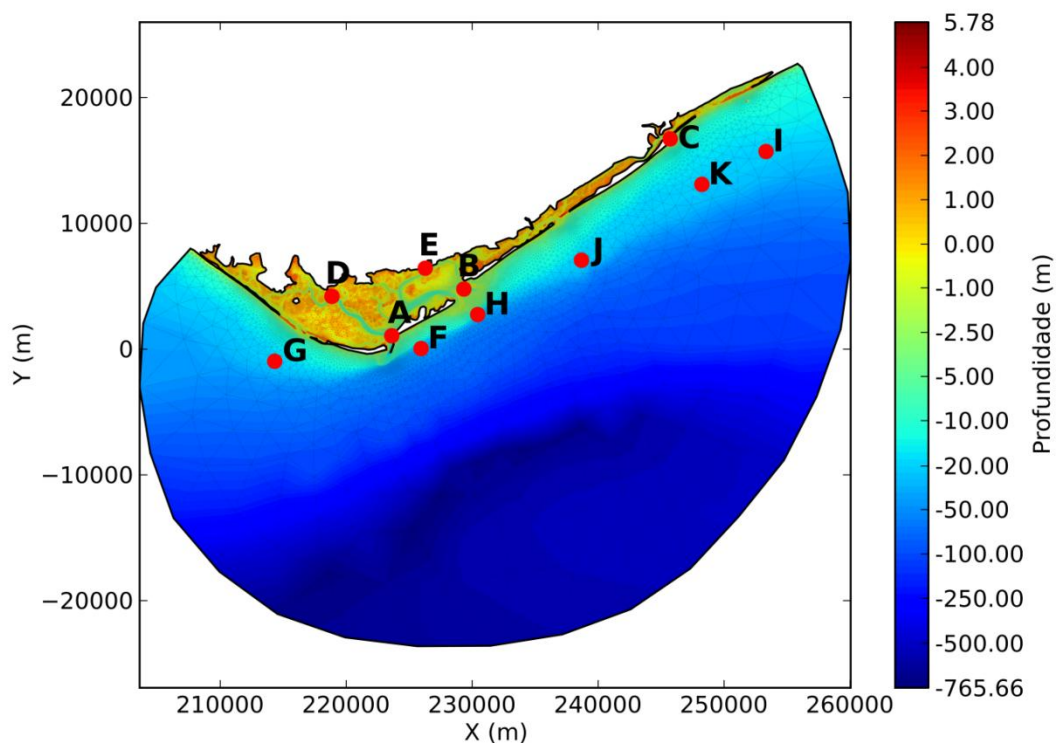


Figura 5.2 – Batimetria e estações utilizadas na calibração do modelo hidrodinâmico.

Foram realizadas diversas simulações preliminares, fazendo variar diferentes parâmetros, nomeadamente o modelo regional utilizado para estabelecer o forçamento na fronteira oceânica e o atrito do fundo. Relativamente ao primeiro parâmetro, testaram-se dois modelos regionais: Fortunato *et al.* (2002) e um modelo regional desenvolvido a partir de Bertin *et al.* (2012). Quanto ao atrito do fundo, testaram-se três opções: coeficiente de Manning constante em todo o domínio horizontal; coeficiente de Manning variável com a profundidade, de acordo com a relação utilizada por Oliveira *et al.* (2006) e proposta por Dias e Lopes (2006); e coeficiente de Manning variável no domínio horizontal de acordo com as características do fundo e segundo a caracterização da ocupação do solo presente nos mapas CORINE Land Cover de 2006. Os melhores resultados foram obtidos com o modelo regional de 2012 e o coeficiente de Manning variável de acordo com os mapas CORINE Land Cover. Como tal, os resultados apresentados referem-se a estas condições.

Realizou-se uma análise harmónica dos níveis e velocidades médias na vertical calculados pelo modelo. A análise harmónica permitiu extrair as amplitudes e fases de todas as constituintes usadas para forçar o modelo. As simulações foram efetuadas para um período de 130 dias, tendo-se realizado a análise harmónica para os últimos 128 dias.

Os resultados de todas as simulações foram comparados com dados disponíveis no período de 1979-1980. Estes dados, descritos por Dias *et al.* (2009), incluem medições de níveis num conjunto de 11 estações, 5 localizadas no interior da Ria e nas barras e 6 na zona costeira exterior (Figura 5.2). Os

dados e os resultados do modelo foram sintetizados para 8 constituintes de maré (MSf, O1, K1, M2, S2, M4, MS4, M6). A Figura 5.3 representa os erros quadráticos médios (EQM) dos resultados do modelo relativamente aos dados de campo, para as 11 estações localizadas no domínio de estudo.

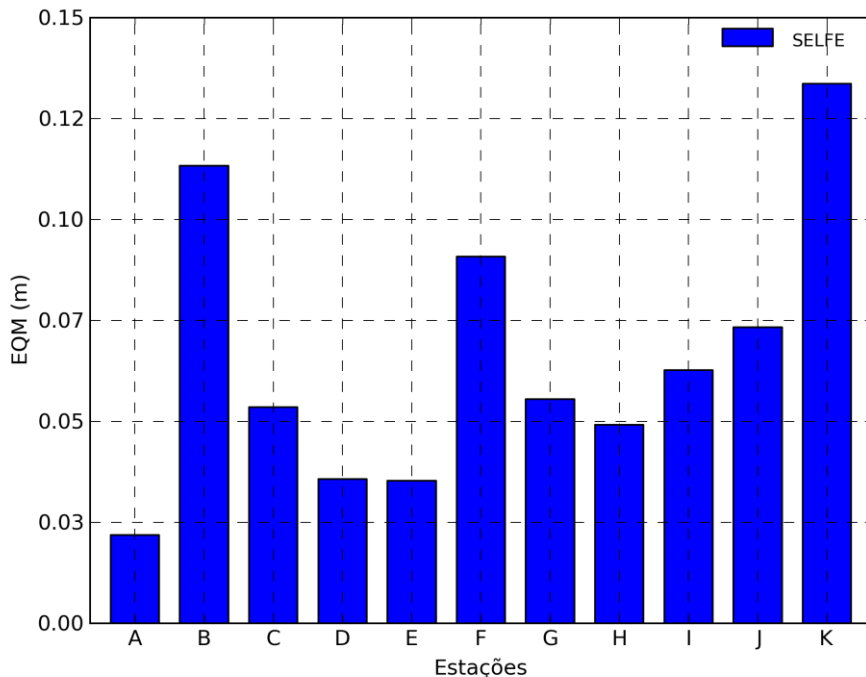


Figura 5.3 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para a simulação com a batimetria de 1980, sintetizados para 8 constituintes de maré (MSF, O1, K1, M2, S2, M4, MS4, M6).

Os erros obtidos variam entre 3 e 13 cm. Pode considerar-se que, em geral, os EQM revelam uma boa concordância entre o modelo e os dados de campo. Os erros são particularmente reduzidos (cerca de 3 cm) nas estações mais interiores (D e E, correspondentes ao Cais Comercial de Faro e à Lota de Olhão), evidenciando uma boa representação da circulação no interior da Ria Formosa.

Compararam-se os erros com aplicações anteriores (Figura 5.4), descritas nos estudos de Dias *et al.* (2009) e Portela *et al.* (2011). Nestes dois casos, as simulações foram executadas com o modelo ELCIRC, com forçamento na fronteira oceânica baseado no modelo regional de Fortunato *et al.* (2002) e atrito do fundo variável em função do coeficiente de Manning, variável com a profundidade, numa adaptação às condições locais da relação proposta por Dias e Lopes (2006) para a Ria de Aveiro. Os erros são significativamente inferiores aos apresentados por Dias *et al.* (2009). Este resultado poderá derivar principalmente das diferenças entre as duas malhas de cálculo, já que a malha utilizada em Dias *et al.* (2009) tinha uma resolução bastante inferior (14 784 nós e 27 990 elementos). Comparativamente aos resultados obtidos por Portela *et al.* (2011), a diferença não é muito significativa. Ainda assim, obtiveram-se erros globalmente inferiores. Deteta-se uma melhoria evidente dos resultados das estações interiores, enquanto nas outras estações os erros apresentam diferenças ligeiras. Pode explicar-se esta melhoria dos resultados com o funcionamento do modelo

SELFE, que representa de forma mais satisfatória a circulação em zonas estuarinas do que o modelo ELCIRC (Zhang e Baptista, 2008). Por outro lado, a diminuição do erro pode ainda estar relacionada com o modelo regional utilizado para a definição das condições de maré na fronteira oceânica e com o método de representação do atrito do fundo adotado.

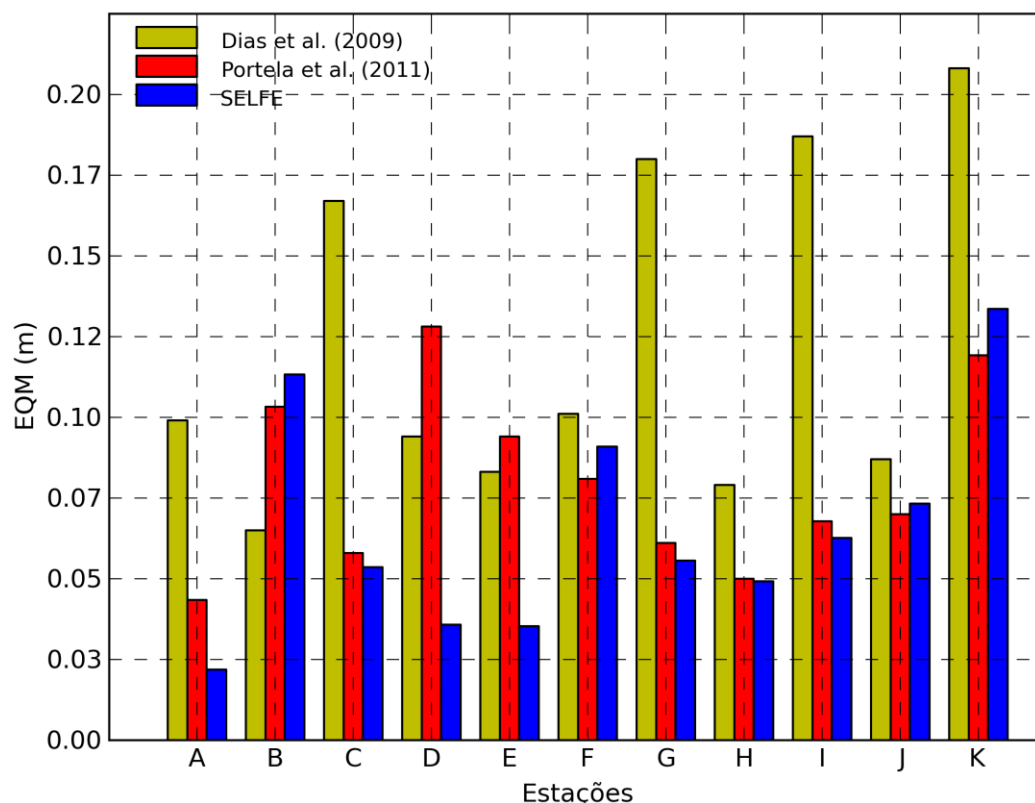


Figura 5.4 – Comparação do erro quadrático médio (EQM) dos níveis com simulações anteriores.

Quanto aos prismas de maré, compararam-se os resultados obtidos para os prismas médios com os de Portela *et al.* (2011). Contudo, os prismas determinados nesse relatório não são comparados com quaisquer dados de campo, servindo esta comparação como um indicador qualitativo dos resultados obtidos. Ainda assim, apesar de algumas diferenças, os resultados são da mesma ordem de grandeza. Compararam-se ainda os resultados com os prismas de maré estimados por Andrade (1990) para a Ria Formosa. Nesse estudo, o cálculo foi executado com recurso a uma malha quadrada com 50 m de lado, adaptada de um levantamento à escala 1:5000 executado pela Direção Geral de Portos em 1975/76. A contribuição de cada barra para o prisma global foi estimada a partir das relações empíricas de Jarrett (1976) entre o prisma de maré e a área de embocadura. Para comparar com os valores apresentados por Andrade (1990), apresentam-se os valores médios entre o prisma de enchente e o prisma de vazante. Apesar das diferenças entre os métodos de cálculo, os resultados têm uma ordem de grandeza aproximada, como se pode verificar na Figura 5.5. Ainda assim, existem algumas diferenças significativas, nomeadamente nos prismas de maré

correspondentes às barras do Ancão e do Lacém, bastante superiores no estudo Andrade (1990). No entanto, no caso da barra do Lacém, o próprio autor considera o valor calculado bastante sobrestimado.

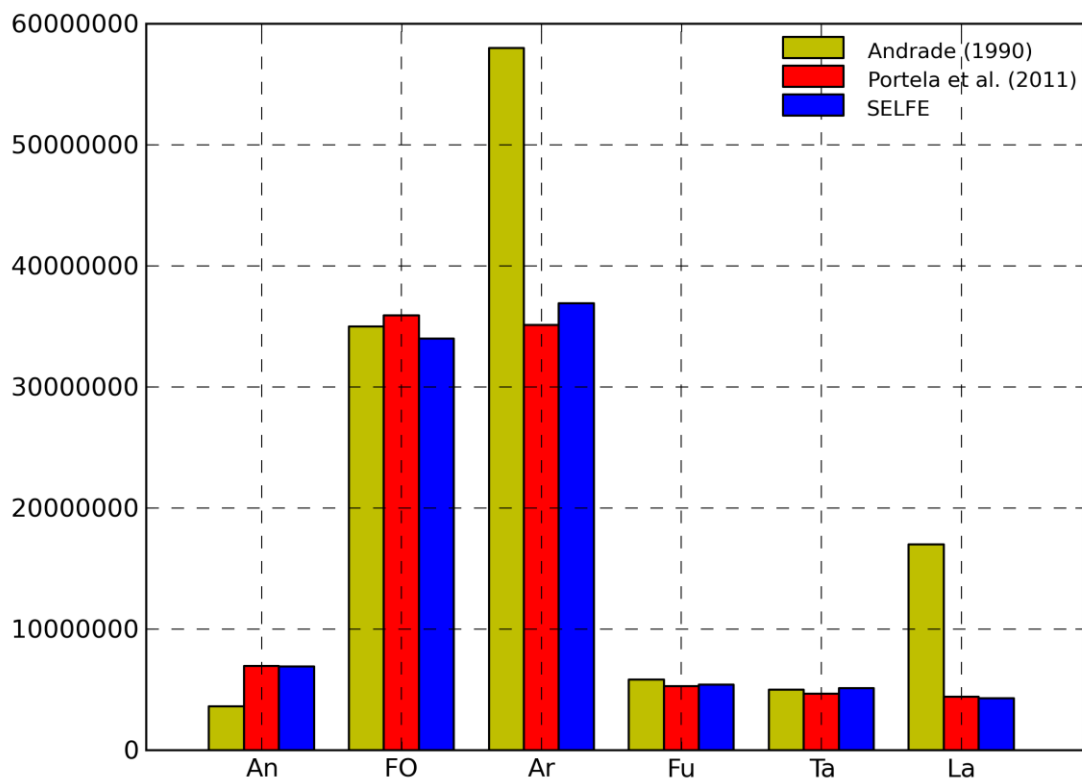


Figura 5.5 – Prismas de maré médios na barra da Ria Formosa (An – barra do Ancão, FO – barra de Faro-Olhão, Ar – barra da Armona, Fu – barra da Fuzeta, Ta – barra de Tavira, La – barra do Lacém).

5.2 Validação do modelo

No decurso do projeto COALA, realizaram-se diversas campanhas nas barras de Faro-Olhão, Armona e Ancão. Para validação do modelo, compararam-se resultados de níveis, velocidades e prismas de maré de uma simulação com o modelo SELFE em modo bidimensional com os dados das campanhas de Outono de 2011 e Primavera de 2012.

Nesse sentido, utilizou-se uma malha de cálculo com informação batimétrica atualizada em certas zonas com dados mais recentes (2001, 2003, 2004, 2008 e 2010), combinados localmente com informação adaptada de fotografia aérea (conforme descrito em Portela *et al.*, 2011) – Figura 5.6. Esta malha possui 90 056 nós e 176 998 elementos (Figura 5.1). Tal como na etapa de calibração, o modelo foi forçado apenas pela maré, com o forçamento imposto a partir da fronteira oceânica.

Utilizaram-se 14 constituintes de maré (Z0, MSf, Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2, K2, MN4, M4, MS4 e M6), determinadas através de um modelo regional desenvolvido a partir de Bertin *et al.* (2012).

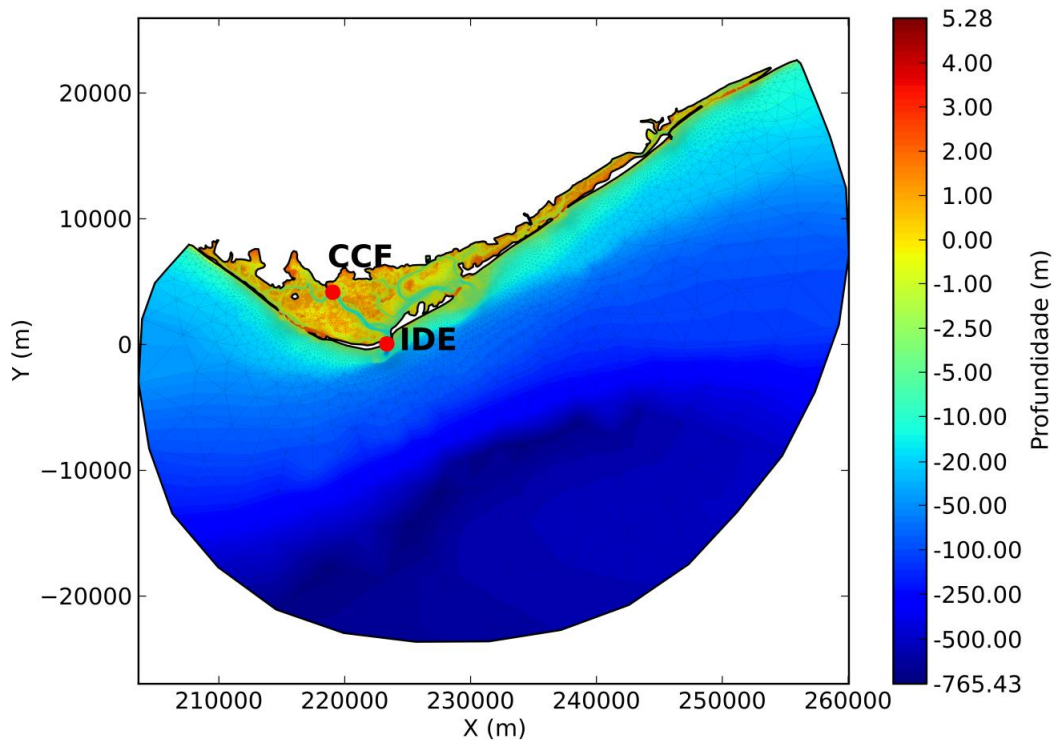


Figura 5.6 – Batimetria e estações utilizadas na validação do modelo hidrodinâmico 3D.

Realizou-se uma análise harmónica dos níveis e velocidades médias na vertical calculados pelo modelo. A análise harmónica permitiu extrair as amplitudes e fases de todas as constituintes usadas para forçar o modelo. As simulações foram efetuadas para um período de 130 dias, tendo-se realizado a análise harmónica para os últimos 128 dias.

Os EQM dos níveis para esta simulação estão apresentados no Quadro 5.1, para os pontos do Cais Comercial de Faro (CCF) e Ilha Deserta (IDE). Compararam-se os resultados da validação com os resultados obtidos com o modelo ELCIRC para a mesma malha, descritos por Jacob *et al.* (2013) (Figura 5.7). Comparativamente aos dados da campanha de Outono de 2011, os EQM são de cerca de 6 cm para o ponto do Cais Comercial de Faro (CCF) e 5 cm para o ponto da Ilha Deserta (IDE). Relativamente à campanha de Primavera de 2012, os EQM são de cerca de 7 cm para o ponto CCF e 6 cm para o ponto IDE. À exceção do ponto CCF, os EQM são ligeiramente mais baixos do que os obtidos com o modelo ELCIRC por Jacob *et al.* (2013). Pode concluir-se que o modelo SELFE representa os níveis ligeiramente melhor que o modelo ELCIRC, especialmente nas zonas interiores.

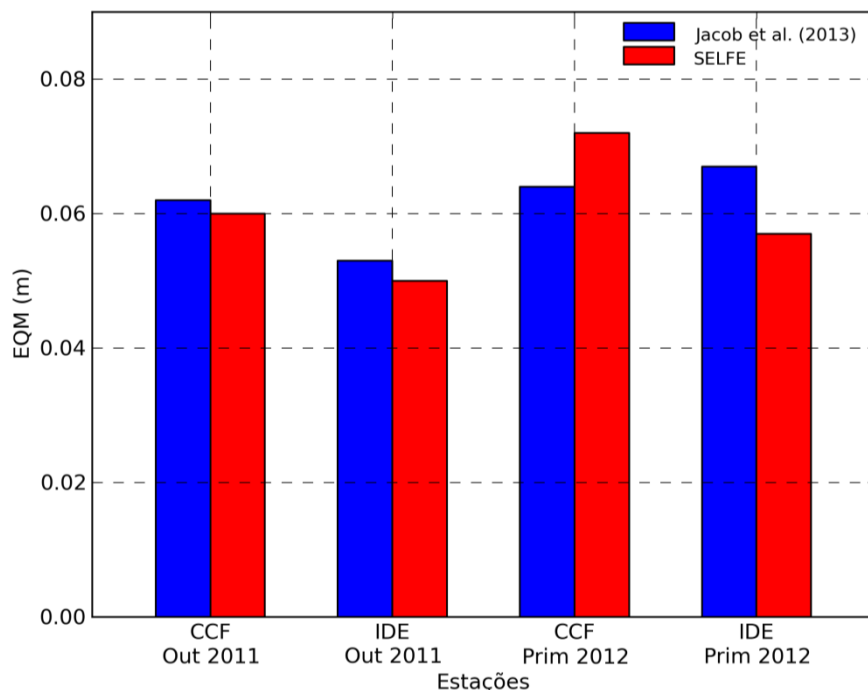


Figura 5.7 – Comparação dos erros quadráticos médios (EQM) dos níveis com simulação anterior (CCF – Cais Comercial de Faro; IDE – Ilha Deserta).

Quadro 5.1 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis (CCF – Cais Comercial de Faro, IDE – Ilha Deserta).

EQM (cm)	Outono 2011		Primavera 2012	
	CCF	IDE	CCF	IDE
ELCIRC (2D)	6,2	5,3	6,4	6,7
SELFE (2D)	6,0	5,0	7,2	5,7

A Figura 5.8 e a Figura 5.9 representam os dados e os resultados do modelo para a velocidade média na secção da barra de Faro-Olhão, para a campanha de Outono de 2011 e Primavera de 2012, tanto nas situações de maré viva como maré morta. Como se pode verificar, os resultados do modelo apresentam bastantes semelhanças com os dados de velocidade adquiridos durante a campanha. No que diz respeito às campanhas de Outono de 2011, os EQM são de cerca de 12 cm/s para a situação de maré viva (24/11/2011) e 6 cm/s para a situação de maré morta (05/12/2011). Para as campanhas de Primavera de 2012, os EQM são de cerca de 6 cm/s para a situação de maré viva (22/03/2012) e 5 cm/s para a situação de maré morta (14/05/2012).

Comparativamente aos resultados de velocidades obtidos com o modelo ELCIRC (Jacob *et al.*, 2013), os erros diminuem cerca de 50%. Esta diferença pode ser explicada pelo funcionamento do modelo

SELFE, que tende a representar as velocidades de uma forma mais satisfatória (Zhang e Baptista, 2008).

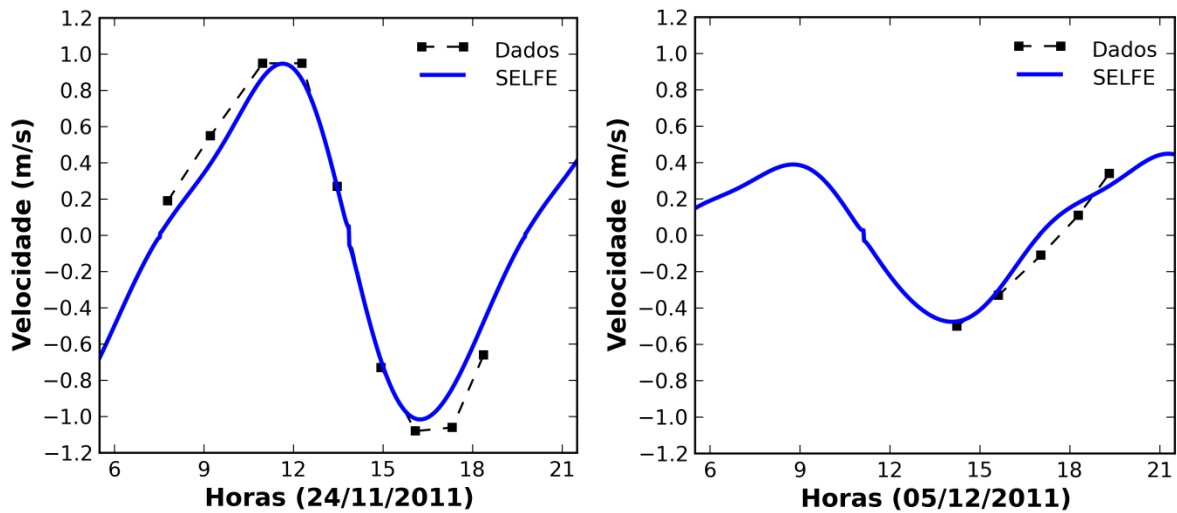


Figura 5.8 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011 – SELFE2D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

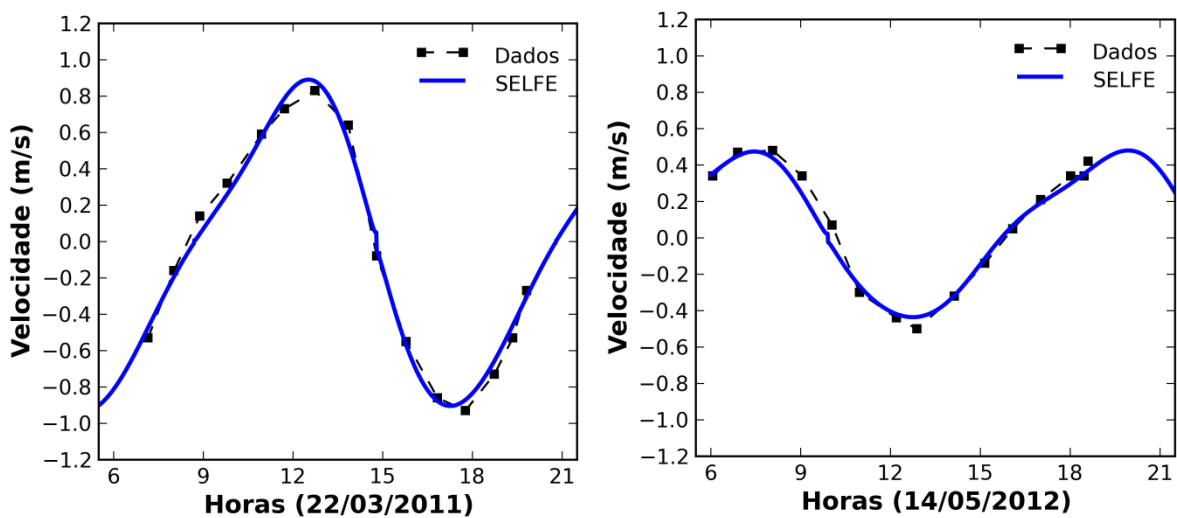


Figura 5.9 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Primavera 2012 – SELFE2D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

Relativamente aos prismas de maré, compararam-se os dados obtidos durante as campanhas experimentais no canal de Faro-Olhão com os resultados do modelo. Escolheu-se o canal de Faro-Olhão para efetuar as comparações, já que a barra está artificialmente estabilizada há várias décadas e a batimetria disponível do canal é bastante recente. A Figura 5.10 e a Figura 5.11 representa a comparação dos resultados dos prismas de maré para as campanhas de Outono de 2011 e Primavera de 2012, tanto na situação de maré-viva (24/11/2011 e 22/03/2012) como maré-morta (05/12/2011 e 14/05/2012). Os resultados são excelentes, com discrepâncias da ordem de 5%.

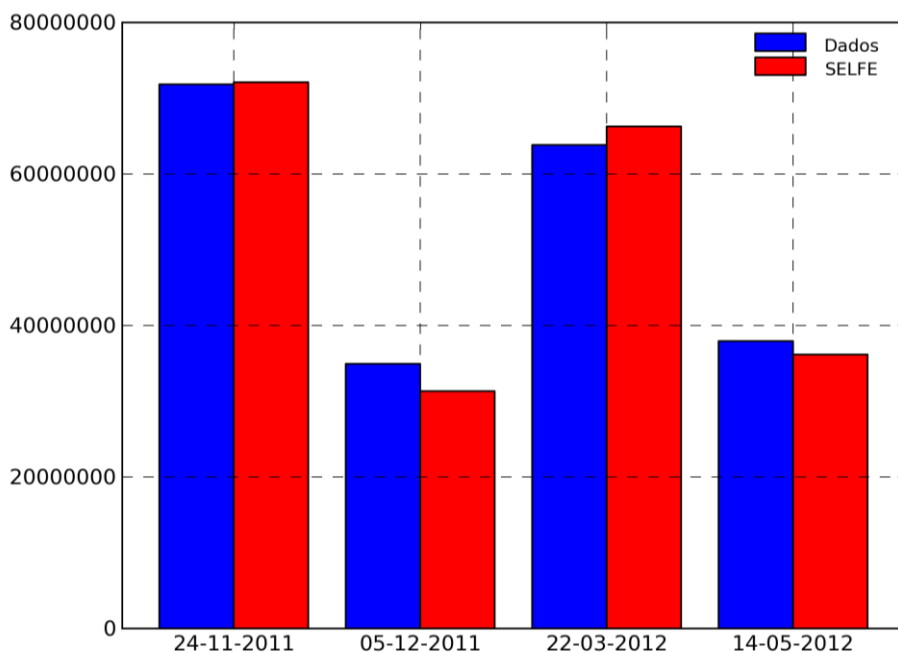


Figura 5.10 – Prismas de maré de enchente no canal de Faro-Olhão: dados de campanha e resultados do modelo (SELFE).

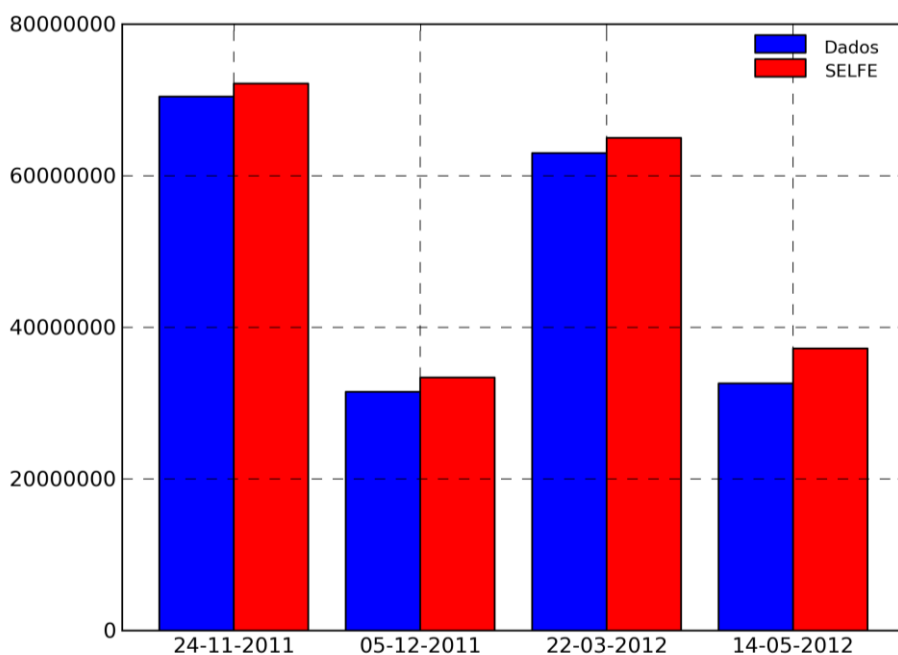


Figura 5.11 – Prismas de maré de vazante no canal de Faro-Olhão: dados de campanha e resultados do modelo (SELFE).

Tendo em conta os resultados de níveis, velocidades e prismas de maré apresentados, pode considerar-se o modelo validado.

6 | Calibração e validação do modelo hidrodinâmico SELFE 3D

6.1 Introdução

Feita a calibração do modelo em modo bidimensional, estendeu-se o funcionamento do modelo ao modo tridimensional. Tendo em conta os dados recolhidos no âmbito das campanhas do projeto COALA e as conclusões de outros autores, pode afirmar-se que a Ria Formosa é um sistema verticalmente bem misturado, sem evidência de estratificação salina ou térmica, devido à reduzida entrada de água doce e à predominância do efeito da maré na circulação de água no seu interior (Newton e Mudge, 2003; Pacheco *et al.*, 2010; Jacob *et al.*, 2012). Assim sendo, para os objetivos do presente estudo, considerou-se adequado o funcionamento do modelo em modo tridimensional barotrópico.

O primeiro passo da adaptação do modelo ao modo tridimensional foi a discretização do domínio vertical numa malha. O modelo SELFE utiliza um sistema híbrido de coordenadas verticais, que combina a utilização de coordenadas *S*, que seguem a configuração do terreno, com coordenadas *Z* (Zhang e Baptista, 2008). Numa fase preliminar, testaram-se três malhas verticais, tendo-se variado o número de níveis *S* (6, 11 e 16) e considerando 4 níveis *Z* entre os 100 m e os 767 m. Os resultados obtidos para os níveis e velocidades com três malhas testadas não apresentaram diferenças significativas. Dessa forma, nas simulações posteriores utilizou-se uma malha vertical com 7 níveis *S* até aos 100 m de profundidade, 4 níveis *Z* entre os 100 m e os 767 m, com a seguinte distribuição: 100 m, 234 m, 452 m e 767 m.

Dado que as simulações com passo de cálculo de 60 segundos, utilizado no modelo em modo bidimensional, revelaram oscilações nas velocidades em algumas zonas do domínio, procedeu-se à avaliação de valores inferiores de passo de cálculo (15 e 30 segundos). Com base nos resultados destas simulações, adotou-se um passo de cálculo de 15 segundos para as simulações em modo tridimensional.

Relativamente ao atrito do fundo, em modo tridimensional o modelo SELFE permite contabilizar este fator de duas formas distintas: através da rugosidade do fundo (em metros) ou diretamente através do coeficiente de arrastamento. Realizaram-se diversas simulações com parametrizações distintas:

- Coeficiente de arrastamento uniforme em todo o domínio horizontal;
- Coeficiente de arrastamento variável no domínio horizontal com as características do fundo e estimado a partir da caracterização da ocupação do solo presente nos mapas CORINE Land Cover de 2006, com base nos resultados das simulações em modo bidimensional;
- Rugosidade do fundo variável no domínio horizontal, obtida a partir da distribuição espacial do coeficiente de Manning para a qual o modelo foi calibrado no modo bidimensional, baseada na caracterização da ocupação do solo presente nos mapas CORINE Land Cover de 2006, utilizando para isso a fórmula enunciada por Zheng *et al.* (2013).

As simulações baseadas nas primeiras duas hipóteses revelaram oscilações que invalidaram os respetivos resultados, adotando-se por isso a última parametrização. Nesta formulação, os valores da rugosidade no domínio variam entre 10^{-5} m junto à fronteira oceânica e 0,1 m em algumas zonas interiores.

6.2 Calibração do modelo

Para calibrar o modelo em modo tridimensional barotrópico, recorreu-se a uma metodologia semelhante à já utilizada na calibração do modelo bidimensional, comparando os resultados de níveis e velocidades de uma simulação com os dados recolhidos entre 1979 e 1980, descritos por Dias *et al.* (2009). Os dados e os resultados do modelo foram sintetizados para 8 constituintes de maré (MSf, O1, K1, M2, S2, M4, MS4, M6). A Figura 6.1 representa os EQM dos resultados do modelo relativamente aos dados de campo, para as 11 estações localizadas no domínio de estudo.

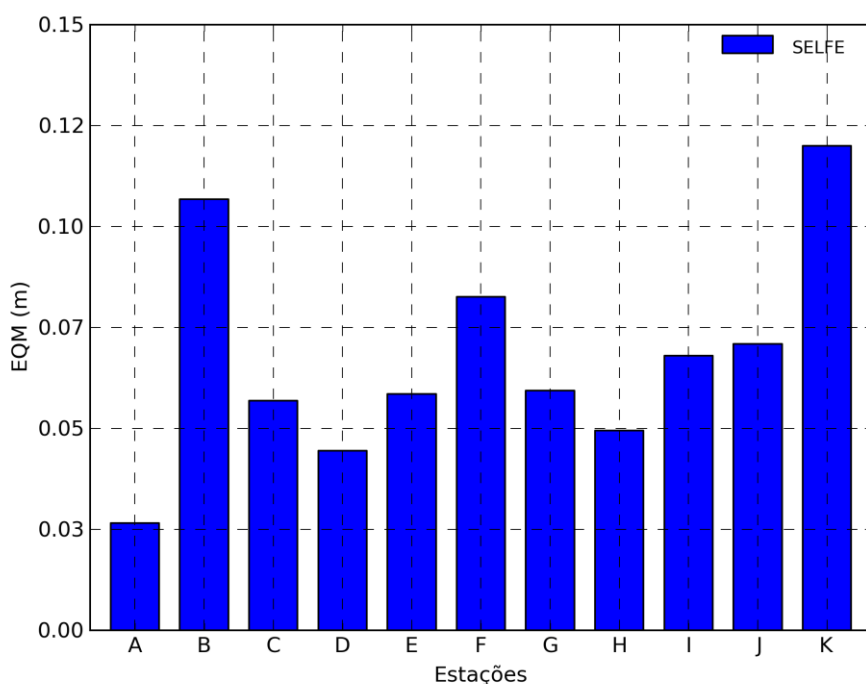


Figura 6.1 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para a simulação 3D com a batimetria de 1980, sintetizados para 8 constituintes de maré (MSf, O1, K1, M2, S2, M4, MS4, M6).

Os erros obtidos variam entre 3 e 12 cm. Em geral, os EQM são muito semelhantes aos valores obtidos na simulação em modo bidimensional. Em alguns pontos assiste-se a uma ligeira redução dos erros (pontos B e K, por exemplo), enquanto noutros pontos se regista um ligeiro aumento (pontos A e E, por exemplo). Em ambos os casos, os erros encontram-se num intervalo considerado aceitável.

6.3 Validação do modelo

Também na validação do modelo em modo tridimensional barotrópico se recorreu a uma metodologia semelhante à já utilizada na validação do modelo bidimensional, comparando-se resultados de níveis e velocidades de uma simulação com os dados das campanhas de Outono de 2011 recolhidos no âmbito do projeto. Executaram-se simulações abrangendo esse período específico, considerando uma duração de 70 dias, o modelo iniciado a partir de uma situação de repouso e um período de *warm-up* de dois dias. A comparação das séries temporais de níveis, para os pontos do Cais Comercial de Faro (CCF) e Ilha Deserta (IDE), está ilustrada nas Figura 6.2 e Figura 6.3. O Quadro 6.1 apresenta os EQM dos níveis, para os mesmos pontos.

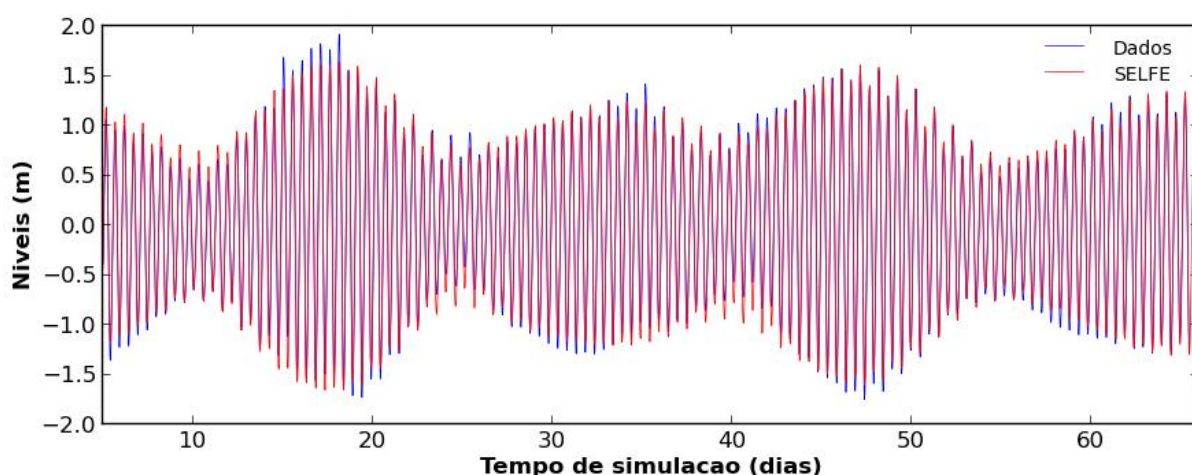


Figura 6.2 – Comparação entre séries temporais de níveis (Cais Comercial de Faro, CCF). Tempo em dias desde 10/10/2011.

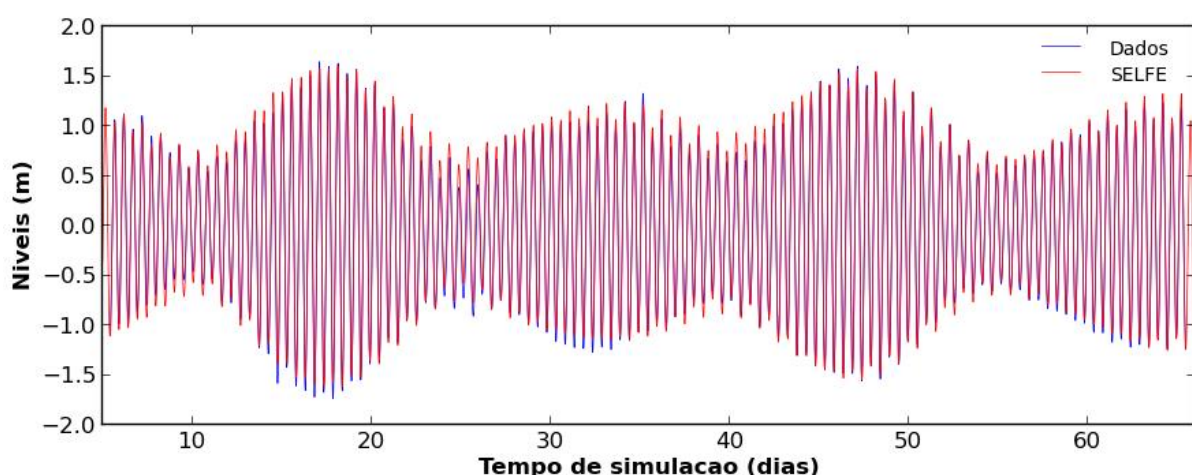


Figura 6.3 – Comparação entre séries temporais de níveis (Ilha Deserta, IDE). Tempo em dias desde 10/10/2011.

Quadro 6.1 – Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para simulações em modo bidimensional e tridimensional (CCF – Cais Comercial de Faro; IDE – Ilha Deserta).

EQM (cm)		Outono 2011	
		CCF	IDE
Séries completas	SELFE (2D)	12,1	8,0
	SELFE (3D)	10,9	8,7
Séries sintetizadas	SELFE (2D)	6,0	5,0
	SELFE (3D)	4,8	5,1

Em relação à simulação em modo bidimensional, observa-se uma redução do erro em 1,2 cm no ponto CCF, no interior da Ria, verificando-se um ligeiro aumento do EQM no ponto IDE, junto à barra de Faro-Olhão. Em ambos os casos, no modo bidimensional e no modo tridimensional, os erros encontram-se num intervalo considerado aceitável.

As Figura 6.4 e Figura 6.5 apresentam a comparação entre os dados e os resultados do modelo para a velocidade média na secção da barra de Faro-Olhão e da Armona, respetivamente, para a campanha de Outono de 2011, tanto nas situações de maré viva como maré morta. Como se pode verificar, e tal como acontecia no modo bidimensional, os resultados do modelo apresentam uma excelente concordância com os perfis de velocidade adquiridos durante a campanha. Para a barra de Faro-Olhão, os EQM são de cerca de 17 cm/s para a situação de maré viva (24/11/2011) e 7 cm/s para a situação de maré morta (05/12/2011). Para a barra da Armona, os EQM são de cerca de 13 cm/s para a situação de maré viva (23/11/2011) e 8 cm/s para a situação de maré morta (06/12/2011). Os resultados das Figura 6.4 e Figura 6.5 evidenciam que o modelo tende a sobrestimar as velocidades médias relativas à barra da Armona e subestimar as velocidades médias relativas à barra de Faro-Olhão, em particular em situação de maré viva. Uma possível explicação para este fenómeno pode estar associada à batimetria utilizada, a qual em algumas zonas do domínio não é contemporânea dos dados. Na zona da barra da Armona, por exemplo, a batimetria data essencialmente de 1980. Diversos estudos (Vila-Concejo *et al.*, 2002, Pacheco *et al.*, 2010, Portela *et al.*, 2011, Jacob *et al.*, 2013) mencionam uma tendência de estreitamento da barra da Armona, verificada ao longo das últimas décadas, que tem levado a uma perda de eficiência no escoamento.

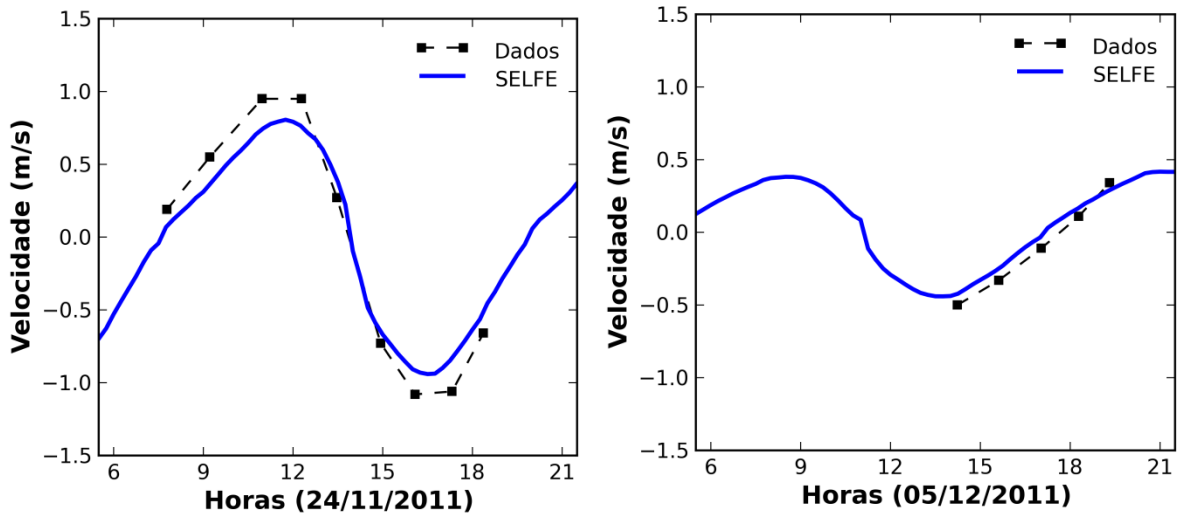


Figura 6.4 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

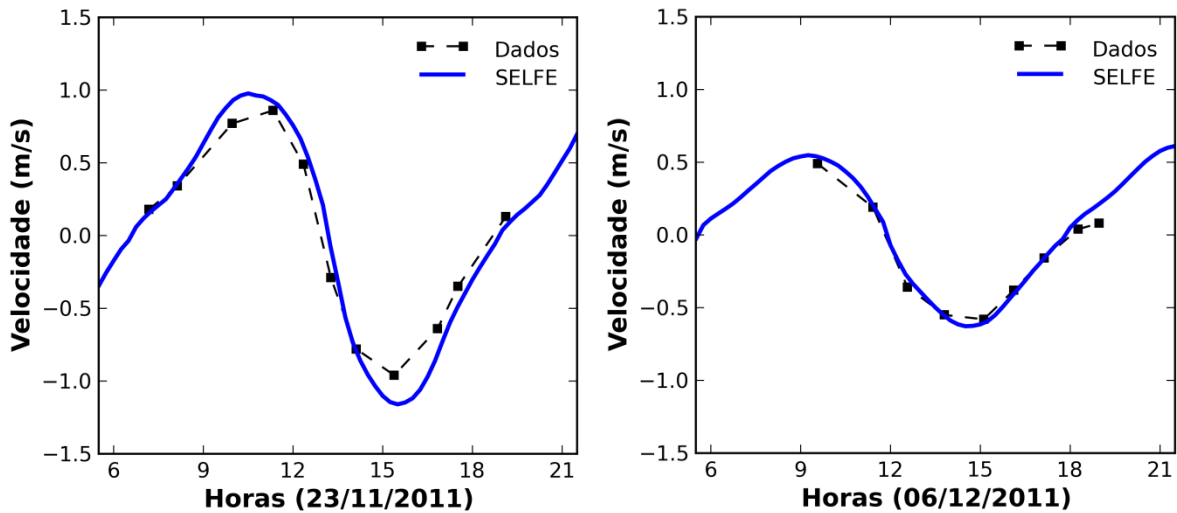


Figura 6.5 – Velocidades médias na barra da Armonia nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

As Figura 6.6 e Figura 6.7 apresentam a comparação entre os resultados do modelo para a velocidade média em secções dos canais de Faro e Olhão, respetivamente, para a campanha de Outono de 2011, tanto na situação de maré viva como maré morta. Para o canal de Faro, os EQM são de cerca de 8 cm/s para a situação de maré viva (24/11/2011) e 10 cm/s para a situação de maré morta (05/12/2011). Para o canal de Olhão, os EQM são de cerca de 8 cm/s para a situação de maré viva (24/11/2011) e 5 cm/s para a situação de maré morta (05/12/2011). No caso do canal de Faro em situação de maré viva, os resultados apresentam algumas oscilações, provavelmente associadas à batimetria no local. Segundo Bruneau *et al.* (2010), a zona da secção corresponde a uma área de intersecção de batimetrias com origens distintas, o que pode justificar esta ocorrência. No resto dos

casos, os resultados do modelo apresentam bastantes semelhanças com os perfis de velocidade adquiridos durante a campanha.

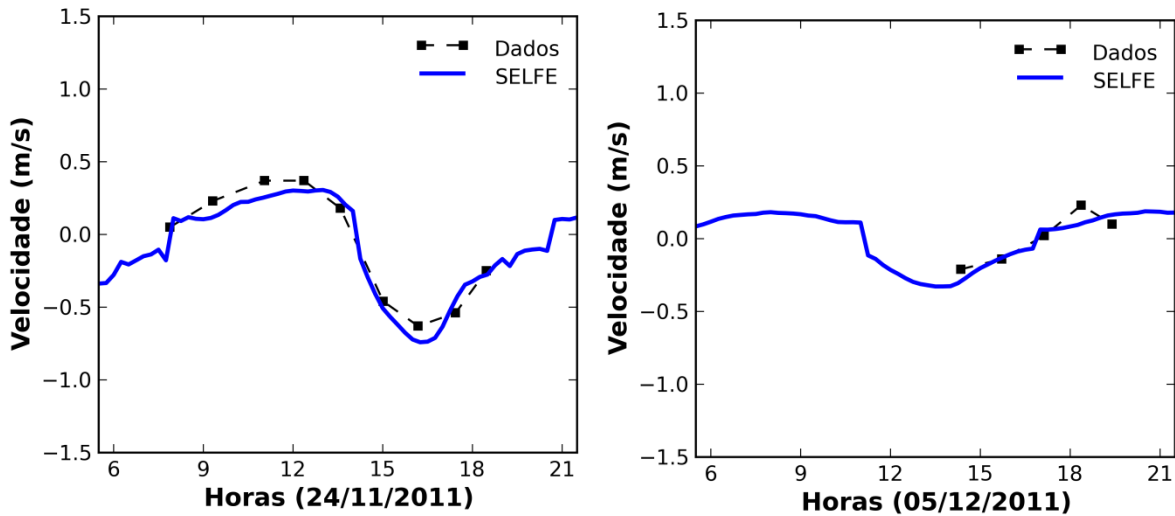


Figura 6.6 – Velocidades médias no canal de Faro nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

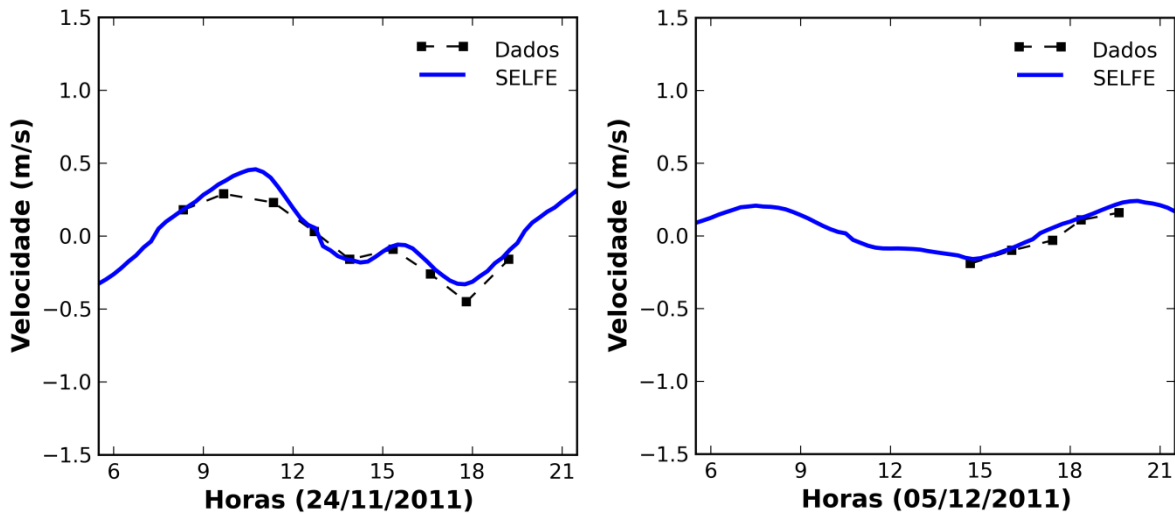


Figura 6.7 – Velocidades médias no canal de Olhão nas campanhas de Outono 2011 – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

Tendo em conta os resultados de níveis e velocidades, pode considerar-se o modelo validado. O modelo representa adequadamente os principais padrões de circulação na zona em estudo. Os resultados parecem até indiciar uma ligeira melhoria da representação da circulação em zonas de profundidade reduzida utilizando o modelo tridimensional.

6.4 Forçamento atmosférico

Realizaram-se também simulações onde, em simultâneo com o forçamento de maré, foi introduzido o forçamento atmosférico. Para isso, forçou-se o modelo com as condições de vento verificadas nos dias da campanha de Outono do projeto COALA. Os dados referem-se à estação meteorológica do Aeroporto de Faro e incluem informação relativa ao sentido e intensidade do vento, com intervalos de 30 minutos. O resultado dos EQM dos níveis, para os pontos do Cais Comercial de Olhão (CCO) e Ilha Deserta (IDE), está descrito no Quadro 6.2.

As Figura 6.8 e Figura 6.9 representam a comparação, para a simulação sem vento e com vento, das velocidades médias na secção da barra de Faro-Olhão e na da Armona, respetivamente, na campanha de Outono de 2011 tanto nas situações de maré viva como maré morta. Os resultados das simulações sem vento e com vento são muito semelhantes e não é possível identificar qualquer tendência. Os elementos disponíveis sugerem que a influência do forçamento atmosférico nestas datas é reduzida, confirmando as indicações de autores como Salles *et al.* (2005). Numa fase posterior deste trabalho, numa comparação de diversos cenários, proceder-se-á à análise das direcções de vento mais frequentes e na sua influência na hidrodinâmica e na circulação de partículas dentro da Ria Formosa.

Quadro 6.2 - Erro quadrático médio (EQM) dos níveis para simulações com e sem forçamento atmosférico.

EQM (cm)		Outono 2011	
		CCF	IDE
Séries completas SELFE (3D)	Sem vento	10,9	8,7
	Com vento	11,3	8,6

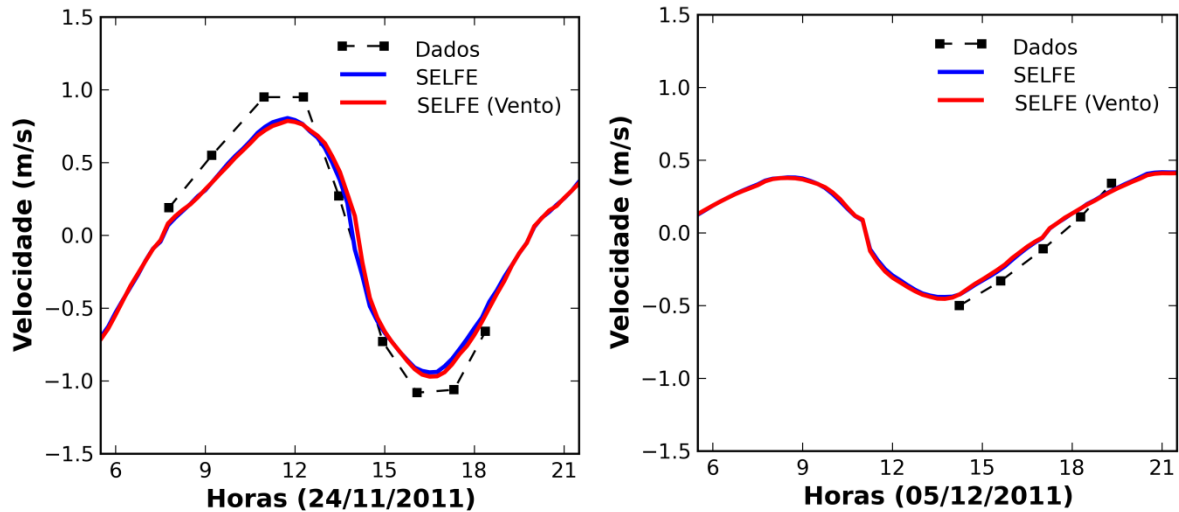


Figura 6.8 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações sem e com vento – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

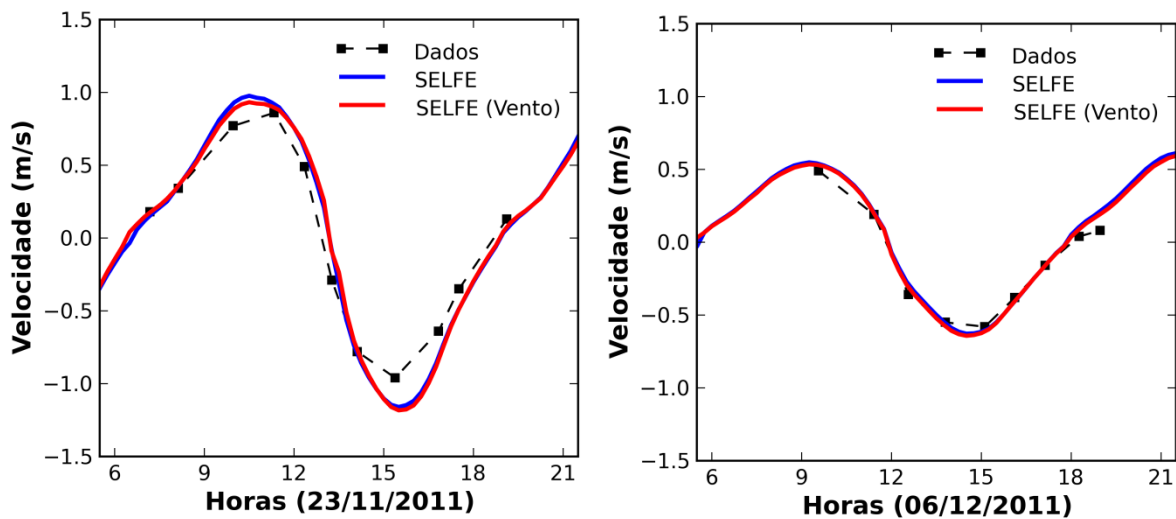


Figura 6.9 – Velocidades médias na barra da Armonia nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações sem e com vento – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

6.5 Batimetria

Dado que a informação batimétrica utilizada não é contemporânea dos dados recolhidos no âmbito das campanhas do projeto, testou-se ainda, de forma preliminar, o modelo com uma batimetria baseada nos levantamentos topográficos e batimétricos executados recentemente, entre 2011 e 2013, ao longo da costa portuguesa com equipamento LiDAR (*Light Detection And Ranging*) (Silva *et al.*, 2012). O uso de LiDAR aerotransportado constitui uma inovação importante, especialmente em zonas como a Ria Formosa, onde a extensão da área e a limitações do acesso tornam difícil e

dispendioso o uso de métodos batimétricos tradicionais. Trata-se por isso de um conjunto de dados importante, com grande detalhe e precisão.

Foi necessário proceder à adaptação desta informação à batimetria existente, já que os dados obtidos com equipamento LiDAR estão limitados a uma faixa costeira com uma largura aproximada de 1 km e uma profundidade máxima à volta de 15 m, cobrindo a área da malha apenas de forma parcial. Refira-se que os resultados apresentados seguidamente são ainda preliminares e apresentados a título exclusivamente comparativo, dado que a compatibilização na zona de transição entre os dados LiDAR e a batimetria existente ainda carece de melhorias, que excedem o âmbito deste projeto.

Os EQM dos níveis, para os pontos do Cais Comercial de Faro (CCF) e Ilha Deserta (IDE), estão apresentados no Quadro 6.3. Os resultados são muito semelhantes entre as duas batimetrias utilizadas.

A Figura 6.10 e a Figura 6.11 representam a comparação, para a batimetria de referência e a batimetria LiDAR, das velocidades médias na secção da barra de Faro-Olhão e da Armona, respetivamente, na campanha de Outono de 2011 tanto nas situações de maré viva como maré morta. Se na barra de Faro-Olhão as velocidades são praticamente coincidentes, para a barra da Armona conseguem distinguir-se algumas diferenças e os resultados de velocidade média da simulação com a batimetria LiDAR parecem representar melhor os dados (EQM de cerca de 11 cm/s em vez de 13 cm/s para a situação de maré viva (23/11/2011) e 7 cm/s em vez de 8 cm/s para a situação de maré morta (06/12/2011)). No caso da barra de Faro-Olhão, a grande semelhança entre os resultados para ambas as batimetrias pode ser justificada pela natureza da barra e pela origem da batimetria, relativamente recente (corresponde a levantamentos executados entre 2004 e 2008). Quanto à barra da Armona, como já foi referido anteriormente, a batimetria de referência data essencialmente de 1980. Entretanto, ao longo das últimas décadas verificou-se um progressivo estreitamento na barra da Armona, que tem conduzido a uma perda de eficiência no escoamento através da barra (Vila-Concejo *et al.*, 2002, Pacheco *et al.*, 2010, Jacob *et al.*, 2013). Os resultados da simulação com a batimetria LiDAR são consistentes com essa tendência.

Quadro 6.3 – Erro quadrático médio dos níveis para simulações com batimetria de referência e com batimetria LiDAR (CCF – Cais Comercial de Faro; IDE – Ilha Deserta).

EQM (cm)		Outono 2011	
		CCF	IDE
Séries completas SELFE (3D)	Batimetria de referência	10,9	8,7
	Batimetria LiDAR	11,1	8,8
Séries sintetizadas SELFE (3D)	Batimetria de referência	4,8	5,1
	Batimetria LiDAR	5,2	5,2

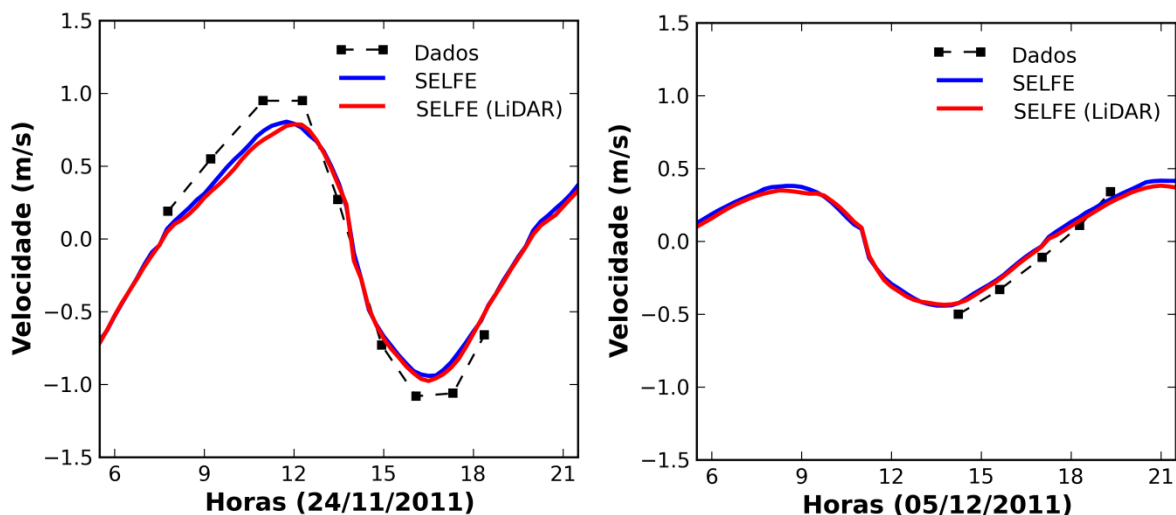


Figura 6.10 – Velocidades médias na barra de Faro-Olhão nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

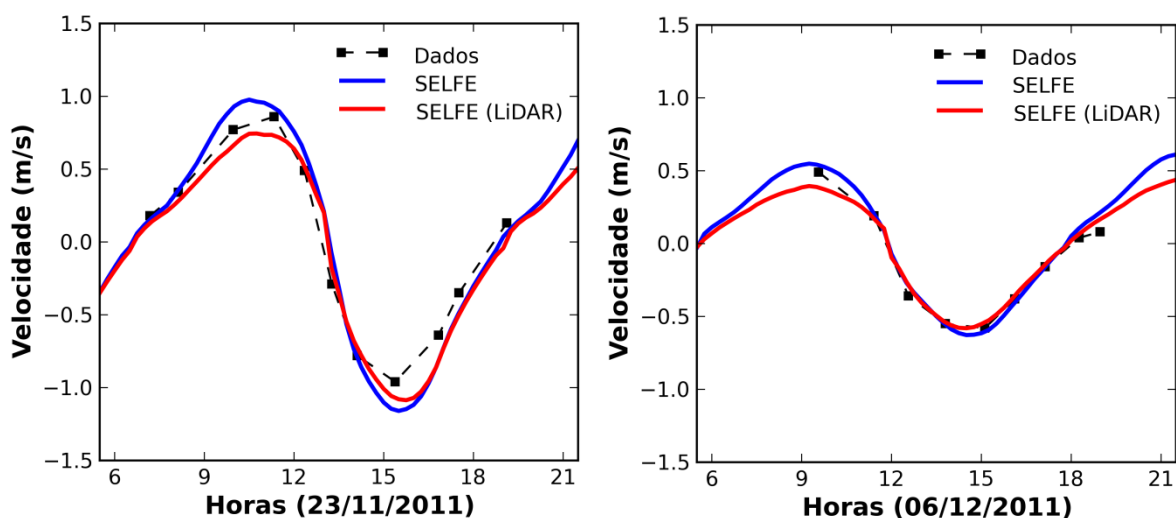


Figura 6.11 – Velocidades médias na barra da Armona nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

Relativamente aos canais de Faro e Olhão, os resultados são bastante semelhantes aos obtidos com a batimetria de referência (Figura 6.12 e Figura 6.13). Para o canal de Faro, os EQM são de cerca de 9 cm/s (em vez de 8 cm/s) para a situação de maré viva (24/11/2011) e 7 cm/s (em vez de 10 cm/s) para a situação de maré morta (05/12/2011). Para o canal de Olhão, os EQM são de cerca de 8 cm/s (tal como na situação anterior) para a situação de maré viva (24/11/2011) e 4 cm/s (em vez de 5 cm/s) para a situação de maré morta (05/12/2011). Neste caso, em termos de EQM, as diferenças são marginais. A única diferença observa-se no perfil de velocidades no canal de Faro, que no caso

da batimetria LiDAR, como a informação batimétrica provém de um único levantamento, não apresenta as oscilações verificadas no caso da batimetria padrão.

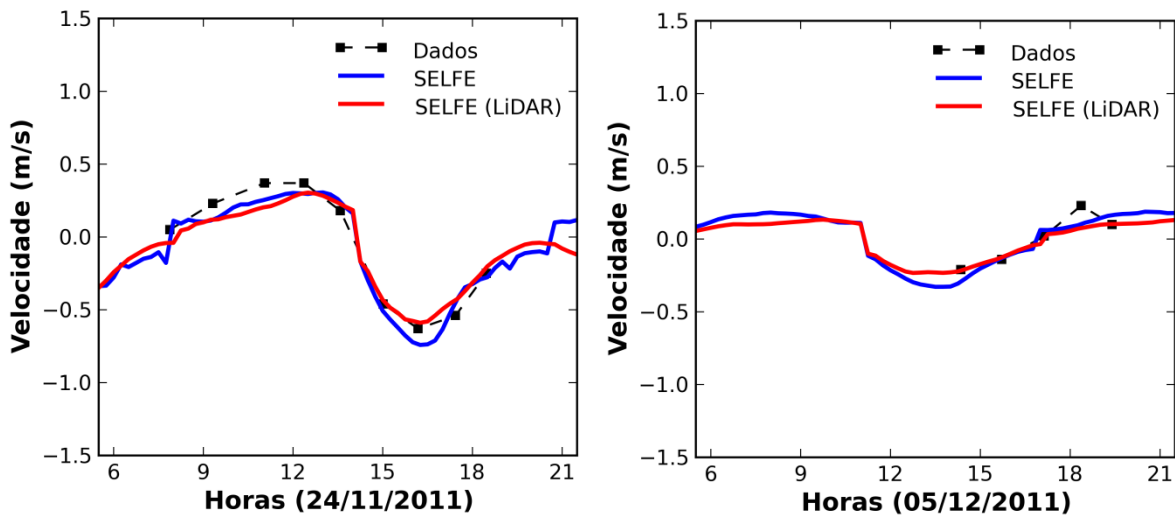


Figura 6.12 – Velocidades médias no canal de Faro nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

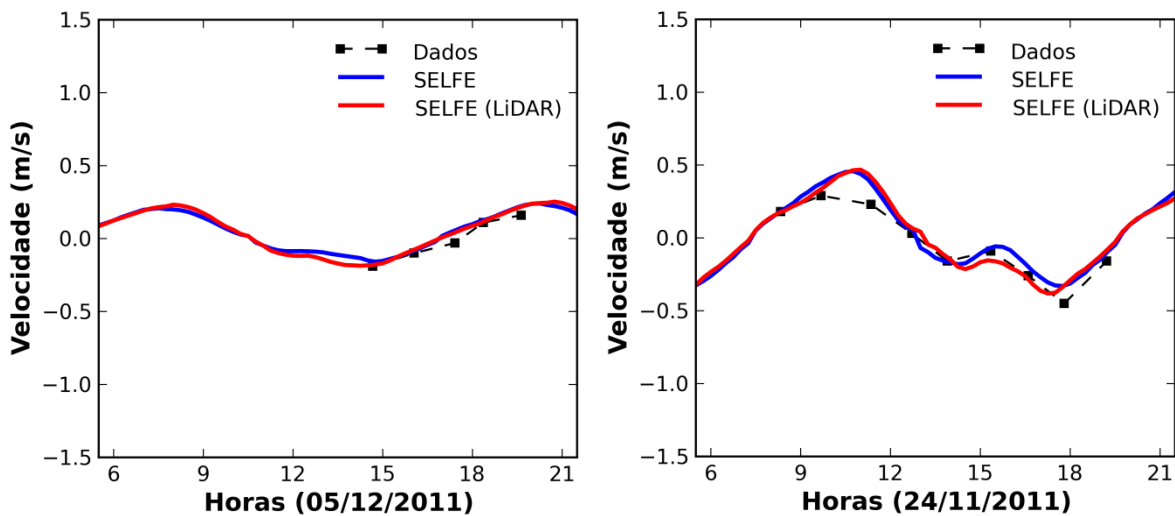


Figura 6.13 – Velocidades médias no canal de Faro nas campanhas de Outono 2011: comparação entre as simulações com a batimetria de referência e a batimetria LiDAR – SELFE3D. Os valores positivos referem-se ao período de enchente e os valores negativos referem-se ao período de vazante.

As pequenas diferenças observadas entre as simulações efetuadas com as duas batimetrias indicam que, apesar de a batimetria de referência ter sido construída como um mosaico de dados colhidos ao longo de várias décadas, esta constitui uma boa aproximação da batimetria atual. Visto de outra forma, a batimetria apenas contribui marginalmente para os erros observados nas simulações com a batimetria de referência. Nestas condições, a exploração do modelo apresentada de seguida é feita usando a batimetria de referência.

7 | Análise de influência dos forçamentos na circulação e no transporte

7.1 Definição de cenários

Para analisar a influência dos forçamentos na circulação e no transporte dentro da Ria Formosa, foram simulados diversos cenários. Para além do cenário base com a simulação de referência (sem forçamento atmosférico, com a batimetria de referência e sem caudais de água doce), simularam-se cenários variando o vento, a configuração batimétrica e o caudal descarregado por várias estações de tratamento de águas residuais (ETAR) localizadas na zona de estudo.

Relativamente ao forçamento atmosférico, recorreu-se a dados estatísticos do vento, recolhidos na estação de Faro/Aeroporto entre 1970 e 1980, nomeadamente as direções mais frequentes e a velocidade média correspondente a cada uma. De acordo com estes dados, consideraram-se cinco cenários, correspondentes às direções mais frequentes:

- Vento com direção de Oeste (frequência de 20,9% e velocidade média de 16 km/h);
- Vento com direção de Noroeste (17,3% e 13,5 km/h);
- Vento com direção de Sudoeste (13,0% e 16,1 km/h);
- Vento com direção de Este (12,6% e 16,6 km/h);
- Vento com direção de Norte (11,0% e 11,6 km/h).

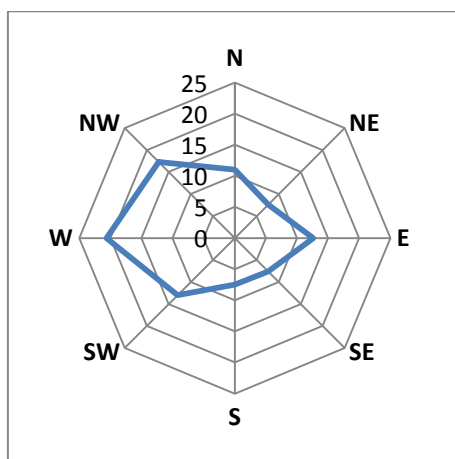


Figura 7.1 – Frequência de ocorrência das direções de vento em Faro (Fonte: INMG, 1991)

Quanto à batimetria, consideraram-se três cenários adicionais (Figura 7.2):

- Fecho hipotético da barra do Ancão;
- Cenário com informação batimétrica dos anos 80;
- Cenário com informação batimétrica baseada no levantamento LiDAR.

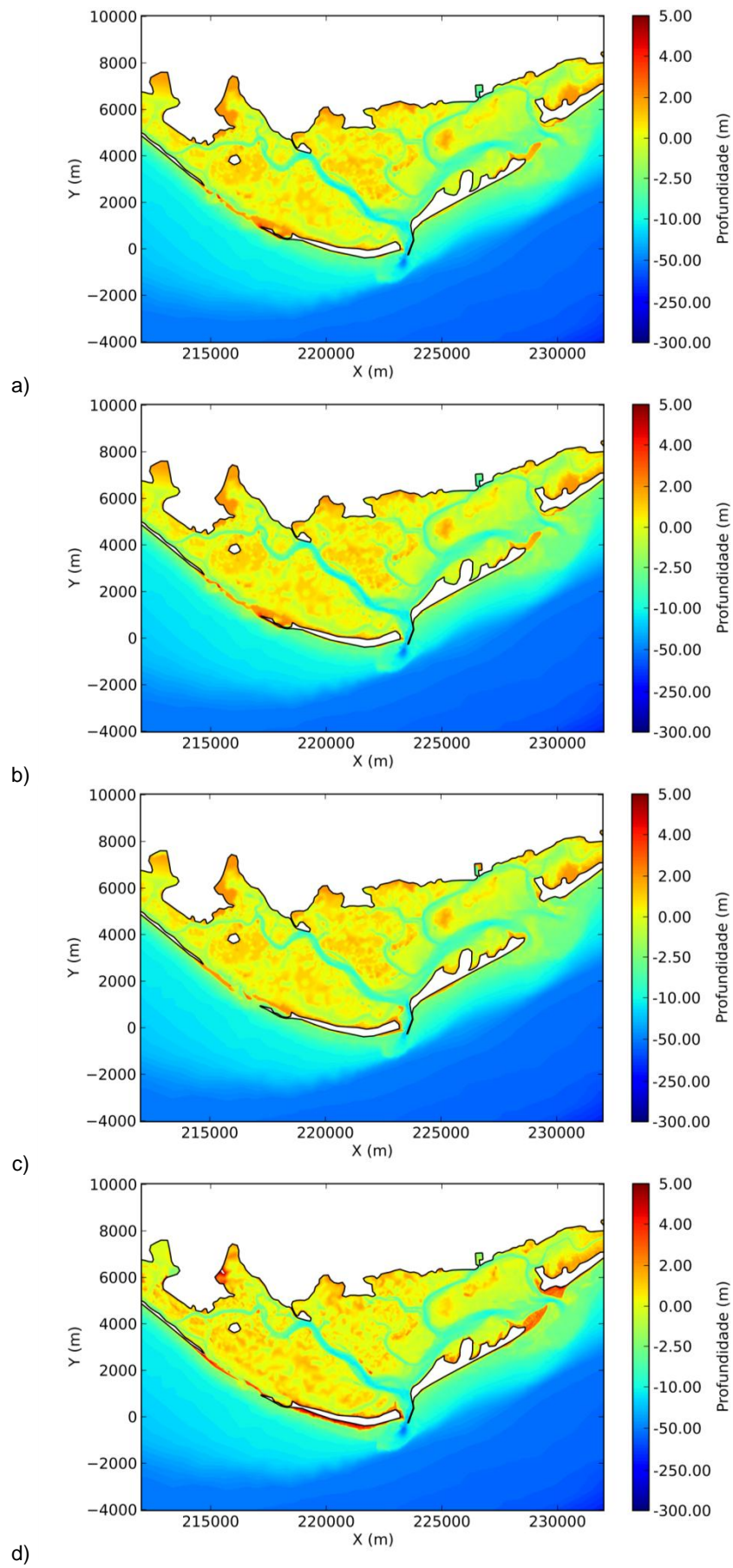


Figura 7.2 – Batimetrias utilizadas nos cenários: a) cenário de referência, b) fecho do Ancão, c) anos 80 e d) LiDAR.

Por último, simulou-se a influência das descargas de quatro ETAR localizadas na zona de estudo na circulação de partículas dentro do sistema: ETAR Faro-Noroeste (caudal médio de 0,042 m³/s); ETAR Faro-Nascente (caudal médio de 0,093 m³/s); ETAR Olhão-Poente (caudal médio de 0,060 m³/s); e ETAR Olhão-Nascente (caudal médio de 0,019 m³/s). Consideraram-se três cenários para os caudais das ETAR, para entrar em conta com o efeito da precipitação: caudais médios das quatro ETAR, e caudais 50% e 100% acima da média:

No Quadro 7.1 sumariam-se os cenários considerados.

Quadro 7.1 – Descrição dos cenários analisados.

	Cenário	Variável	Descrição
0	Base	Base	Sem vento, sem caudal das ETAR, batimetria de referência
1	Wind_W		Vento de Oeste
2	Wind_NW		Vento de Noroeste
3	Wind_SW	Vento (constante em todo o domínio)	Vento de Sudoeste
4	Wind_E		Vento de Este
5	Wind_N		Vento de Norte
6	Fecho BAN		Fecho da barra do Ancão
7	Anos 80	Batimetria	Batimetria dos anos 80
8	LiDAR		Batimetria LiDAR
9	ETAR 1		Caudal médio das quatro ETAR
10	ETAR 2	Caudal das quatro ETAR	Aumento de 50% do caudal das quatro ETAR
11	ETAR 3		Aumento de 100% do caudal das quatro ETAR

7.2 Setup das simulações

As simulações hidrodinâmicas correspondentes aos diferentes cenários foram realizadas com o modelo hidrodinâmico tridimensional, tendo-se considerado uma parametrização muito semelhante à utilizada na validação do modelo. No entanto, neste caso o forçamento de maré baseou-se apenas nas constituintes de maré M2 e S2, determinadas com um modelo regional baseado em Bertin *et al.* (2012), de forma a representar o ciclo marés vivas / marés mortas.

Relativamente às simulações lagrangeanas, consideraram-se cinco conjuntos de partículas localizados junto das barras do sector oeste da Ria Formosa – Ancão, Faro-Olhão e Armona, e nos canais de Faro e de Olhão. Para o instante inicial da simulação das partículas, consideraram-se quatro fases distintas da maré: baixa-mar e meia-enchente, de marés vivas e de marés mortas. As

situações de preia-mar e vazante não foram consideradas nas partículas localizadas nas barras dado que, devido à posição inicial das partículas, estas seriam rapidamente transportadas para a zona costeira exterior. Nas simulações em que as partículas são lançadas nos canais, consideraram-se adicionalmente os instantes de preia-mar e de meia-vazante, mas observou-se uma rápida exportação para a zona costeira exterior, pelo que os resultados não são apresentados. Nas simulações relativas aos caudais das ETAR, consideraram-se ainda quatro conjuntos de partículas localizados na proximidade da zona de descarga de cada ETAR, de forma a analisar a dispersão destes efluentes na Ria Formosa. Considerou-se um passo de cálculo de 300 segundos e simulações de 30 dias.

7.3 Análise dos resultados

Analisam-se seguidamente os principais resultados obtidos para os cenários simulados. No anexo III apresenta-se a distribuição espacial das partículas para os vários cenários analisados ao fim de 2, 5, 10, 15 e 20 dias de simulação.

No **cenário base** (forçado pela maré, para a configuração batimétrica de base, sem vento e sem descargas de água doce), as partículas tendem a ser transportadas mais rapidamente para o exterior da Ria quando a sua origem é a barra do Ancão. Em situações de baixa-mar de marés mortas, o tempo necessário para 50% das partículas saírem para o exterior da Ria é de cerca de 4 dias quando a origem é a barra do Ancão, de 5 dias quando a origem é a barra de Faro-Olhão e de 6-7 dias quando a origem é a barra da Armona (Figura 7.3). Para a exportação de 90% das partículas para a zona exterior estes tempos são de cerca de 10, 15 e 10-12 dias, respetivamente. Refira-se que as pequenas variações na quantidade de partículas no interior – exterior da Ria observadas na Figura 7.3 a escalas temporais curtas (horas) se devem ao efeito da maré.

A exportação das partículas para o exterior da Ria Formosa ocorre predominantemente através da barra mais próxima da sua posição inicial. No caso da barra do Ancão, as partículas são totalmente exportadas através desta barra. Para as partículas cuja posição inicial é a barra de Faro-Olhão verifica-se que, embora a maior percentagem de partículas seja transportada através desta barra, algumas partículas são transportadas para Este pelo canal de Olhão, sendo exportadas pela barra da Armona, enquanto outras seguem para Oeste pelo canal de Faro e são exportadas pela barra do Ancão, correspondendo esta última situação à menor percentagem de partículas (Figura 7.4). Na barra da Armona, observa-se durante o período da enchente o transporte das partículas para Este, levando a que as partículas com origem nesta barra sejam exportadas também pela barra da Fuzeta. Nas várias barras observa-se uma maior tendência para a exportação (Figura 7.4). No que se refere às partículas cuja posição inicial é nos canais de Faro e de Olhão, observa-se que em ambos os casos as partículas são exportadas para a zona exterior maioritariamente pela barra de Faro-Olhão. No caso das partículas com origem no canal de Faro, uma pequena parte circula pelas barras do Ancão e da Armona, enquanto as partículas com origem no canal de Olhão circulam apenas pelas barras de Faro-Olhão e da Armona.

O tipo de maré (marés vivas / marés mortas) afeta também o tempo de exportação para a zona costeira exterior e a distribuição das partículas pelas várias barras. Em situação de baixa-mar de marés vivas, os tempos de exportação da Ria tendem a ser consideravelmente inferiores relativamente à baixa-mar de maré morta (Figura 7.3, Figura 7.5), devido às maiores velocidades observadas. O tempo de exportação das partículas para o exterior é também reduzido quando a sua origem ocorre a meio da enchente, quer em marés mortas, quer em marés vivas (Figura 7.5).

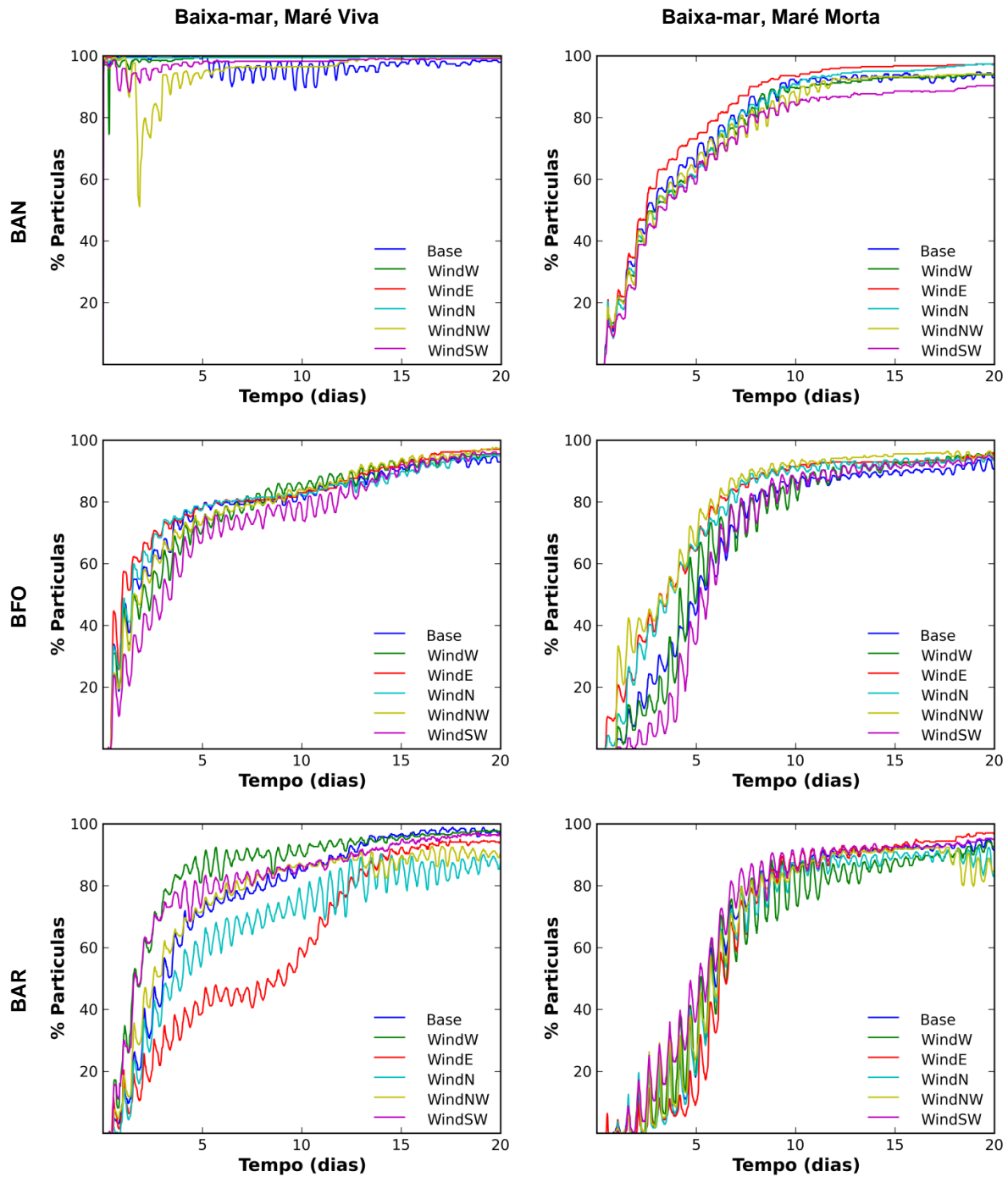


Figura 7.3 – Influência do vento na exportação das partículas da Ria Formosa para a zona costeira exterior, considerando o início das simulações numa situação de baixa-mar em maré viva e em maré morta. A posição inicial das partículas é indicada nas figuras: BAN – barra do Ancão, BFO – barra de Faro-Olhão e BAR – barra da Armona.

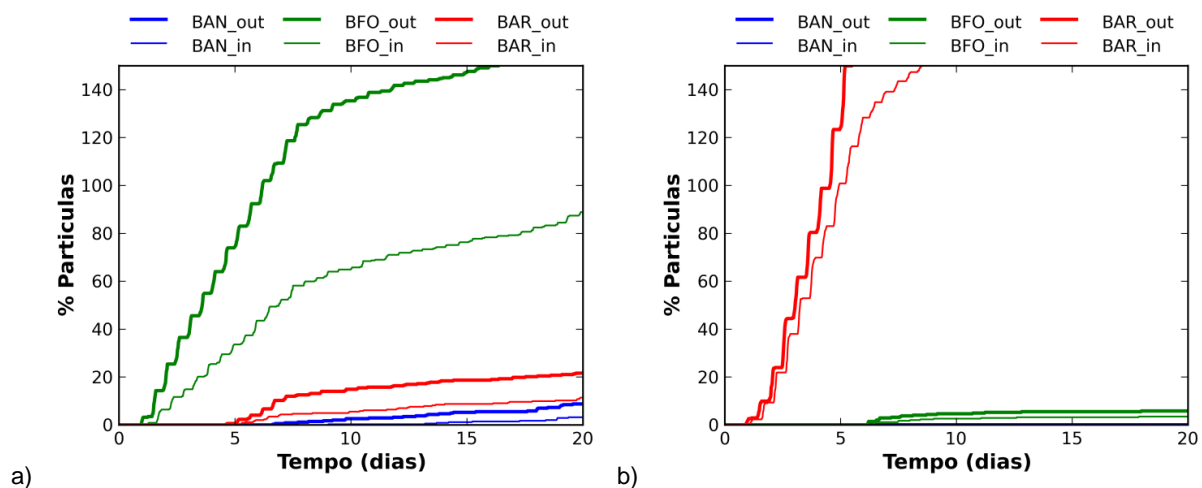


Figura 7.4 – Histograma acumulado da percentagem de partículas que passam nas barras do Ancão (BAN), de Faro-Olhão (BFO) e da Armona (BAR) para o cenário base, considerando o início das simulações numa situação de baixa-mar de marés mortas e a posição inicial das partículas na a) barra de Faro-Olhão e b) barra da Armona.

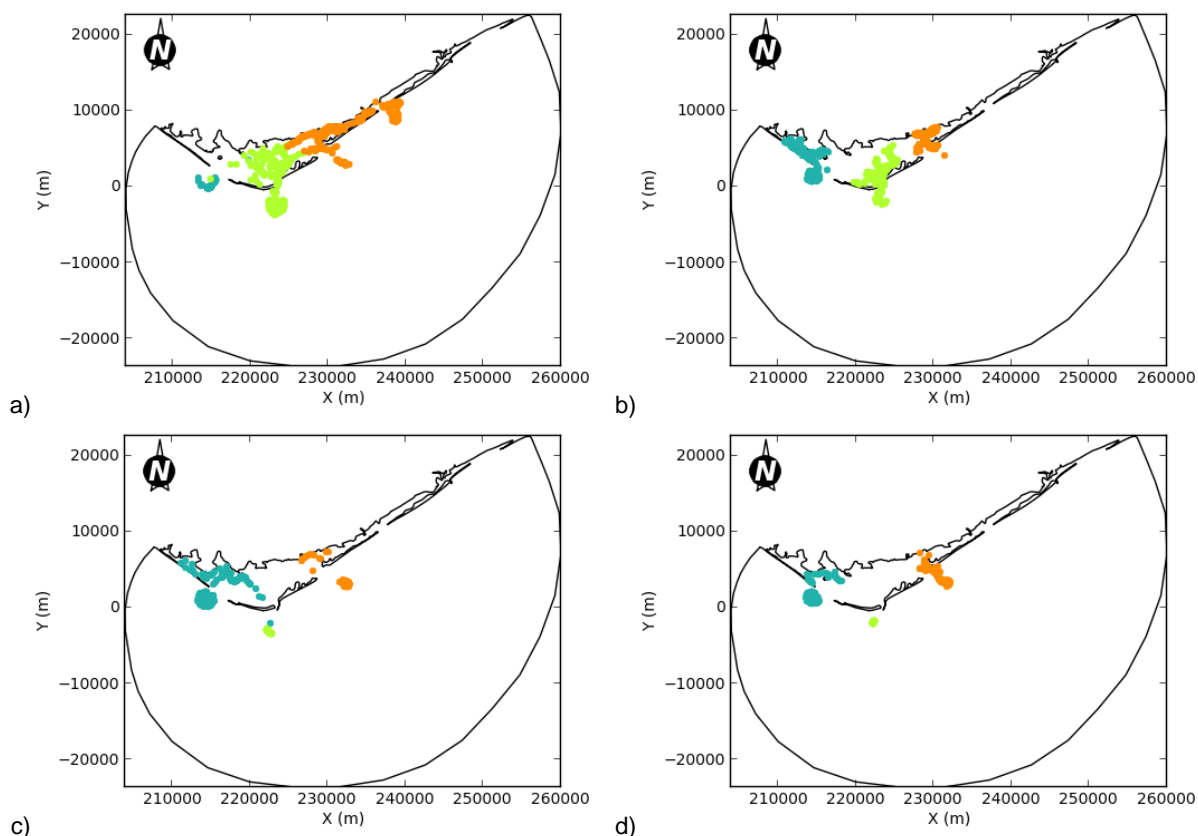


Figura 7.5 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação – cenário base, considerando o início da simulação numa situação de: a) baixa-mar em marés viva, b) baixa-mar em marés morta, c) meio da enchente em maré viva e d) meio da enchente em maré morta. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona.

Globalmente verifica-se que a influência do **vento** é significativa na distribuição das partículas na Ria Formosa, observando-se uma maior dispersão espacial nos cenários com vento (Figura 7.6). No entanto, observam-se tendências distintas em função da direção do vento:

- as direções de Este e Oeste parecem ser as que mais contribuem para a exportação de partículas para fora das barras;
- quando a posição inicial das partículas é a barra do Ancão, existe uma tendência para uma redução do tempo de exportação das partículas para a zona costeira exterior para o vento de Este e um aumento deste tempo para o vento de Sudoeste, em marés mortas (Figura 7.3);
- para as partículas cuja posição inicial é a barra de Faro-Olhão, os ventos de Sudoeste e de Oeste tendem a manter ou aumentar o tempo de exportação de 50% das partículas para o exterior relativamente à situação sem vento (Figura 7.3), dado que promovem um maior afastamento das partículas da barra de Faro ao longo do canal de Olhão. Nestas situações, observa-se um aumento significativo das partículas que são exportadas pela barra da Armona, comparativamente aos cenários só de maré, quer em marés mortas, quer em marés vivas. Contrariamente, os ventos de Este diminuem a exportação pela barra da Armona;
- para as partículas cuja origem é a barra da Armona, os tempos de exportação tendem a ser similares nos cenários com e sem vento em marés mortas, mas significativamente distintos em marés vivas, sugerindo um efeito combinado do vento e da maré (Figura 7.3). Para o vento de Este em baixa-mar de marés vivas, ocorre um aumento significativo do tempo de exportação de 50% das partículas (Figura 7.3), dado que este vento promove um aumento da exportação de partículas pela barra de Faro-Olhão (entre 80% a 100% das partículas saem por esta barra ao fim dos primeiros 15 dias, no caso de maré morta e maré viva, respectivamente) (Figura 7.7). Este fenómeno é também observável no caso dos ventos de Norte e Noroeste, embora numa escala mais reduzida. Por sua vez, o vento de Oeste reduz o tempo de exportação das partículas, promovendo o seu transporte pela barra da Fuzeta;
- para as partículas cuja posição inicial são os canais de Faro e de Olhão, independentemente do instante de maré, com vento de Este não há partículas a circular pela barra da Armona. Contrariamente, os ventos de Oeste e Sudoeste aumentam a quantidade de partículas que circulam por esta barra. O vento de Noroeste favorece a circulação das partículas do canal de Faro pela barra do Ancão;
- no caso do vento de Norte, independentemente da barra junto à qual as partículas têm a sua posição inicial, a quantidade de partículas que atravessa cada barra é muito semelhante ao verificado no cenário base. No entanto, na zona exterior existe uma grande dispersão, comparativamente ao cenário base, forçado apenas pela maré.
- para as partículas com origem no canal de Olhão, o vento de Norte aumenta ligeiramente a quantidade de partículas exportadas pela barra de Faro-Olhão e reduz ligeiramente a quantidade de partículas exportadas pela barra da Armona. Para o caso das partículas com origem no canal de Faro, não se observa uma tendência clara, mas parece haver uma redução ligeira da quantidade de partículas exportadas pela barra de Faro-Olhão e um aumento ligeiro da quantidade de partículas exportadas pela barra do Ancão.

Refira-se que na zona costeira exterior, existem outros forçamentos relevantes que afetam a dispersão das partículas, como a agitação marítima, que não estão a ser considerados no presente estudo. Este facto poderá condicionar alguns dos padrões observados, onde se poderia esperar uma maior dispersão das partículas na zona costeira exterior (e.g. partículas exportadas através da barra do Ancão no cenário de vento de Oeste). No entanto, não condiciona o principal objetivo do estudo relativo às trocas de massa entre Ria e o oceano através das barras.

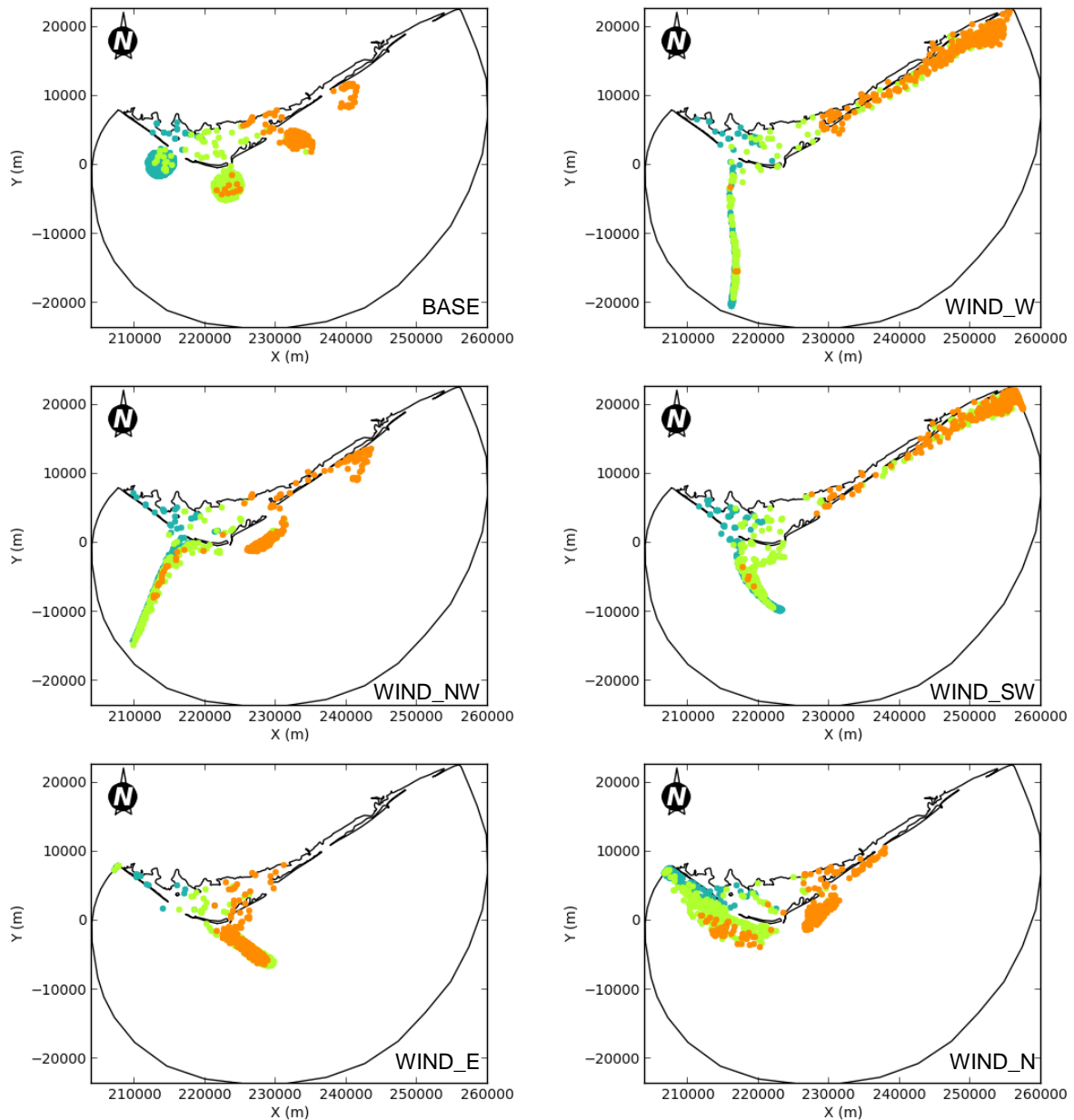


Figura 7.6 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de marés mortas. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona.

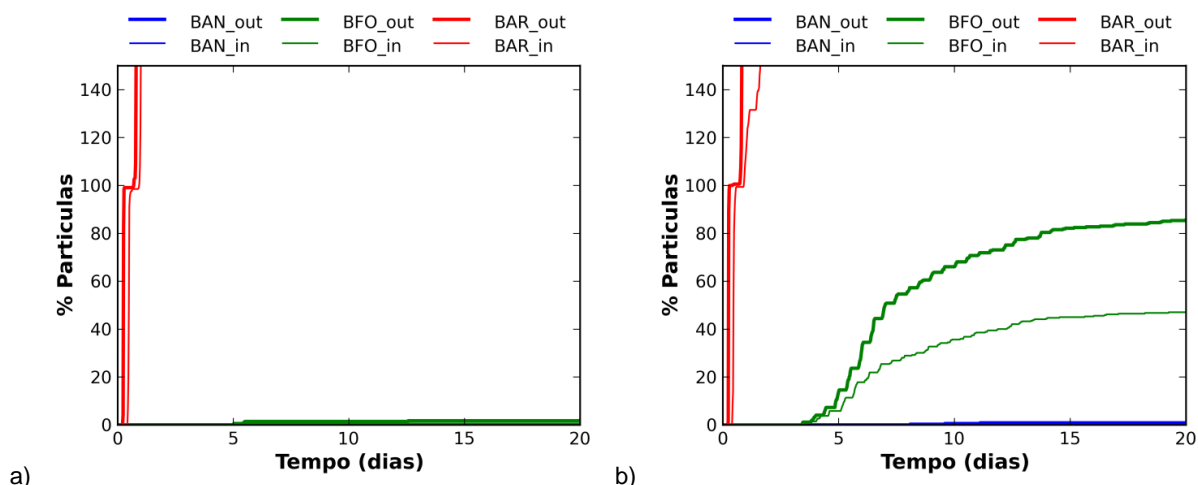


Figura 7.7 – Histograma acumulado da percentagem de partículas que passam nas barras do Ancão (BAN), de Faro-Olhão (BFO) e da Armona (BAR) para o cenário a) base e b) com vento de Este, considerando o início das simulações numa situação de enchente de marés mortas e a posição inicial das partículas na barra da Armona.

Tal como o vento, a **batimetria** também influencia a distribuição espacial das partículas e barra através da qual ocorre a exportação para a zona costeira exterior:

- no caso da batimetria dos anos 80, as principais diferenças são observadas nas partículas com origem na barra da Armona em baixa-mar de maré morta, para as quais se verifica uma diminuição do tempo de exportação de 50% das partículas para 3-4 dias (comparativamente aos 6-7 dias do cenário de base) na configuração similar à batimetria dos anos 80 (Figura 7.8). Estes resultados evidenciam a diminuição da capacidade de escoamento da barra da Armona sugerida por vários autores (e.g. Jacob *et al.*, 2013), a qual é particularmente relevante em maré morta;
- uma outra situação ocorre no tempo de exportação de 90% das partículas na maré viva nas barras da Armona e de Faro-Olhão, o qual é também inferior nos cenários com a batimetria de 1980 (Figura 7.8);
- os resultados sugerem uma tendência para a importação pela barra do Ancão das partículas com origem da barra de Faro-Olhão na configuração batimétrica dos anos 80, contrária à da configuração batimétrica do cenário base onde a barra do Ancão maioritariamente exporta partículas com origem na barra de Faro-Olhão (Figura 7.9). Estas diferenças, combinadas com a variabilidade da própria barra do Ancão, que nas últimas décadas já sofreu diversos processos de migração (Pacheco *et al.*, 2010), sugerem uma elevada variabilidade na dinâmica entre a barra de Faro-Olhão e a barra do Ancão;
- para as partículas com origem na barra do Ancão, no caso da batimetria dos anos 80 regista-se maior circulação através da respetiva barra, tanto em situação de baixa-mar como de enchente. Regista-se também uma tendência, independente do instante de maré, de aproximação entre as partículas exportadas pelas barras do Ancão e de Faro-Olhão, que pode estar relacionada com a configuração do fundo na zona costeira exterior (Figura 7.9);

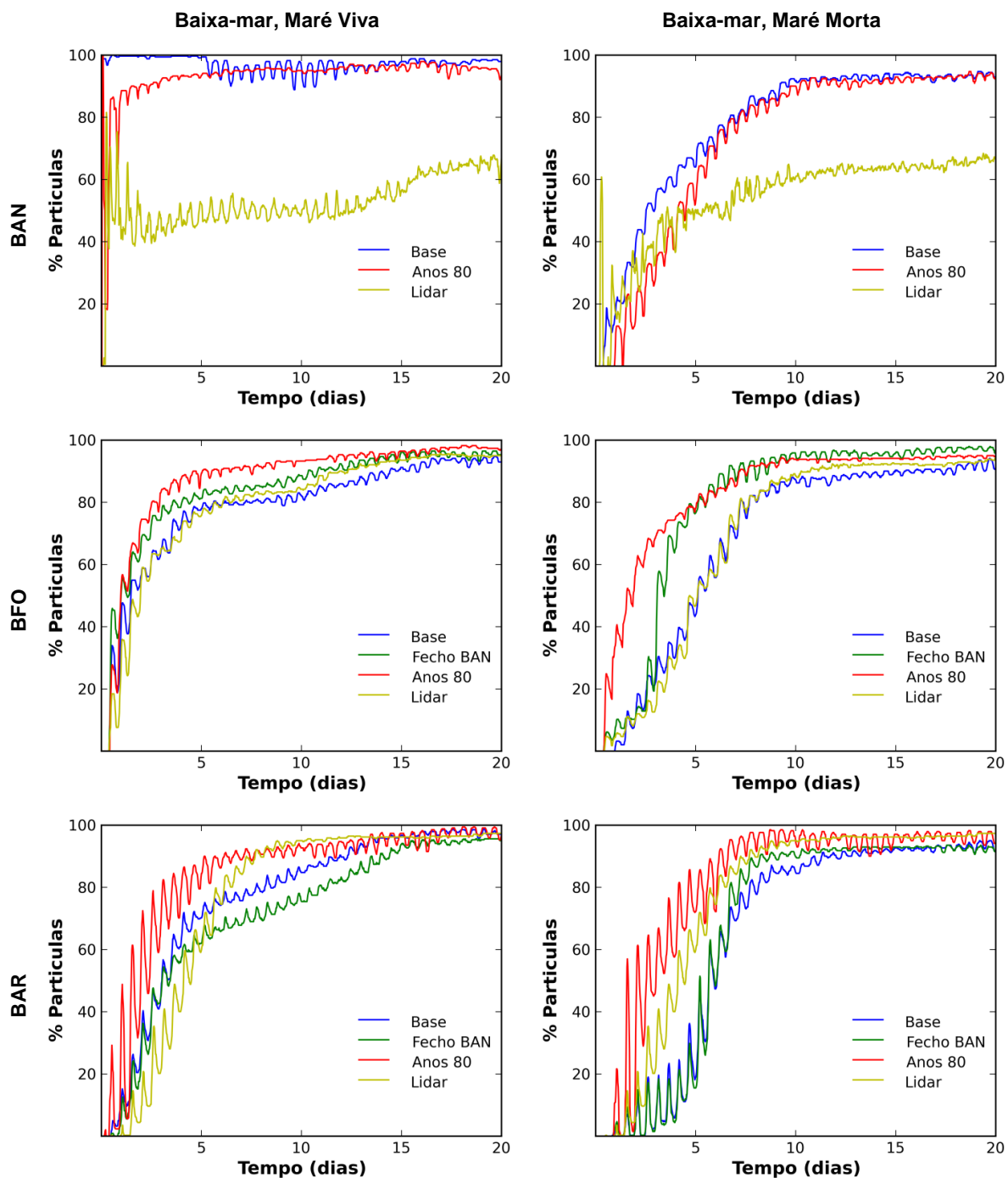


Figura 7.8 – Influência da batimetria na exportação das partículas da Ria Formosa para a zona costeira exterior, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de marés vivas e marés mortas. A posição inicial das partículas é indicada nas figuras: BAN – barra do Ancão, BFO – barra de Faro-Olhão e BAR – barra da Armona.

- o fecho da barra do Ancão não tem influência significativa no tempo de exportação de partículas na barra da Armona, mas reduz ligeiramente o tempo de exportação das partículas com origem na barra de Faro-Olhão face à batimetria de referência (Figura 7.8);
- relativamente à barra de exportação das partículas, no caso do fecho do Ancão observa-se uma circulação de partículas com origem na barra da Armona pela barra de Faro-Olhão que

não ocorre no cenário de referência (Figura 7.10). Para as partículas com posição inicial junto à barra de Faro-Olhão, o fecho da barra do Ancão parece conduzir a uma ligeira diminuição das partículas que circulam pela barra da Armona a escalas temporais inferiores a 10 dias (Figura 7.10);

- no caso da batimetria LiDAR, independentemente do instante de maré, a quantidade de partículas exportadas pela barra do Ancão é menor, havendo uma maior dispersão no interior da Ria.

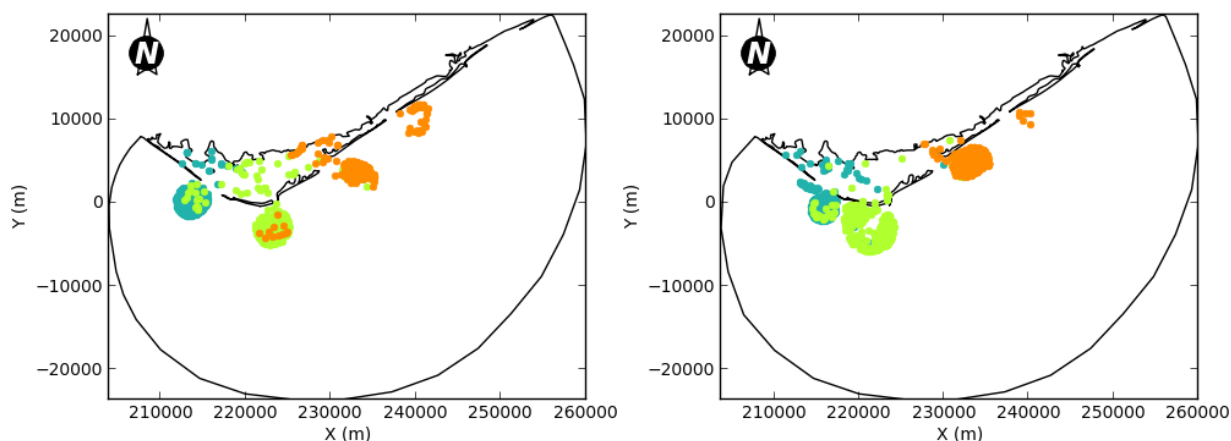


Figura 7.9 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta: a) no cenário base e b) com batimetria dos anos 80. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona.

Como esperado, não se observa uma influência significativa dos caudais das **ETAR** na circulação e transporte de partículas localizadas nas barras, mesmo em situações de caudal mais elevado, dado que os caudais de água doce são reduzidos face ao prisma de maré do sistema. No entanto, as descargas das ETAR são potenciais fontes de nutrientes e de poluentes para o sistema, os quais podem influenciar a dinâmica do ecossistema. Neste sentido, importa analisar a distribuição e transporte no sistema de partículas com origem nestas fontes (Figuras 7.11 a 7.21):

- em situações em que a descarga ocorre em baixa-mar, os períodos de maré viva favorecem a exportação para a zona exterior;
- as partículas com origem na ETAR Olhão-Nascente são mais rapidamente exportadas para a zona costeira exterior em maré viva, observando-se um aumento significativo do tempo de exportação em maré morta. As partículas com origem na ETAR Faro-Nascente permanecem mais tempo na zona interior, sendo a quantidade de partículas exportada para a zona costeira exterior inferior a 20% ao fim de 20 dias de simulação em situação de baixa-mar de maré morta. As partículas com origem na ETAR Faro-Noroeste não são exportadas para o exterior na situação de enchente de maré viva durante o período analisado (20 dias);
- as partículas com origem na ETAR Faro-Noroeste são exportadas maioritariamente pela barra do Ancão;

- as partículas com origem na ETAR Faro-Nascente são maioritariamente exportadas pelas barras de Faro-Olhão e da Armona, sendo uma pequena quantidade exportada pela barra do Ancão. No entanto, observam-se algumas diferenças em função do instante da maré em que se inicia a descarga das partículas. Enquanto na maior parte dos instantes de maré a maior parte das partículas da ETAR Faro-Nascente são exportadas pela barra do Ancão, no caso da baixa-mar em maré viva as partículas são quase exclusivamente exportadas pela barra de Faro-Olhão;
- as partículas com origem nas ETAR Olhão-Poente e ETAR Olhão-Nascente são maioritariamente exportadas pela barra da Armona, sendo uma pequena quantidade exportada pela barra de Faro-Olhão;
- a distribuição espacial das partículas é semelhante para os vários cenários de caudal analisados, evidenciando uma baixa influência dos caudais de água doce na circulação e uma influência significativa da maré no transporte de massa na Ria Formosa.

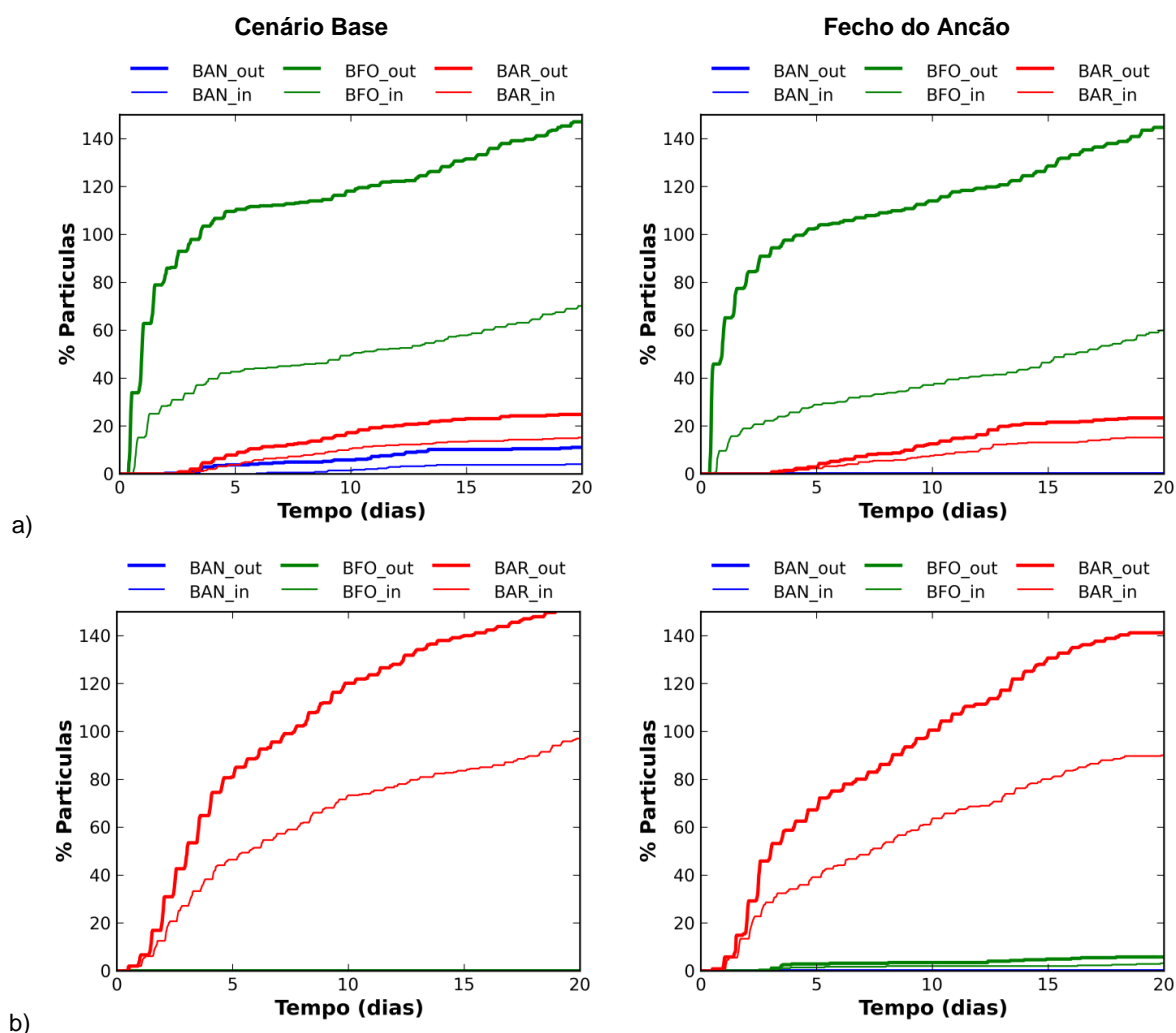


Figura 7.10 – Histograma acumulado da percentagem de partículas que passam nas barras do Ancão (BAN), Faro-Olhão (BFO) e Armona (BAR) para os cenários base e do fecho da barra do Ancão, considerando o início das simulações numa situação de baixa-mar de marés vivas e a posição inicial das partículas na a) barra de Faro-Olhão e b) barra da Armona.

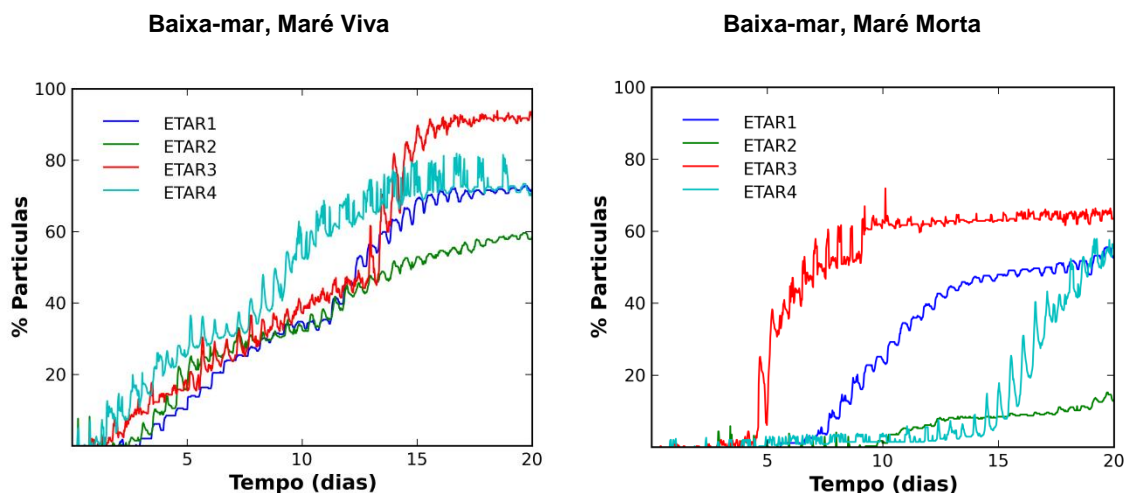


Figura 7.11 – Tempo de exportação das partículas com origem nas ETAR para a zona costeira exterior, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de marés vivos e marés mortas e para o cenário de caudal médio. A posição inicial das partículas é indicada por: ETAR1– ETAR Faro-Noroeste, ETAR2 – ETAR Faro-Nascente, ETAR3 – ETAR Olhão-Poente, ETAR4 – ETAR Olhão-Nascente.

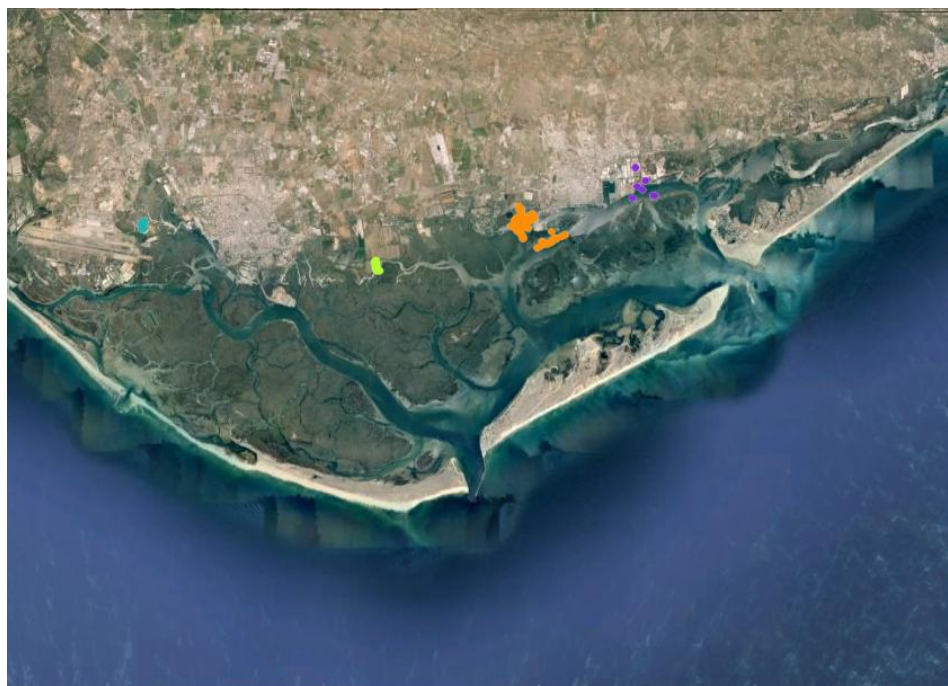


Figura 7.12 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 2 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.13 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 5 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.14 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 10 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.15 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.16 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 20 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré morta e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.17 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 2 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

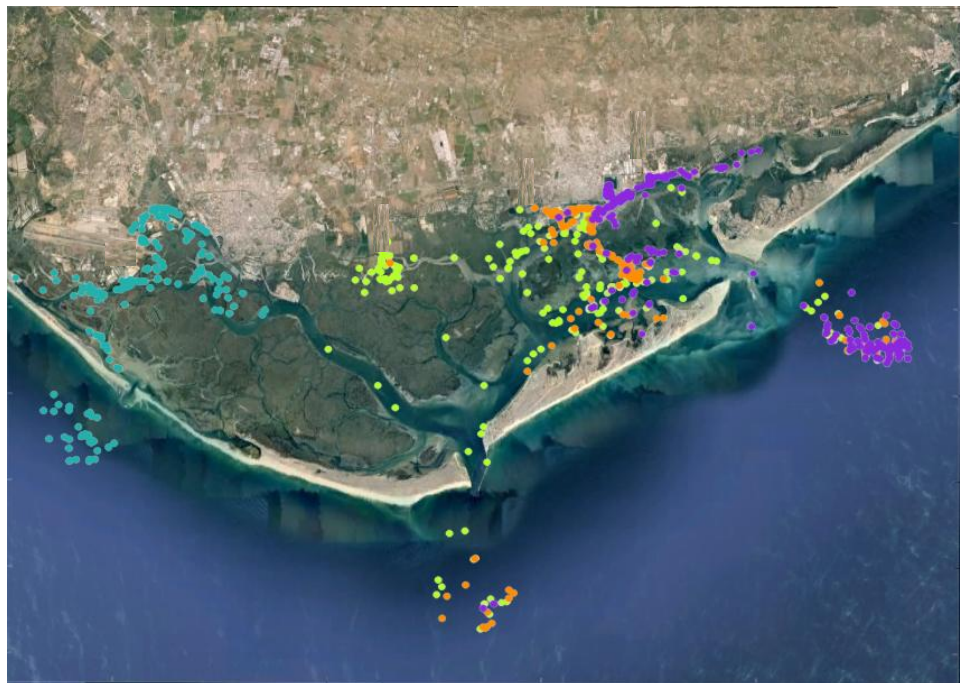


Figura 7.18 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 5 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.19 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 10 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.20 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 15 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.



Figura 7.21 – Distribuição das partículas com origem nas ETAR ao fim de 20 dias de simulação, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar de maré viva e para o cenário de caudal médio. As cores referem-se à posição inicial das partículas: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Ponte, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

8 | Conclusões

No âmbito do projeto COALA, a influência dos forçamentos (vento, batimetria e caudais de água doce) na circulação e no transporte na Ria Formosa foi analisada com recurso a modelação numérica.

O modelo hidrodinâmico SELFE foi calibrado e validado na zona de estudo em modo bidimensional e tridimensional com base em dados de níveis e velocidades, incluindo os dados das campanhas do projeto COALA. Os resultados mostram a boa capacidade do modelo de representar a circulação na Ria Formosa.

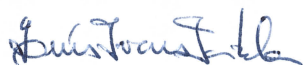
A circulação e o transporte foram analisados com o modelo lagrangeano VELApart para diversos cenários, que incluíram o vento, a batimetria e a descarga de efluentes de estações de tratamento de águas residuais. Os resultados sugerem uma influência da direção do vento e da batimetria na quantidade de partículas exportadas para o exterior a escalas temporais mais curtas, assim como nas barras pelas quais as partículas são exportadas e na sua distribuição espacial. Refira-se, em particular, que a evolução batimétrica observada ao longo dos últimos 30 anos reduz a capacidade de exportação de matéria em suspensão para a zona costeira exterior, promovendo um aumento dos tempos de residência e podendo ser desfavorável em termos de qualidade da água. A análise da distribuição de potenciais poluentes (e.g. nutrientes) com origem nas estações de tratamento de águas residuais evidencia uma importância significativa da maré no transporte destes poluentes. A influência combinada do local de origem destes efluentes e da amplitude e fase da maré afeta a distribuição espacial da massa no interior da Ria Formosa, assim como os tempos de exportação para a zona costeira exterior. Potenciais poluentes com origem na ETAR Faro-Nascente tendem a permanecer mais tempo na zona interior da Ria, podendo conduzir a situações mais graves em termos de qualidade da água. Contrariamente, potenciais descargas de poluentes da ETAR de Olhão-Poente em baixa-mar de maré morta e da ETAR de Olhão-Nascente em baixa-mar de maré viva são mais rapidamente exportadas para a zona costeira exterior. Os padrões de transporte estimados podem contribuir para melhorar a gestão das descargas de efluentes, a definição de planos de monitorização, e, em última análise, a gestão da Ria Formosa.

Os resultados obtidos no presente estudo, complementados com os dados obtidos nas campanhas do projeto COALA, serão utilizados em trabalhos futuros para melhorar a compreensão da dinâmica de nutrientes, clorofila *a* e matéria particulada na Ria Formosa.

Lisboa, LNEC, março de 2014

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas
Costeiras



Luís Portela

AUTORIA



João Fabião

Bolseiro de Investigação

A Directora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente



Rafaela de Saldanha Matos



Marta Rodrigues

Bolseira de Pós-Doutoramento



André B. Fortunato

Investigador Principal com Habilitação

Referências Bibliográficas

- [1] ANDRADE, C. (1990) **O Ambiente de Barreira da Ria Formosa. Algarve – Portugal**, Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor em Geologia, na especialidade de Geologia do Ambiente.
- [2] AZEVEDO, A.; OLIVEIRA, A., FORTUNATO, A.B.; BERTIN, X. (2009). **Application of an Eulerian-Lagrangian oil spill modeling system to the Prestige accident: trajectory analysis**. Journal of Coastal Research, SI56: 777-781.
- [3] AZEVEDO, A.; OLIVEIRA, A.; FORTUNATO, A.B.; ZHANG, J.; BAPTISTA, A.M. (2014). **A cross-scale numerical modeling system for management support of oil spill accidents**. Marine Pollution Bulletin, em impressão.
- [4] BERTIN, X.; BRUNEAU, N.; BREILH, J.-F.; FORTUNATO, A.; KARPYTCHEV, M. (2012) **Importance of wave age and resonance in storm surges: The case Xynthia**. Ocean Modelling, 42, pp.16-30.
- [5] BRUNEAU, A., FORTUNATO, A.B., PORTELA L. (2010). **Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e mitigação do risco nas ilhas barreira**, Relatório 2: Valorização hidrodinâmica da laguna, 1ª e 2ª fases. Relatório 395/2011-NEC, Lisboa.
- [6] DIAS, J.M.; LOPES, J.F. (2006) **Implementation and assessment of hydrodynamic, salt and heat transport models: The case of Ria de Aveiro Lagoon (Portugal)**. Environmental Modelling & Software 21, pp. 1–15.
- [7] DIAS, J.M.; SOUSA, M.; BERTIN X.; FORTUNATO, A.B.; OLIVEIRA, A. (2009) **Numerical modeling of the impact of the Ancão Inlet relocation (Ria Formosa, Portugal)**, Environmental Modelling & Software, 24, pp. 711-725.
- [8] DODET, G.; BERTIN, X.; BRUNEAU, N.; FORTUNATO, A.B.; NAHON, A.; ROLAND, A.; (2013). **Wave-current interactions in a wave-dominated tidal inlet**. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118(3), pp. 1587–1605.
- [9] FORTUNATO, A.B.; PINTO, L.; OLIVEIRA, A.; FERREIRA, J.S. (2002) **Tidally generated shelf waves off the western Iberian coast**. Continental Shelf Research 22, pp.1935–1950.
- [10] INMG, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (1991). **O Clima de Portugal**, Fascículo XLIX, Volume 4, Normais Climatológicas da Região de Alentejo e Algarve, correspondentes a 1951-1980. 4ªedição, Lisboa 1991.
- [11] JACOB, J.; CARDEIRA S.; RODRIGUES M.; BRUNEAU N.; AZEVEDO A.; FORTUNATO A.B.; CRAVO A.; ROSA M. (2012). **Contribuição para o estudo da propagação da maré no setor Oeste da Ria Formosa**. 2.ª Jornada de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 2012, pp. 185-188.
- [12] JACOB, J.; CARDEIRA, S.; RODRIGUES, M.; BRUNEAU, N.; AZEVEDO, A.; FORTUNATO, A.B.; ROSA, M.; CRAVO, A. (2013) **Experimental and numerical study of the hydrodynamics of the western sector of Ria Formosa**, 12th International Coastal Symposium 2013.
- [13] JARRETT, J. T. (1976) **Tidal Prism-Inlet Area Relationship**. CERC-WES General Investigation of Tidal Inlets, Dept. of the Army, U.S. Corps of Engineering, Report 3, 1–32.
- [14] NEWTON, A.; MUDGE, S.M. (2003). **Temperature and salinity regimes in a shallow, mesotidal lagoon, the Ria Formosa, Portugal**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 57, pp. 73-85.
- [15] OLIVEIRA, A.; FORTUNATO, A.B. (2002). **VELApart User's Manual (Version 3.1): A quasi-3D Particle-Tracking Model for Shallow Water Simulations**. Report 82/02 – NET/LNEC.
- [16] OLIVEIRA, A.; FORTUNATO, A.B.; DIAS, J.M. (2006). **Numerical modeling of the Aveiro inlet dynamics**, Coastal Engineering 2006, Editor: Jane McKee Smith, World Scientific Publishing Co., ISBN 978-981-270-636-2, Vol. 4, pp. 3282-3294.

- [17] PACHECO, A.; FERREIRA, O.; WILLIAMS, J.; GAREL, E.; VILA-CONCEJO, A.; DIAS, J. (2010) **Hydrodynamics and equilibrium of a multiple-inlet system**, *Marine Geology*, 274, pp. 32-42.
- [18] PINTO, L.; FORTUNATO, A.B.; ZHANG, Y.; OLIVEIRA, A.; SANCHO, F.E.P. (2012). **Development and validation of a three-dimensional morphodynamic modelling system for non-cohesive sediment**. *Ocean Modelling*, 57–58, 1–14.
- [19] PORTELA, L.; AZEVEDO, A.; FORTUNATO, A.B. (2011). **Valorização hidrodinâmica da Ria Formosa e mitigação do risco nas ilhas barreira**, Rel. 3: Valorização hidrodinâmica da laguna. Rel. 395/2011 – NEC/LNEC.
- [20] RODRIGUES, M.; OLIVEIRA, A.; GUERREIRO, M.; FORTUNATO, A.B.; MENAIA, J.; DAVID, L.M.; CRAVO, A. (2011). **Modeling fecal contamination in the Aljezur coastal stream (Portugal)**. *Ocean Dynamics*, 61, 841-856.
- [21] RODRIGUES, M.; OLIVEIRA, A.; QUEIROGA, H.; BROTAS, V. (2012). **Seasonal and diurnal water quality modelling along a salinity gradient (Mira channel, Aveiro lagoon, Portugal)**. *Procedia Environmental Sciences*, 899-918.
- [22] RODRIGUES, M.; OLIVEIRA, A.; QUEIROGA, H.; FORTUNATO, A.B.; ZHANG, Y.J. (2009) **Three-dimensional modeling of the lower trophic levels in the Ria de Aveiro (Portugal)**, *Ecological Modelling*, 220, pp. 1274-1290.
- [23] ROLAND, A.; ZHANG, Y.J.; WANG, H.V.; MENG, Y.; TENG, Y.C.; MADERICH, V.; BROVCHENKO, I.; DUTOUR-SIKIRIC, M.; ZANKE, U. (2012) **A fully coupled 3D wave-current interaction model on unstructured grids**. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 117(C11).
- [24] SALLES, P. (2001). **Hydrodynamic controls on multiple tidal inlet persistence**. PhD thesis, MIT/WHOI Joint Program in Applied Ocean Sciences and Engineering. Massachusetts Institute of Technology/Woods Hole Oceanographic Institution.
- [25] SALLES, P.; VOULGARIS, G.; AUBREY, D. (2005). **Contribution of nonlinear mechanisms in the persistence of multiple tidal inlet systems**. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, pp. 475-491.
- [26] SILVA, M.; PATRÍCIO, P.; MARIANO, A.C.; VALÉRIO, M.; MORAIS, M. (2012) **Obtenção de Dados LIDAR para as Zonas Costeiras de Portugal Continental**, 2.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 2012, pp. 19-22.
- [27] VILA-CONCEJO, A.; MATIAS, A.; FERREIRA, Ó.; DUARTE, C.; DIAS, J.M.A. (2002). **Recent evolution of the natural inlets of a barrier island system in Southern Portugal**, *Journal of Coastal Research*, SI 36, pp. 741-752.
- [28] WILLIAMS, J.J.; O'CONNOR, B.A., ARENS, S.M., ABADIE, S., BELL, P., BALOUIN, Y., VAN BOXEL, J.H., CARMO, A.J., DAVIDSON, M., FERREIRA, O., HERON, M., HOWA, H., HUGHES, Z., KACZMAREK, L.M., KIM, H., MORRIS, B., NICHOLSON, J., PAN, S., SALLES, P., SILVA, A., SMITH, J., SOARES, C.; VILA-CONCEJO, A. (2003). **Tidal inlet function: field evidence and numerical simulation in the INDIA project**. *Journal of Coastal Research*, 19(1), pp.189-211.
- [29] ZHANG, Y.; BAPTISTA, A.M. (2008) **SELFE: A semi-implicit Eulerian–Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation**, *Ocean Modelling*, 21, pp. 71-96.
- [30] ZHANG, Y.-L.; BAPTISTA, A.M.; MEYERS, E.P. (2004). **A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment**. *Continental Shelf Research*, 24 (18), 2187-211.
- [31] ZHENG, L.; WEISBERG, R.H.; HUANG, Y.; LUETTICH, R.A.; WESTERINK, J.J.; KERR, P.C.; DONAHUE, A.S.; CRANE, G.; AKLI, L. (2013) **Implications from the comparisons between two- and three-dimensional model simulations of the Hurricane Ike storm surge**, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, VOL. 118, pp. 3350–3369.

Anexos

ANEXO I
Descrição do modelo hidrodinâmico SELFE

Descrição do modelo hidrodinâmico SELFE

Formulação Física

O SELFE – *Semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element* (Zhang e Baptista, 2008) é um modelo de malhas não-estruturadas, desenvolvido para a simulação da circulação baroclínica a diferentes escalas espaciais, desde o rio até ao oceano. Este modelo calcula a elevação da superfície livre e os campos tridimensionais de velocidade, salinidade e temperatura, resolvendo as equações tridimensionais de águas pouco profundas. Estas equações consideram as aproximações hidrostática e de Boussinesq, e representam as leis de conservação de massa/volume, momento, sal e calor:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} u \, dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} v \, dz = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \\ & = f v - \frac{\partial}{\partial x} (g \eta - \alpha \psi) + \frac{p_a}{\rho_0} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho_w}{\partial x} d\xi + \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial u}{\partial z} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \\ & = -f u - \frac{\partial}{\partial y} (g \eta - \alpha \psi) + \frac{p_a}{\rho_0} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho_w}{\partial y} d\xi + \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial v}{\partial z} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial S}{\partial z} + F_s \quad (5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{Q}{\rho_0 C_p} + F_h \quad (6)$$

onde u e v são as componentes horizontais da velocidade (ms^{-1}), w é a componente vertical da velocidade (ms^{-1}), (x, y) são as coordenadas cartesianas horizontais (m), z é a coordenada vertical (m), t é o tempo (s), $\eta(x, y, z)$ é a elevação da superfície livre (m), $h(x, y)$ é a profundidade relativa ao nível de referência (m), f é o coeficiente de Coriolis (s^{-1}), g é a aceleração da gravidade (ms^{-2}), ψ é o potencial da maré (m), α é o factor efectivo de elasticidade da Terra (adimensional), $\rho_w(x, y, z, t)$ é a massa volúmica da água (kg m^{-3}), ρ_0 é a massa volúmica de referência da água do mar (considerada 1025 kg m^{-3}), $p_a(x, y, t)$ é a pressão atmosférica na superfície livre (Nm^{-2}), S é a salinidade da água, T é a temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), μ é o coeficiente de viscosidade turbulenta horizontal (m^2s^{-1}), ν é o coeficiente de viscosidade turbulenta vertical (m^2s^{-1}), κ é o coeficiente de difusividade turbulenta vertical para o transporte (m^2s^{-1}), F_h e F_s representam a difusão horizontal para as equações de transporte, C_p é calor específico da água ($\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$) e Q é a taxa de absorção da radiação

solar ($W m^{-2}$). O modelo SELFE pode também ser utilizado em modo bidimensional, calculando a elevação da superfície livre e o campo de velocidade horizontal.

Este modelo inclui ainda um módulo de transporte que permite ao utilizador simular um conjunto de traçadores genéricos, para além da salinidade e da temperatura:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \kappa \frac{\partial C}{\partial z} + F_c + \Delta C \quad (7)$$

sendo C um traçador genérico, F_c o termo que representa a difusão horizontal e ΔC o termo de fontes e sumidouros.

O sistema de equações diferenciais (1)-(6) é fechado com: a) a equação de estado que descreve a massa volúmica da água como função da salinidade e da temperatura; b) a definição de potencial de maré e do factor de Coriolis; c) as parametrizações da mistura vertical e horizontal, através das equações de fecho de turbulência; e d) as condições de fronteira e iniciais adequadas.

Para o fecho de turbulência, o SELFE utiliza o modelo *Generic Length Scale* (GLS) de Umlauf e Burchard (2003), o qual tem a vantagem de abranger a maioria dos modelos de fecho de 2.5 equações: $k-\varepsilon$ (Rodi, 1984); $k-\omega$ (Wilcox, 1998); $k-kl$ (Mellor e Yamada, 1982).

As condições de fronteira verticais para as equações de quantidade de movimento horizontais desempenham um papel importante na formulação numérica do SELFE, em particular a condição de fronteira de fundo. O modelo utiliza esta condição fronteira para desacoplar a equação da superfície livre das equações de quantidade de movimento.

À superfície ($z = \eta$), a condição fronteira resulta do balanço entre a tensão de Reynolds e a tensão de atrito devido ao vento:

$$v \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_{wx} \quad e \quad v \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_{wy} \quad (8)$$

onde τ_{wx} e τ_{wy} são as tensões de atrito devido ao vento à superfície segundo cada uma das direções horizontais, as quais podem ser parametrizadas utilizando a aproximação de Zeng *et al.* (1998) ou a aproximação simples de Pond e Pickard (1998).

No fundo ($z = -h$), a condição fronteira deriva do balanço entre a tensão de Reynolds e a tensão de atrito de fundo (τ_{bx} e τ_{by}):

$$v \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_{bx} \quad e \quad v \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_{by} \quad (9)$$

A forma específica do atrito de fundo, τ_b , depende do tipo de camada limite de fundo considerada. No caso de uma camada limite de fundo turbulenta, o atrito de fundo é dado por:

$$\tau_{bx}, \tau_{by} = C_d \quad u_b, v_b \quad u_b, v_b \quad (10)$$

onde C_d é o coeficiente de atrito, e u_b e v_b são as componentes u e v da velocidade medidas no topo da célula computacional do fundo. O coeficiente de atrito pode ser especificado directamente pelo

utilizador. Em alternativa o utilizador pode especificar a rugosidade de fundo ou o coeficiente de Manning. Na primeira situação, o coeficiente de atrito é dado por:

$$C_d = \frac{1}{\kappa_0} \ln \frac{\delta_b}{z_0}^{-2} \quad (11)$$

onde $\kappa_0 = 0.4$ é a constante de von Karman, z_0 é a rugosidade de fundo (m) e δ_b é a espessura da célula computacional do fundo (m). Na segunda situação, o coeficiente de atrito é determinado por:

$$C_d = g \frac{n^2}{H^{1/3}} \quad (12)$$

onde g (9.8 m s^{-2}) é a aceleração da gravidade, n é o coeficiente de Manning e H é a altura total da coluna de água (m).

Formulação Numérica

No que se refere à formulação numérica, o SELFE resolve o sistema de equações diferenciais através de esquemas de elementos finitos e volume finitos. A todas as equações são aplicados esquemas semi-implícitos, permitindo melhorar a estabilidade e maximizar a eficiência. As equações de continuidade e de quantidade de movimento (equações (2), (3) e (4)) são resolvidas em simultâneo, o que permite ultrapassar as condições de estabilidade mais restritivas (eg. associadas ao número de Courant). Para a resolução dos termos advectivos nas equações de quantidade de movimento, o SELFE utiliza um método Euleriano-Lagrangeano (ELM). Os termos advectivos nas equações de transporte (equações (5) e (6)) podem ser resolvidos com métodos de ELM, *upwind* de volumes finitos (FVUM) ou *Total Variation Diminishing* (TVD).

Para a discretização do domínio de cálculo, o SELFE utiliza malhas triangulares não estruturadas na direção horizontal e coordenadas verticais híbridas na vertical (coordenadas S e coordenadas Z). A utilização de coordenadas híbridas S e Z permite uma maior flexibilidade na representação da batimetria. A origem do eixo dos z é o nível médio do mar (NMM). As camadas S (Song e Haidvogel, 1994) estão colocadas no topo de uma série de camadas Z , com a divisão entre as camadas S e Z localizada no nível K^z ($z=-h_s$) – Figura A.1.

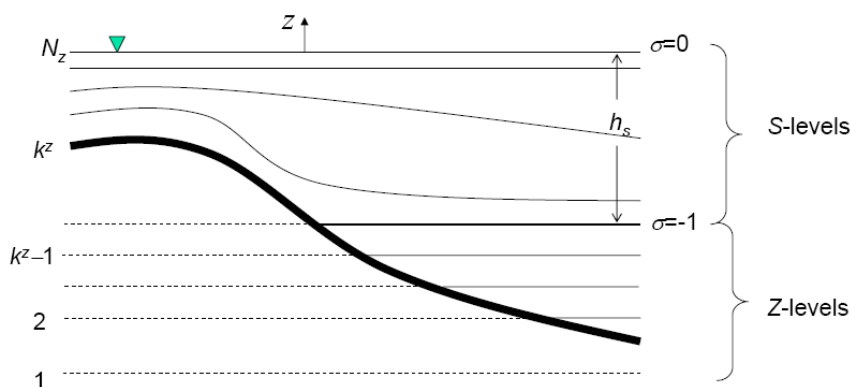


Figura A.1 – Esquema da malha vertical e do sistema de coordenadas híbridas SZ. Adaptado de Zhang e Baptista (2008). N_z é a superfície livre ao longo de todo o domínio, h_s é a profundidade de transição entre as camadas S e Z.

Referências bibliográficas

- [1] MELLOR, G.L., YAMADA, T. (1982) **Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems**, *Reviews of Geophysics*, 20, 851-875.
- [2] POND, S., PICKARD, G.L. (1998) **Introductory Dynamical Oceanography**, Butterworth-Heinmann.
- [3] RODI, W. (1984) **Turbulence models and their applications in hydraulics: a state of the arte review**, International Association for Hydraulics Research, Delft, Holanda.
- [4] SONG, Y., HAIDVOGEL (1994) **A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system**, *Journal of Computational Physics*, 115, 228-244.
- [5] UMLAUF, L., BURCHARD, H. (2003) **A generic length-scale equation for geophysical turbulence models**, *Journal of Marine Research*, 6, 235-265.
- [6] WILCOX, D.C. (1998) **Reassessment of scale determining equation for advance turbulence models**, *AIAA Journal*, 26, 1299-1310.
- [7] ZENG, X., ZHAO, M., DICKINSON, R.E. (1998) **Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data**, *Journal of Climate*, 11, 2628-2644.
- [8] ZHANG, Y., BAPTISTA, A.M. (2008) **SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation**, *Ocean Modeling*, 21(3-4), 71-96.

ANEXO II
Descrição do modelo lagrangeano VELApart

Descrição do modelo lagrangeano VELApart

O VELApart é um modelo bidimensional (2D) e quasi-tridimensional (quasi-3D) para simular as trajetórias de partículas em águas superficiais. Com base no cálculo das trajetórias, este modelo permite também estimar tempos de residência para dois tipos distintos de traçadores e calcular erros de fecho (Oliveira e Baptista, 1997, Oliveira e Fortunato, 2002). Na versão 2D utilizada neste estudo, para um campo de velocidades médias, o modelo resolve a equação de transporte na forma para partículas individuais:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(HD \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) + Q \quad (1)$$

Onde c é a concentração ([massa]/m³), (x, y) são as coordenadas cartesianas horizontais (m), u_i são as componentes horizontais da velocidade média na vertical (ms⁻¹), H é a profundidade total (m), D é o coeficiente de difusão (m²s⁻¹) e t é o tempo (s).

A equação (1) é dividida em duas equações que são resolvidas em sequência, utilizando métodos distintos:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_i \frac{\partial c}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(DH \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) = 0 \quad (3)$$

A equação (2) é resolvida por um método Runge Kutta adaptativo, embebido, de 4ª ordem (Press *et al.*, 1992). Este método permite elevada precisão, controlada pelo utilizador (Oliveira e Baptista, 1997). O VELApart permite ainda compensar imprecisões do modelo de escoamento junto das fronteiras fechadas, usando apenas a componente tangencial da velocidade horizontal. Uma vez calculada a trajetória da partícula por advecção, resolve-se o termo de difusão horizontal (3) usando a teoria de *random walk* (Dimou, 1992, Moeller, 1993).

O deslocamento da partícula devido à difusão é dado por:

$$\Delta x_i = z_n \sqrt{2D\Delta t} \quad (4)$$

Onde z é a variável aleatória de média nula e desvio padrão unitário (adimensional).

Referências bibliográficas

- [1] DIMOU, K. (1992) **3-D Hybrid Eulerian-Lagrangian/ Particle Tracking Model for Simulating Mass Transport in Coastal Water Bodies**, PhD. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- [2] MOELLER, J.C. (1993) **Comparison of Eulerian-Lagrangian, Random Walk, and Hybrid Methods of Modeling Pollution Transport**, MSc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- [3] OLIVEIRA, A. e BAPTISTA, A.M. (1997) **Diagnostic Modeling of Residence Times in Estuaries**. Water Resources Research, 33/8: 1935-1946.
- [4] OLIVEIRA, A. e FORTUNATO A.B. (2002) **VELApart user's manual (version 3.1): a quasi-3d particle-tracking model for shallow water simulations**, Rel. 82/02 – NET, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [5] PRESS, W.H., TEUKOLSKY, W.T., VETTERLING, FLANNERY, B.P. (1992) **Numerical recipes in Fortran**, Cambridge University Press, New York, 704-716.

ANEXO III
Distribuição espacial das partículas nos diversos cenários

Partículas com origem nas barras e nas ETAR em situação de baixa-mar em maré morta.

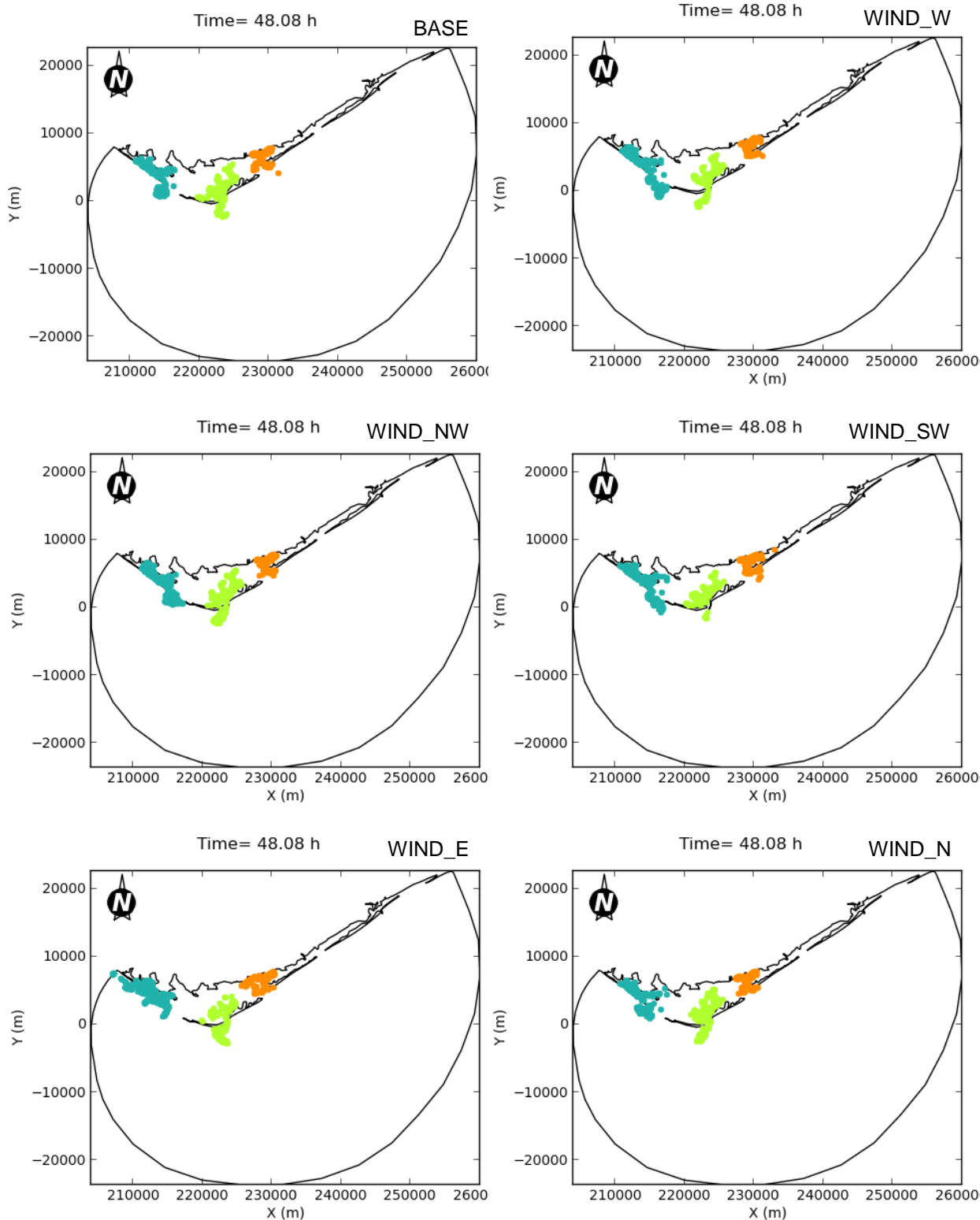


Figura A.2 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ançã, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

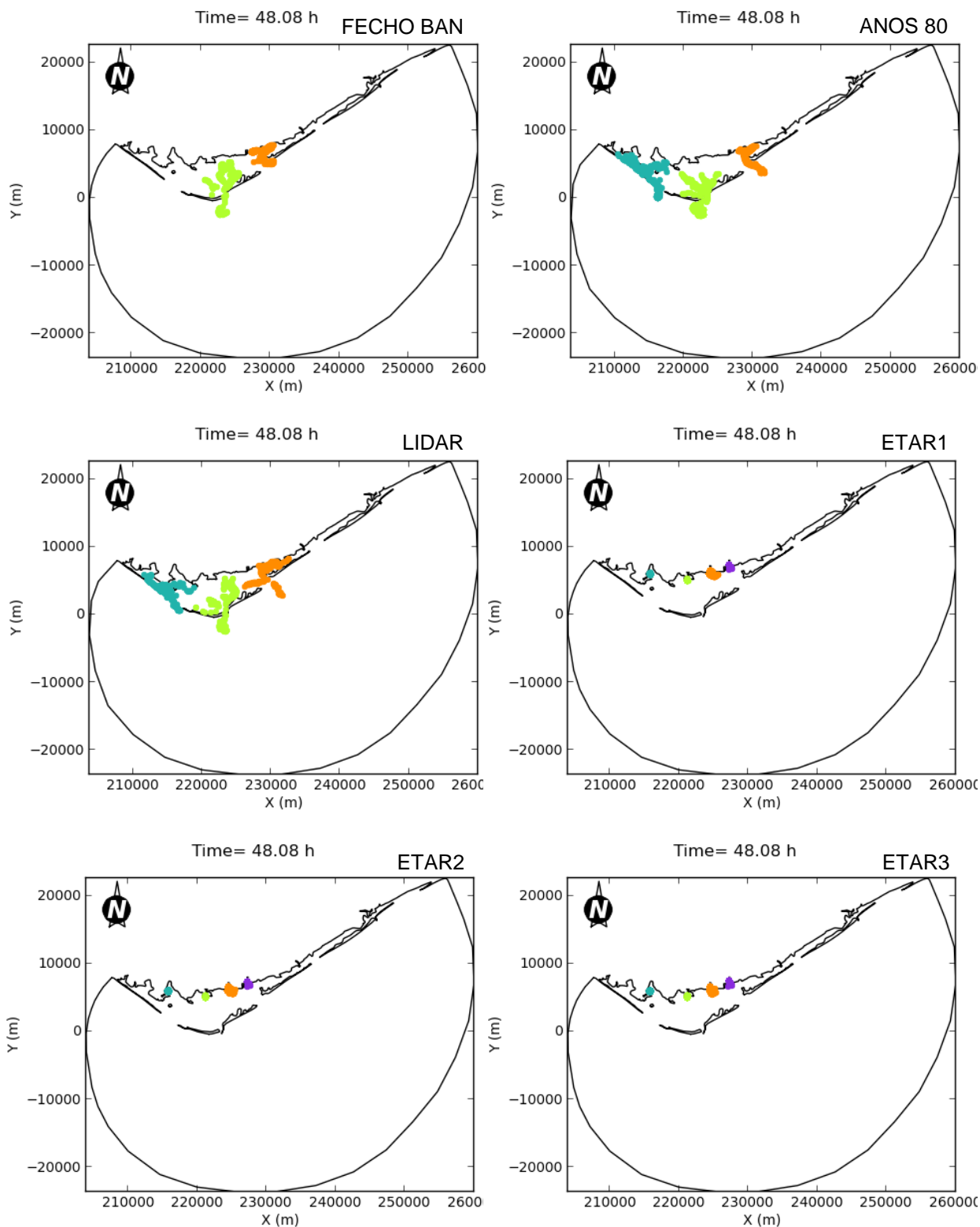


Figura A.2 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

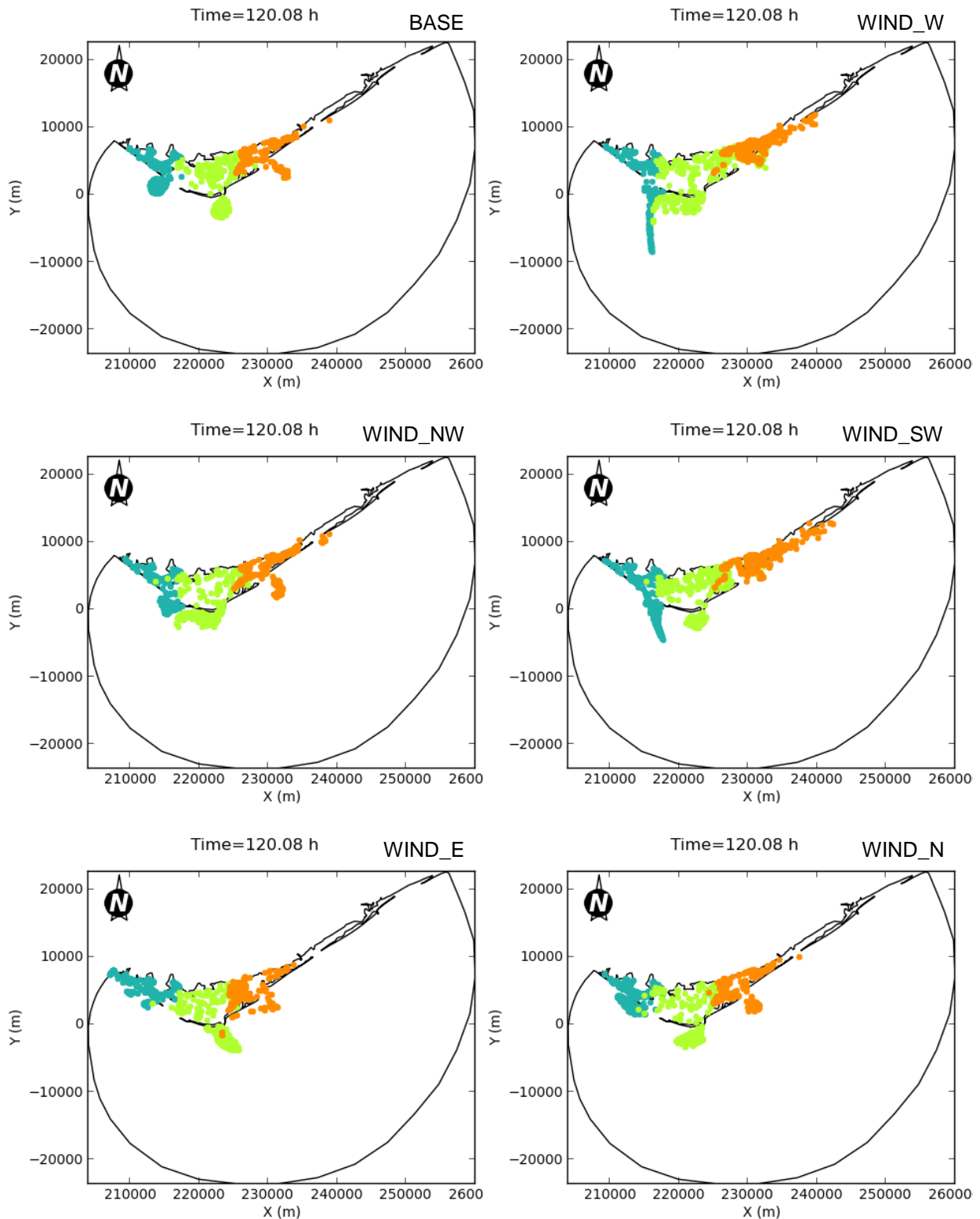


Figura A.3 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

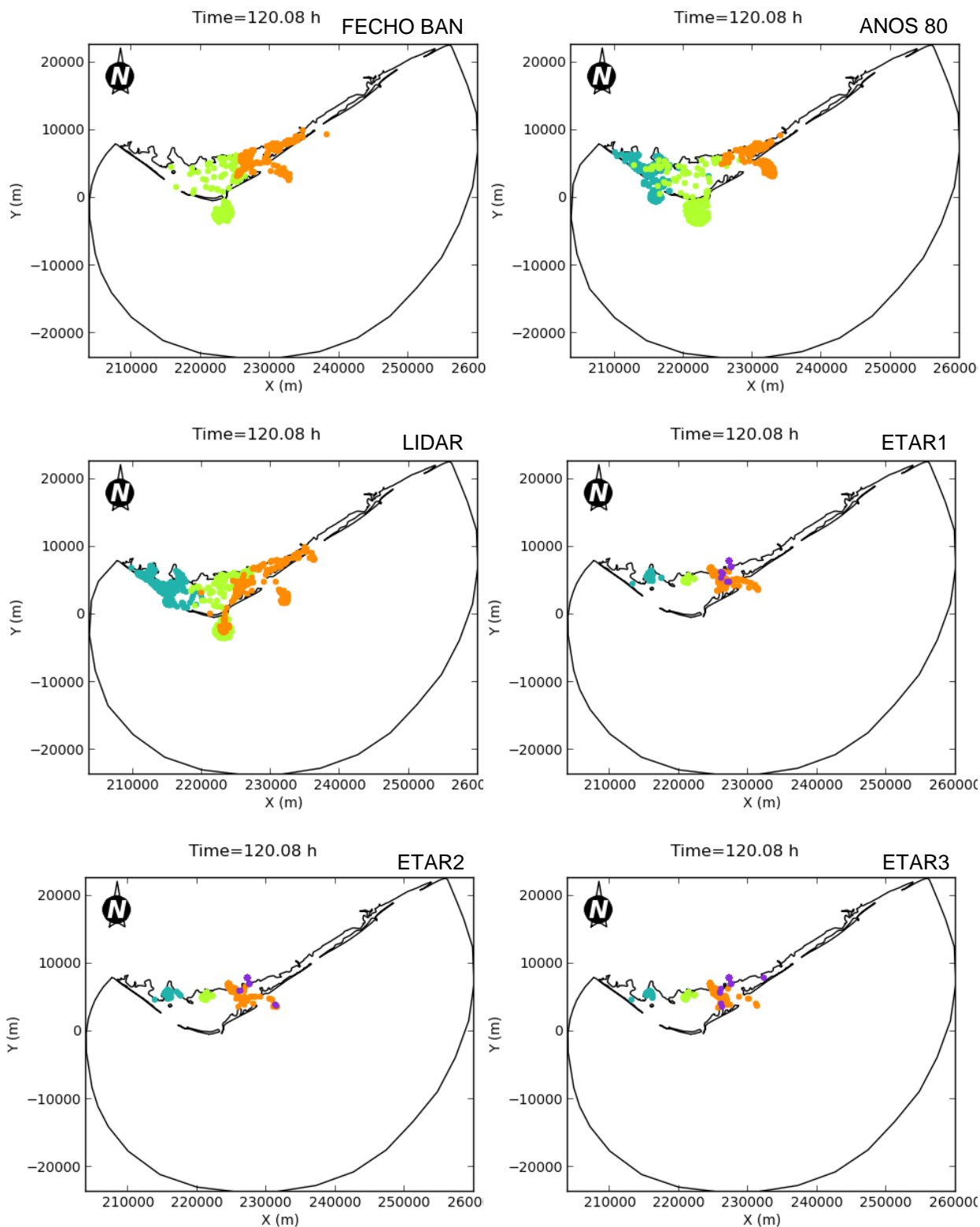


Figura A.3 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

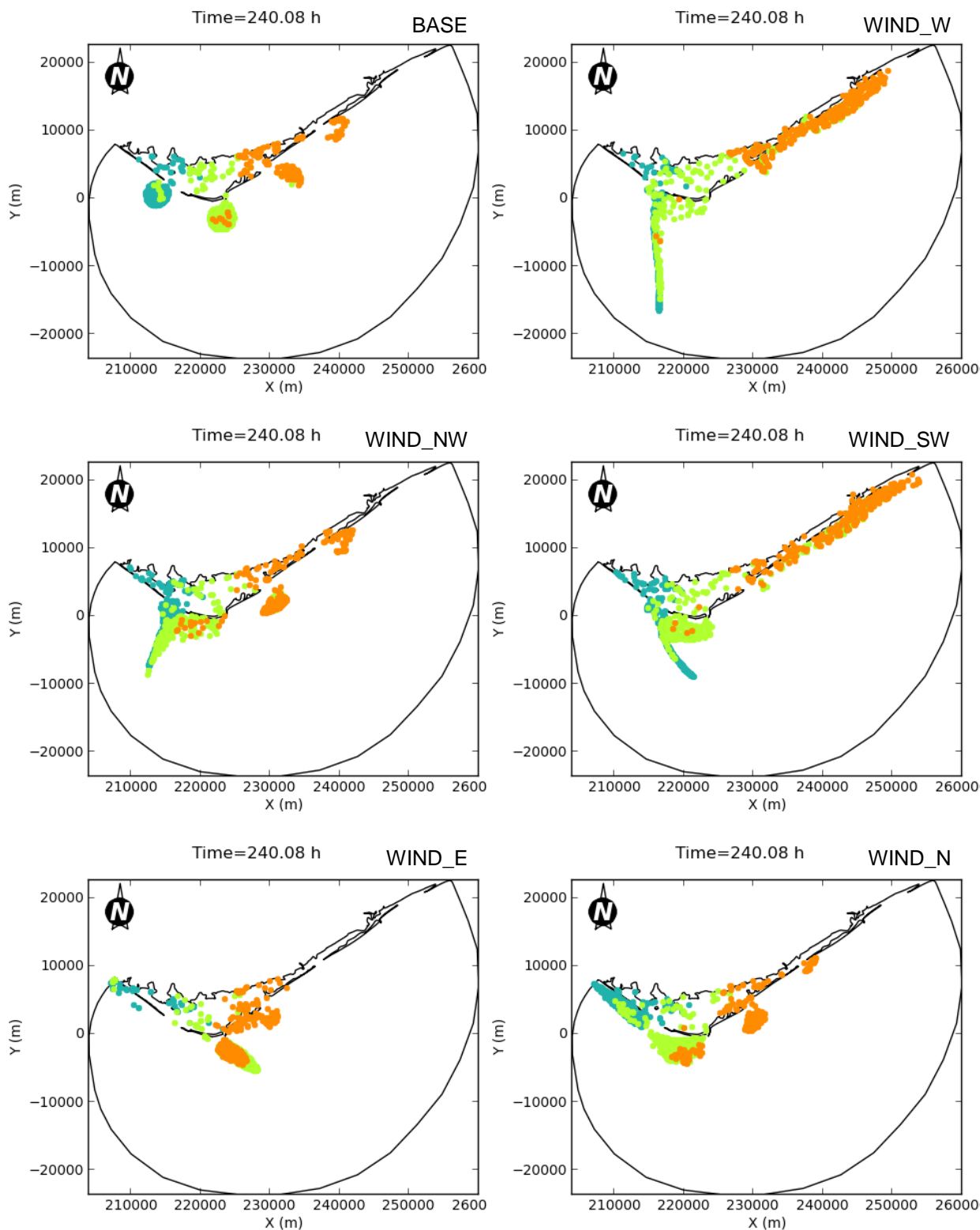


Figura A.4 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ançã, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

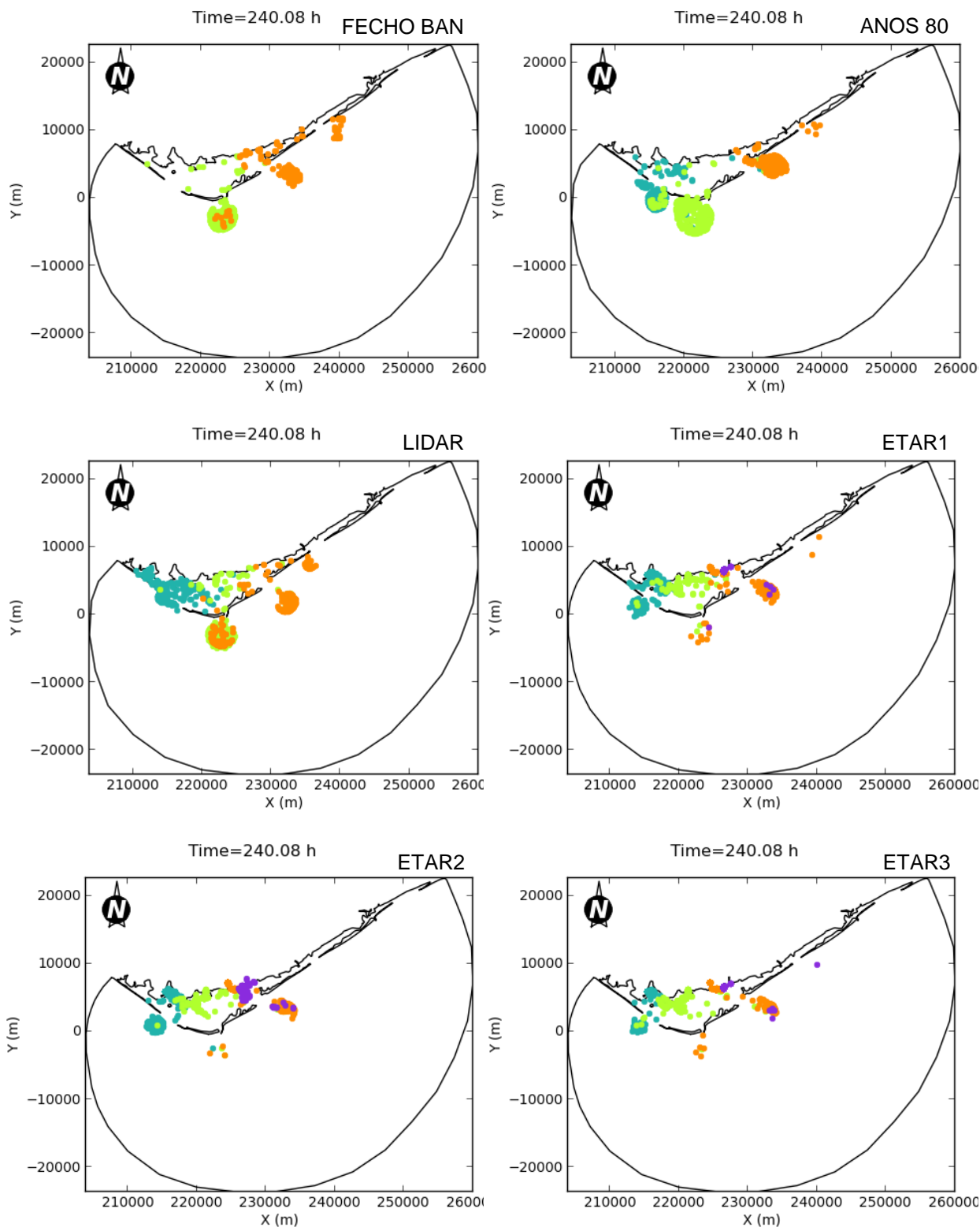


Figura A.4 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

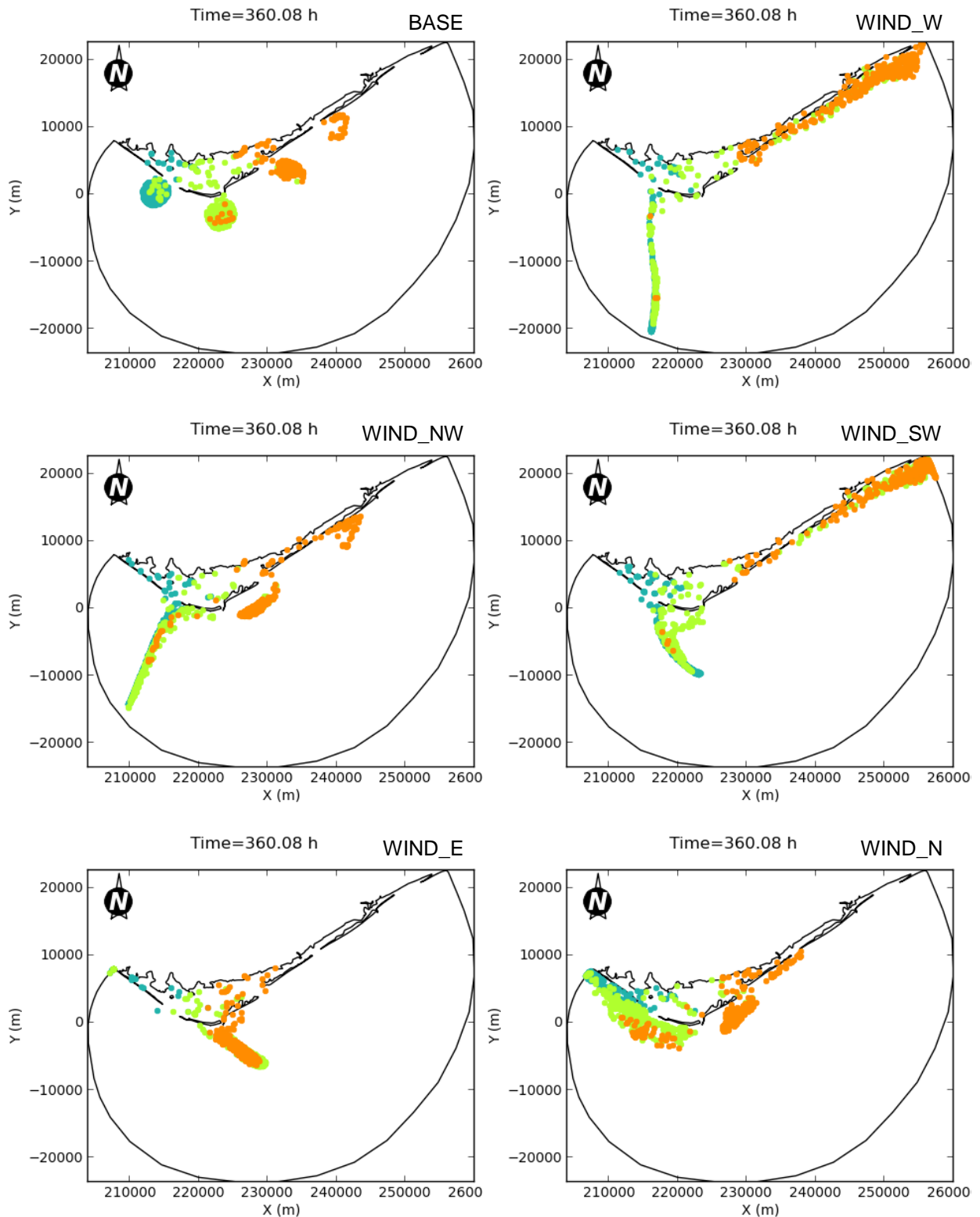


Figura A.5 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

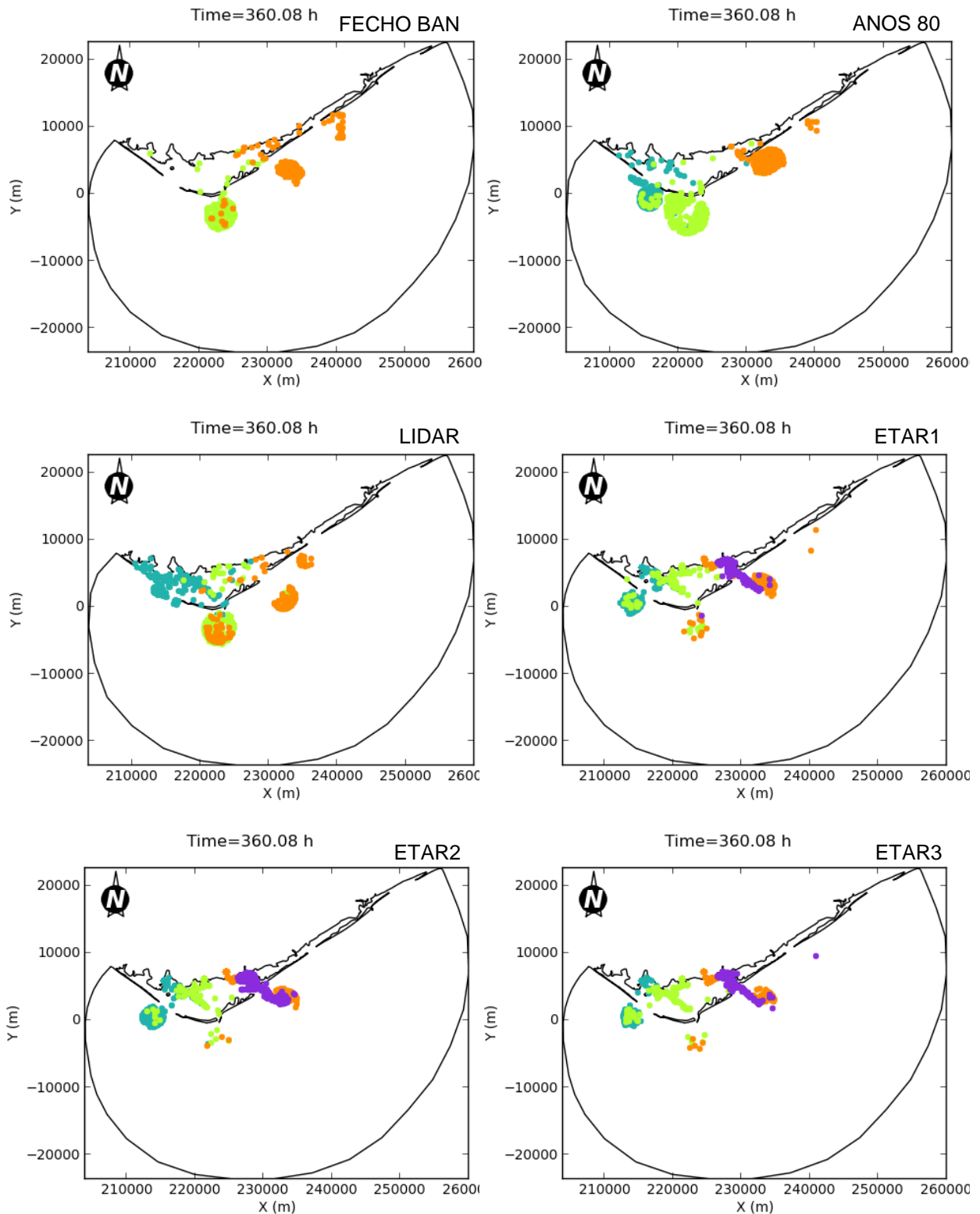


Figura A.5 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

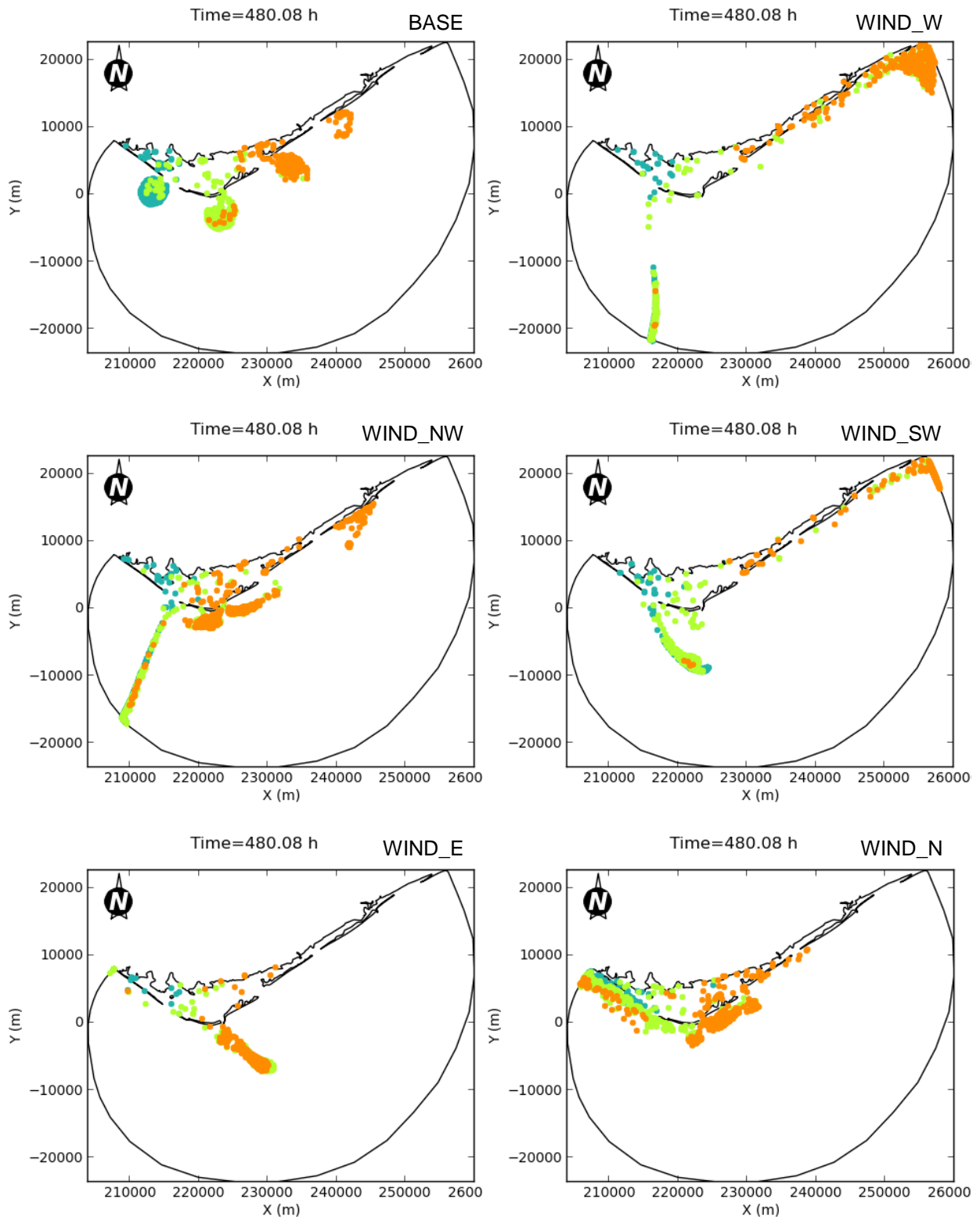


Figura A.6 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

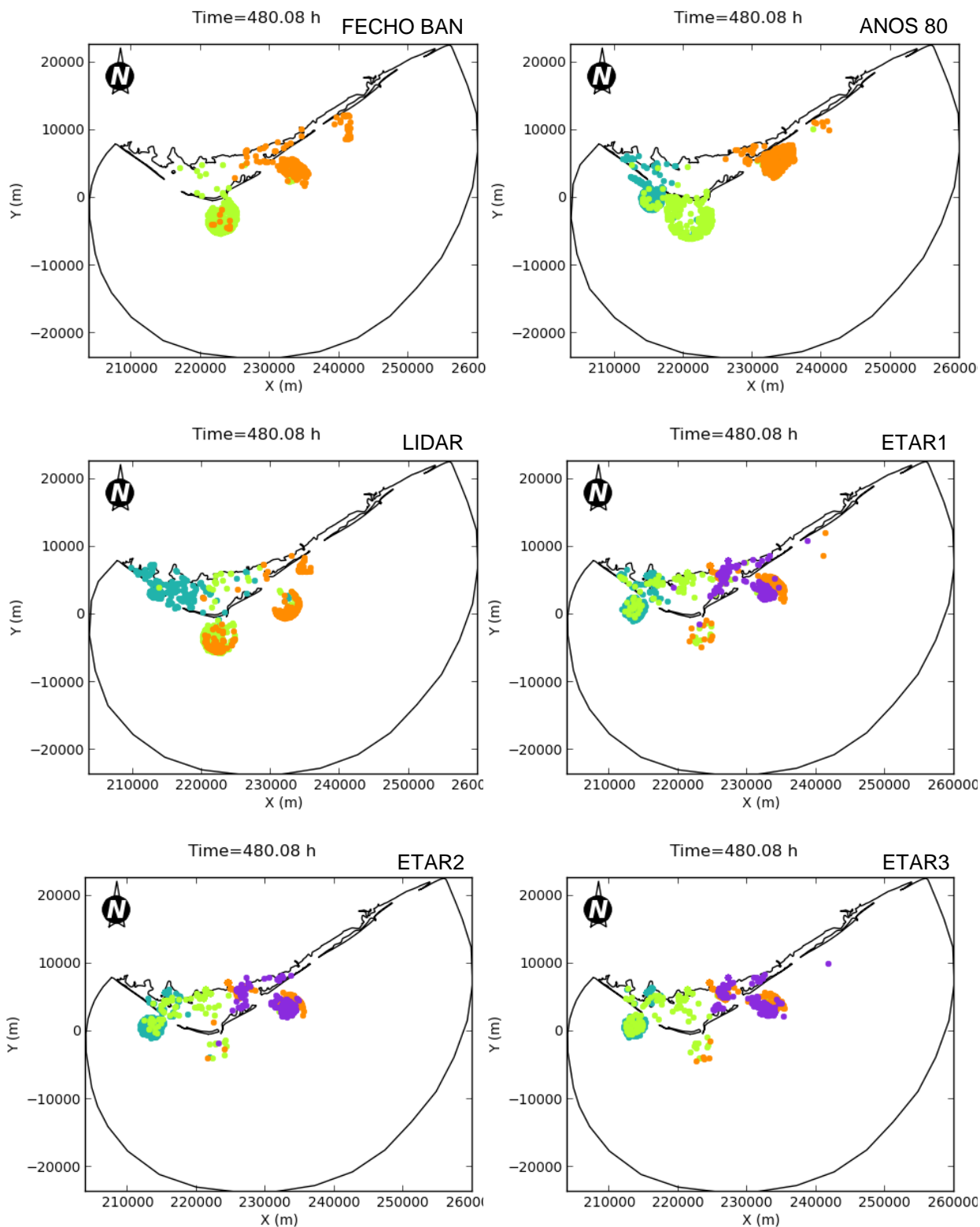


Figura A.6 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

Partículas com origem nas barras e nas ETAR em situação de baixa-mar em maré viva.

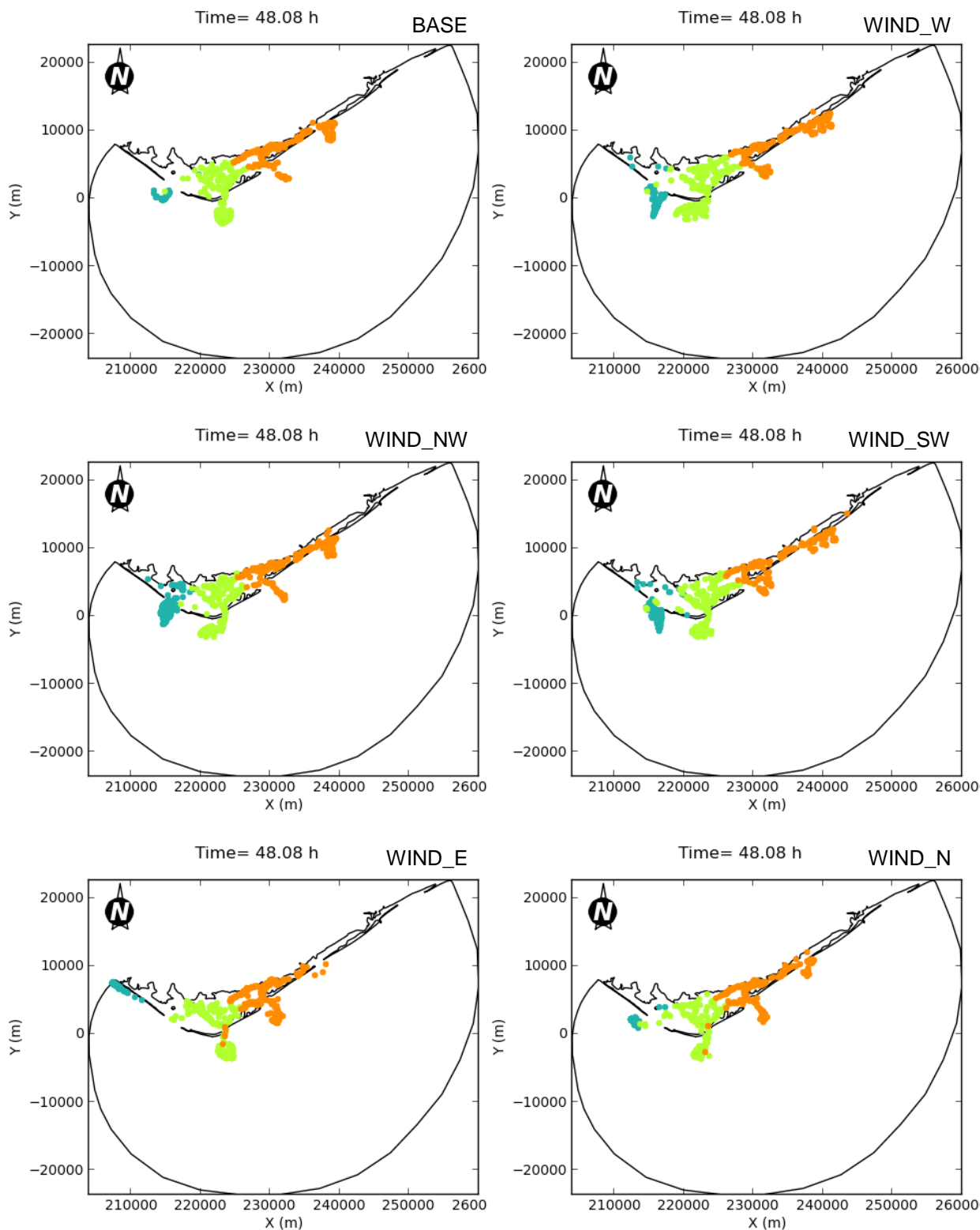


Figura A.7 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

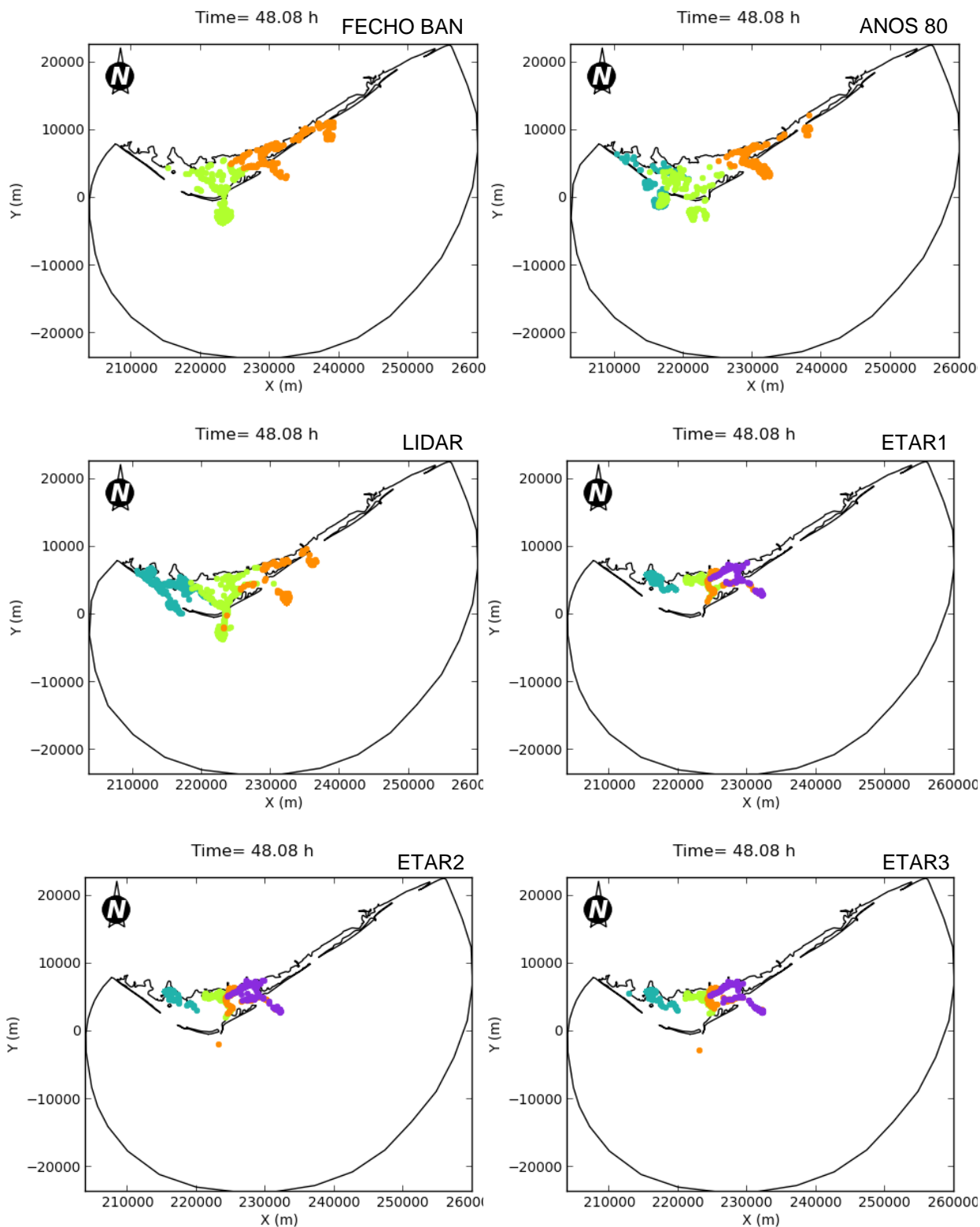


Figura A.7 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

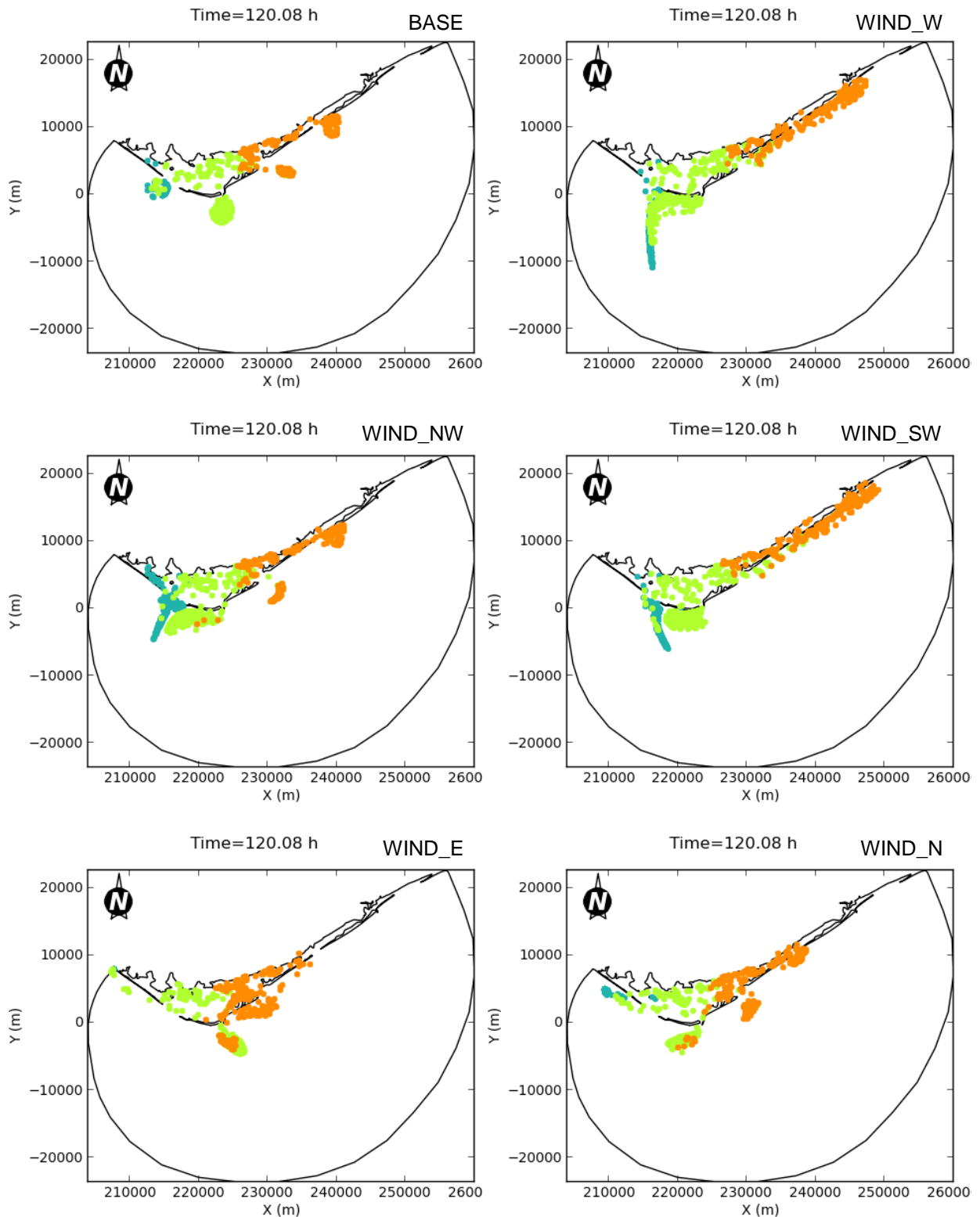


Figura A.8 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

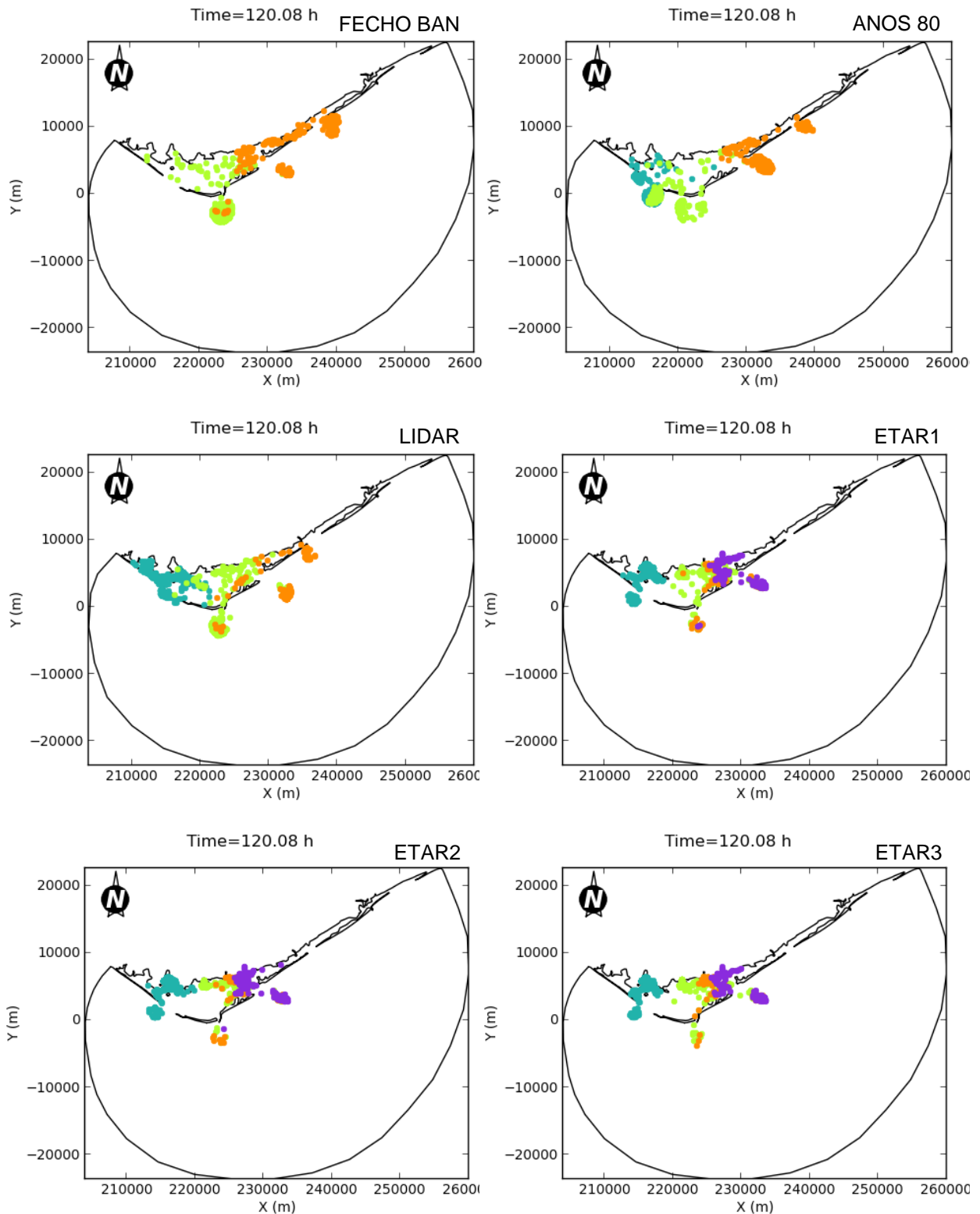


Figura A.8 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

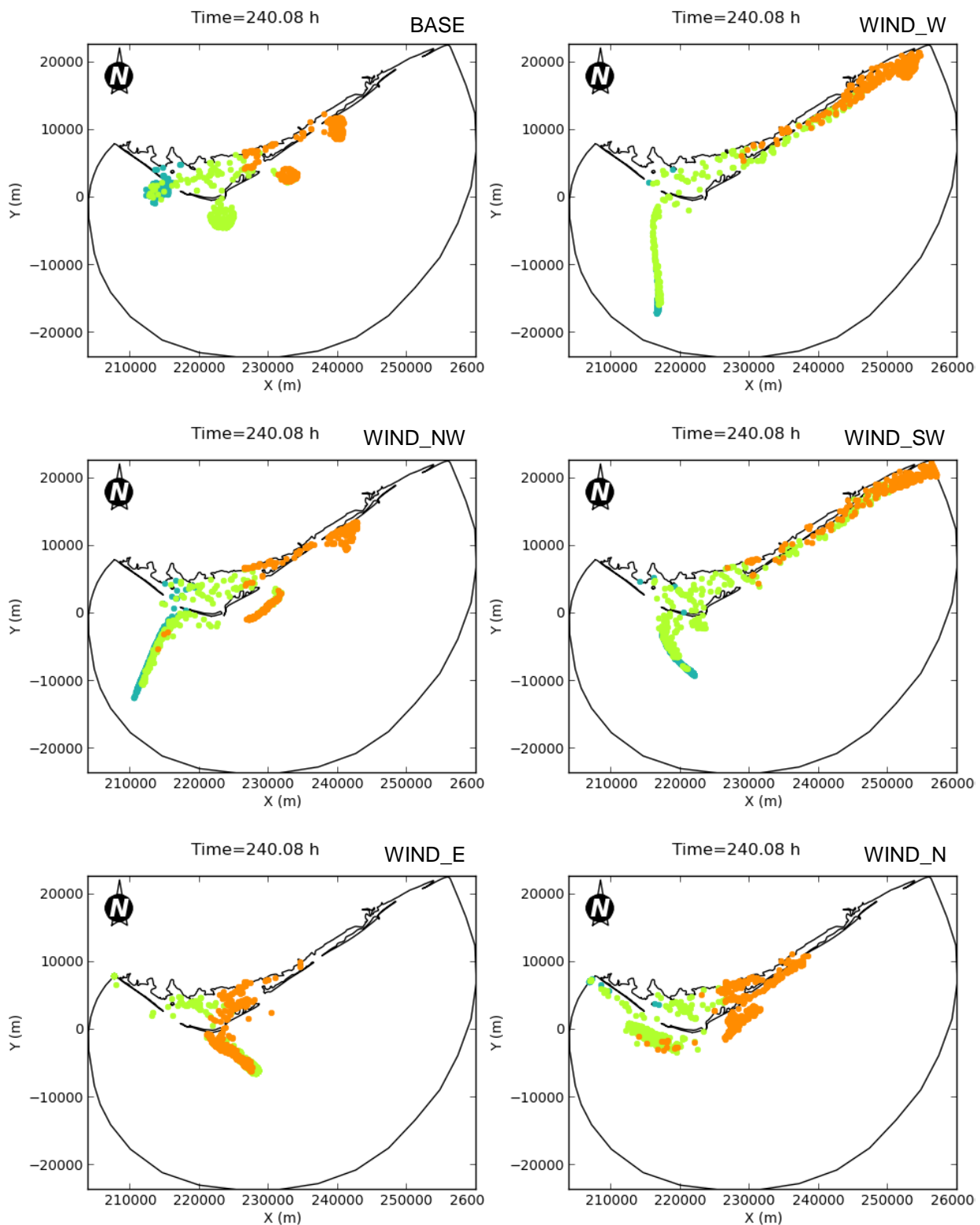


Figura A.9 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

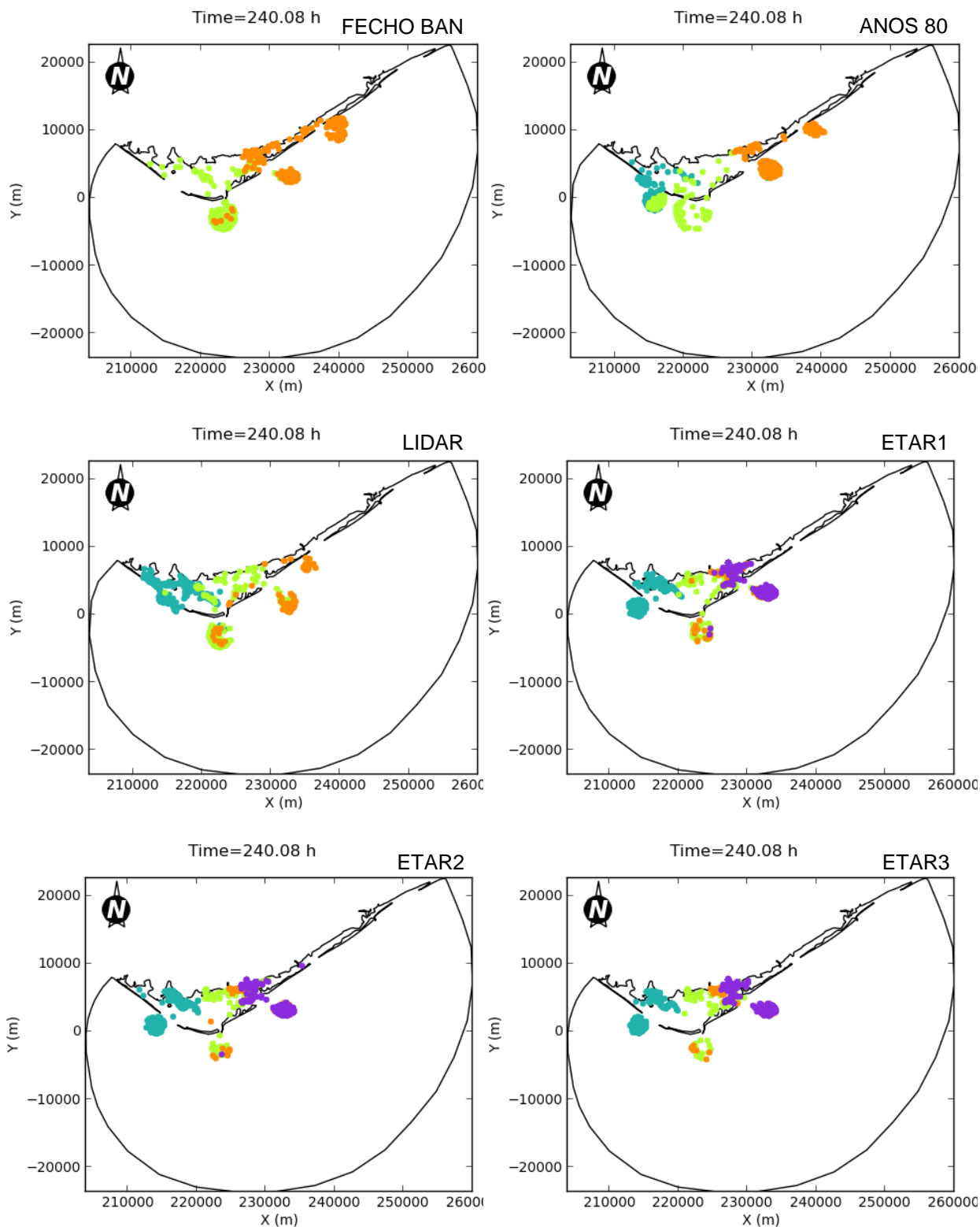


Figura A.9 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

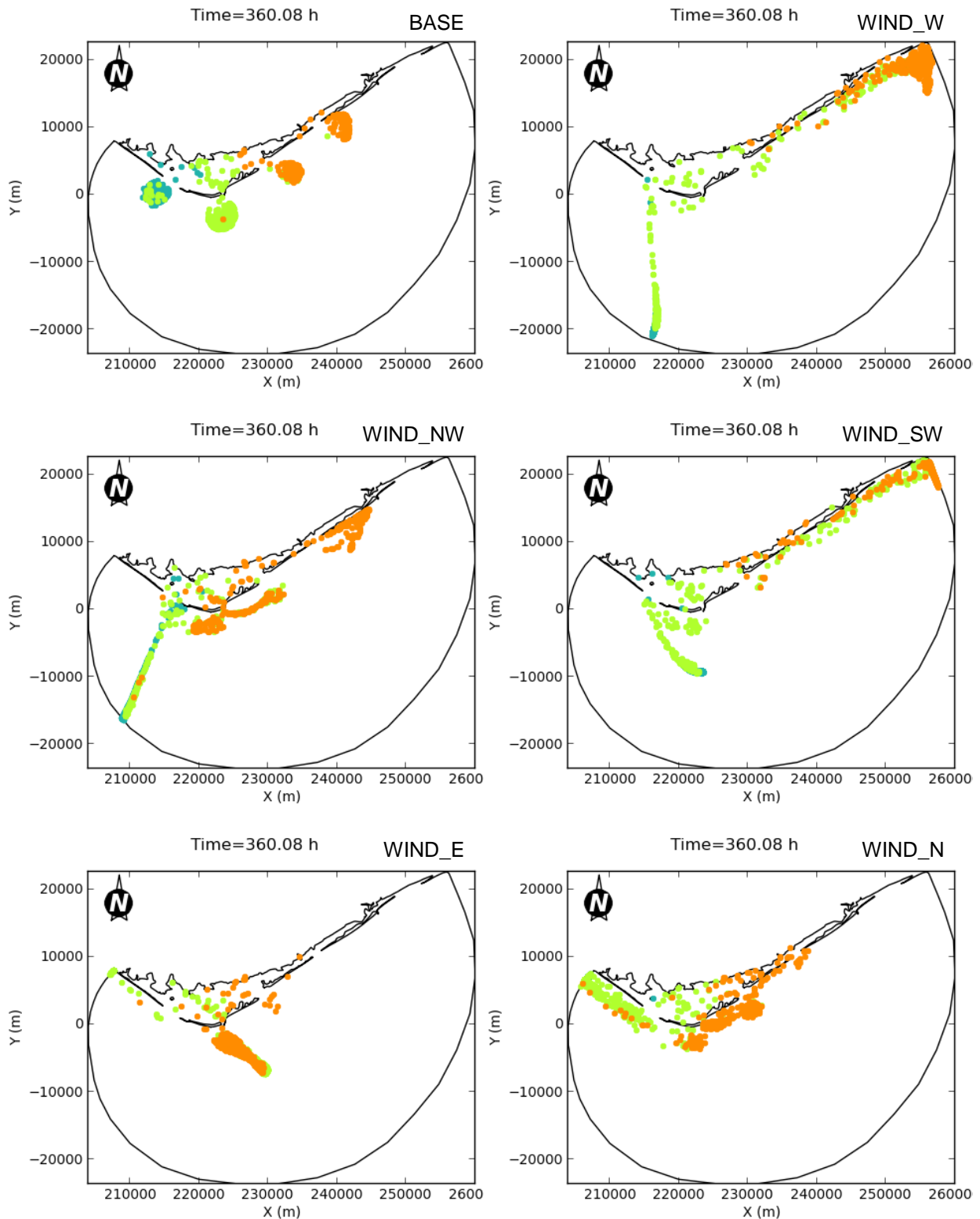


Figura A.10 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armonia. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

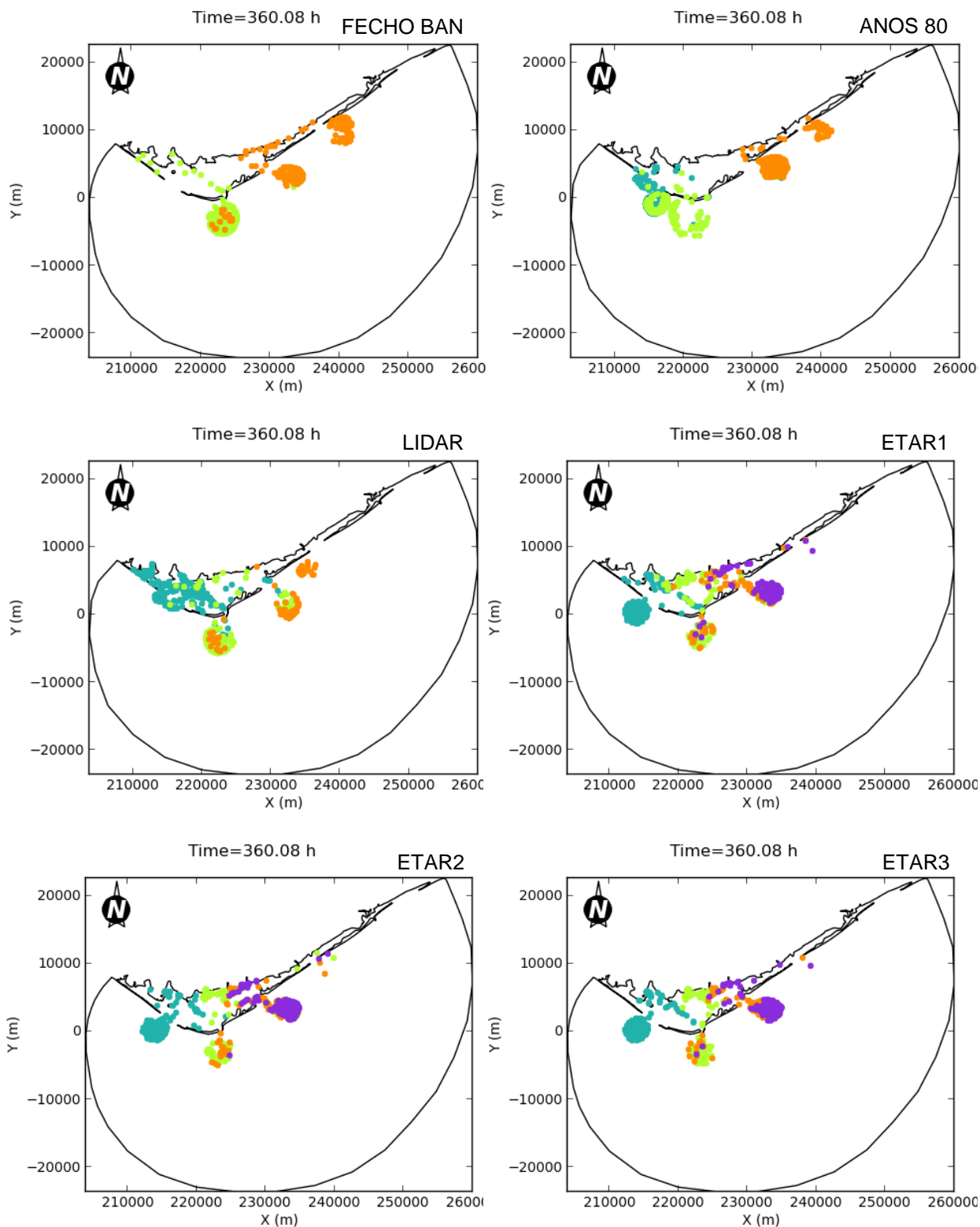


Figura A.10 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

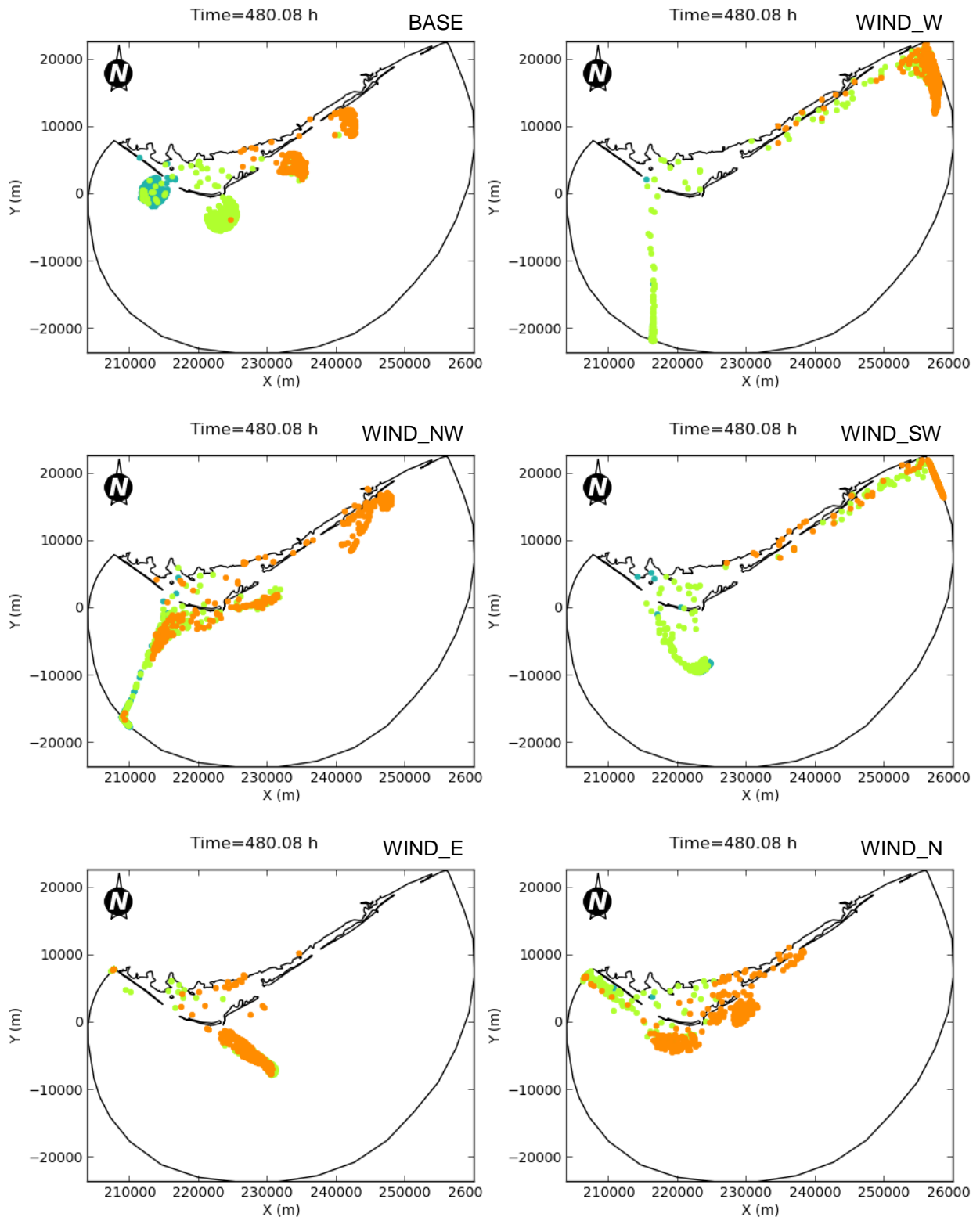


Figura A.11 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

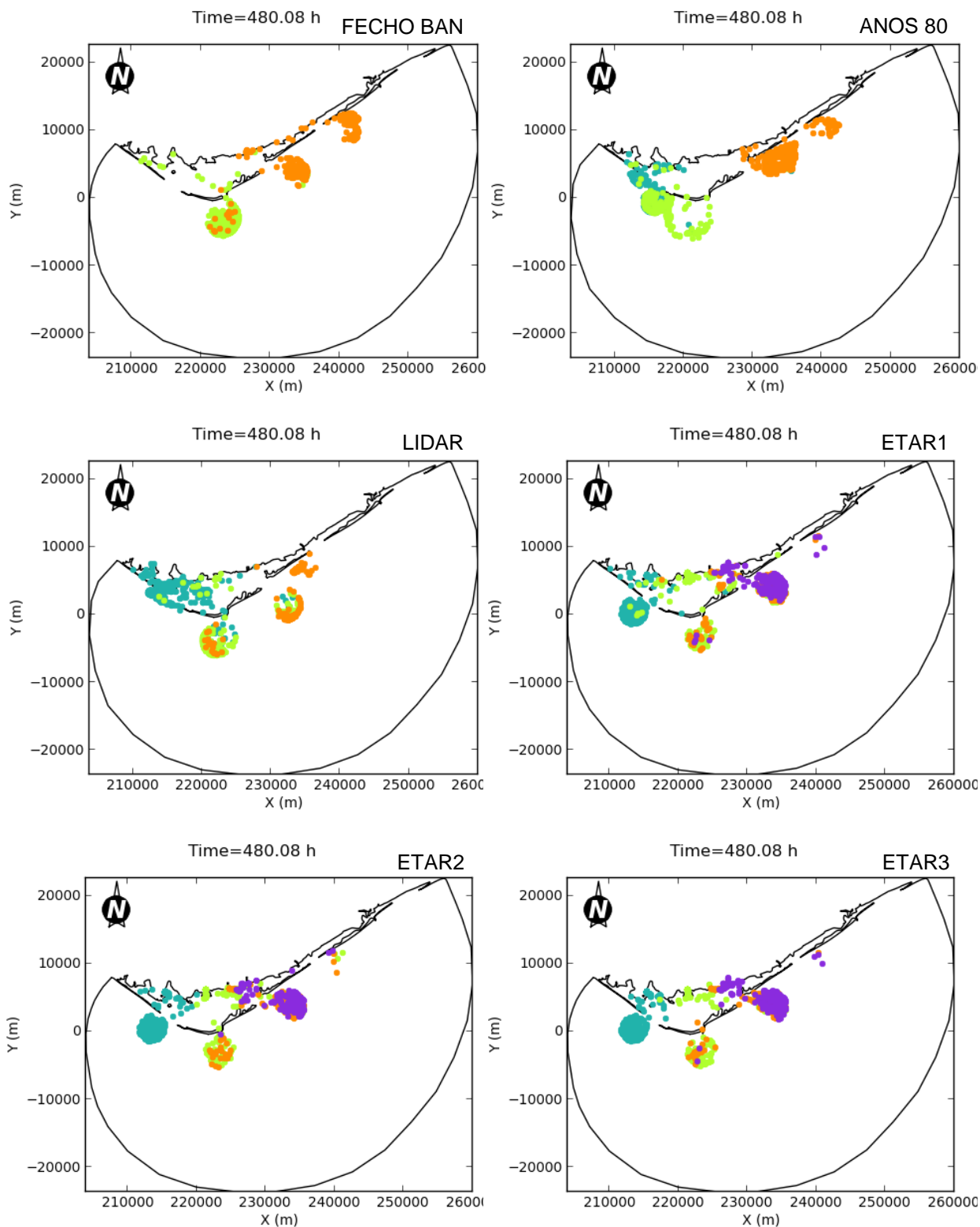


Figura A.11 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

Partículas com origem nas barras e nas ETAR em situação de enchente em maré morta.

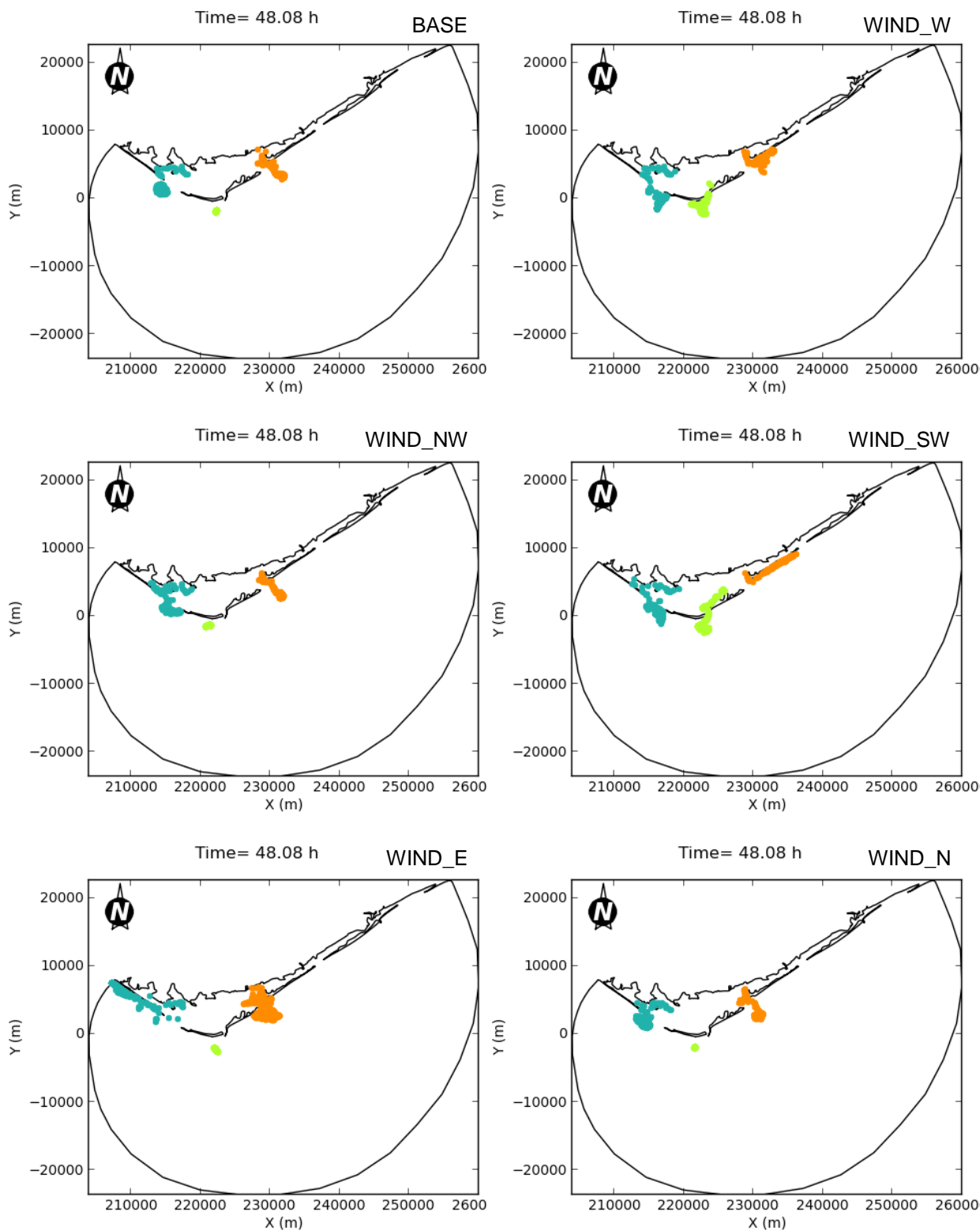


Figura A.12 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ançã, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

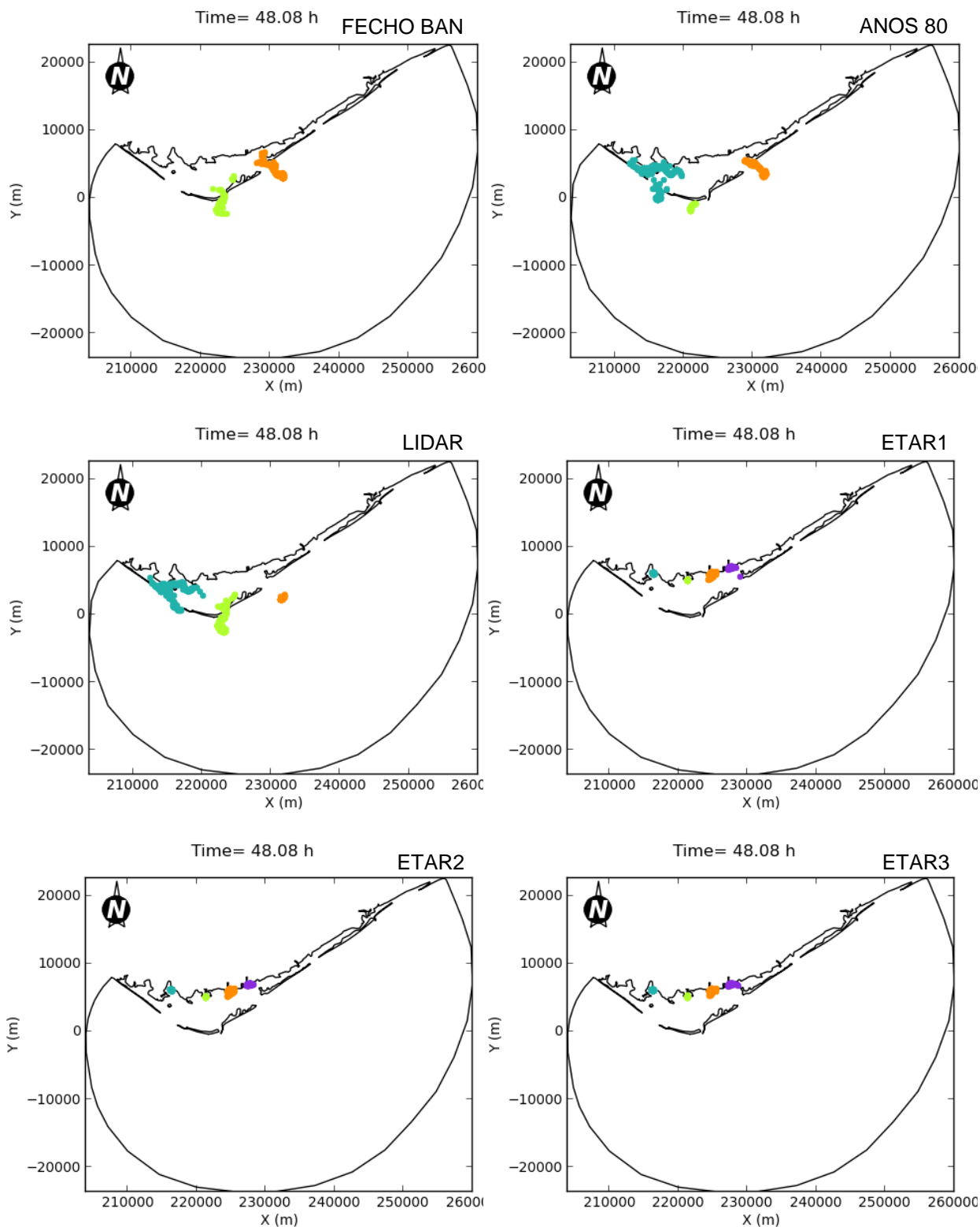


Figura A.12 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

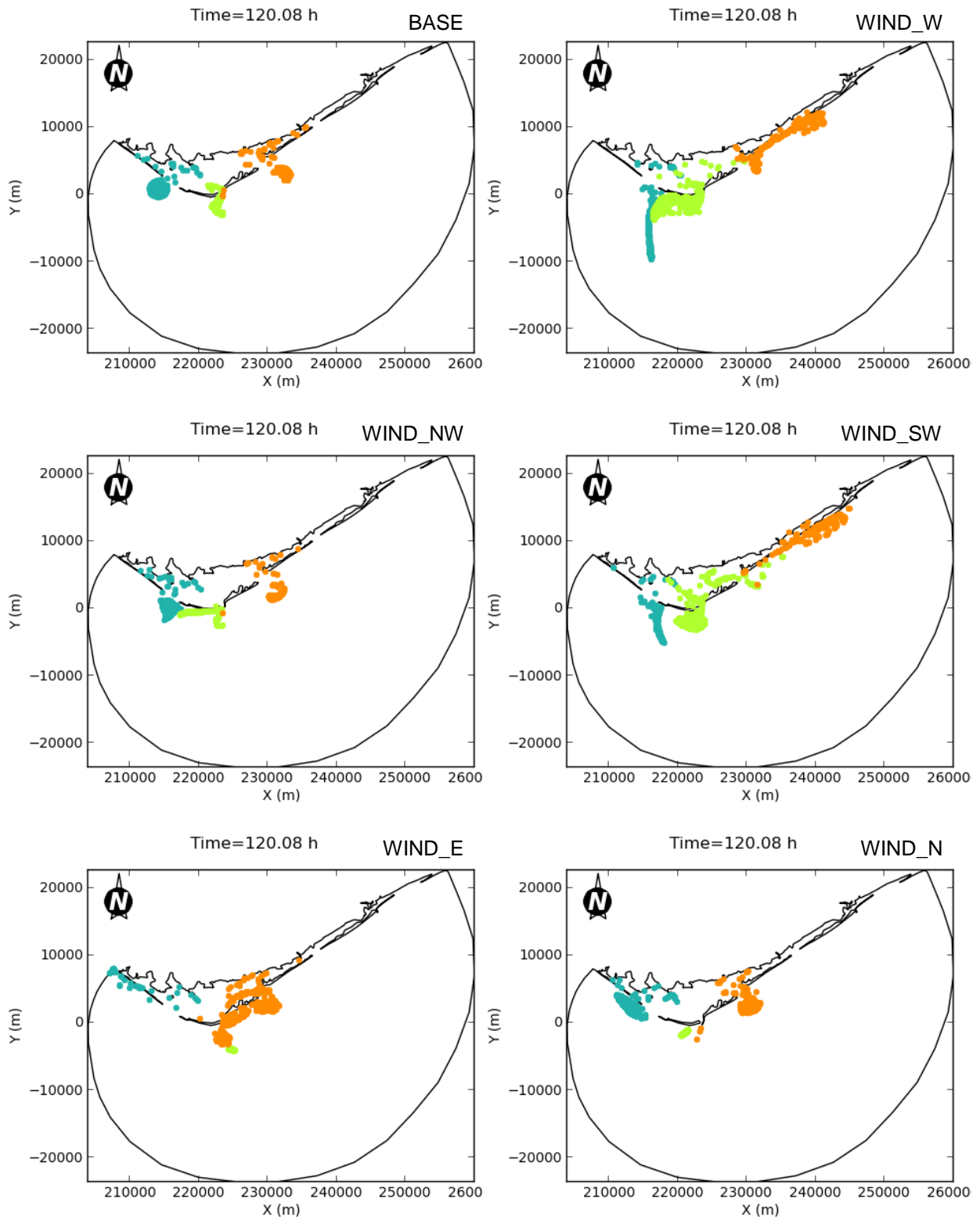


Figura A.13 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

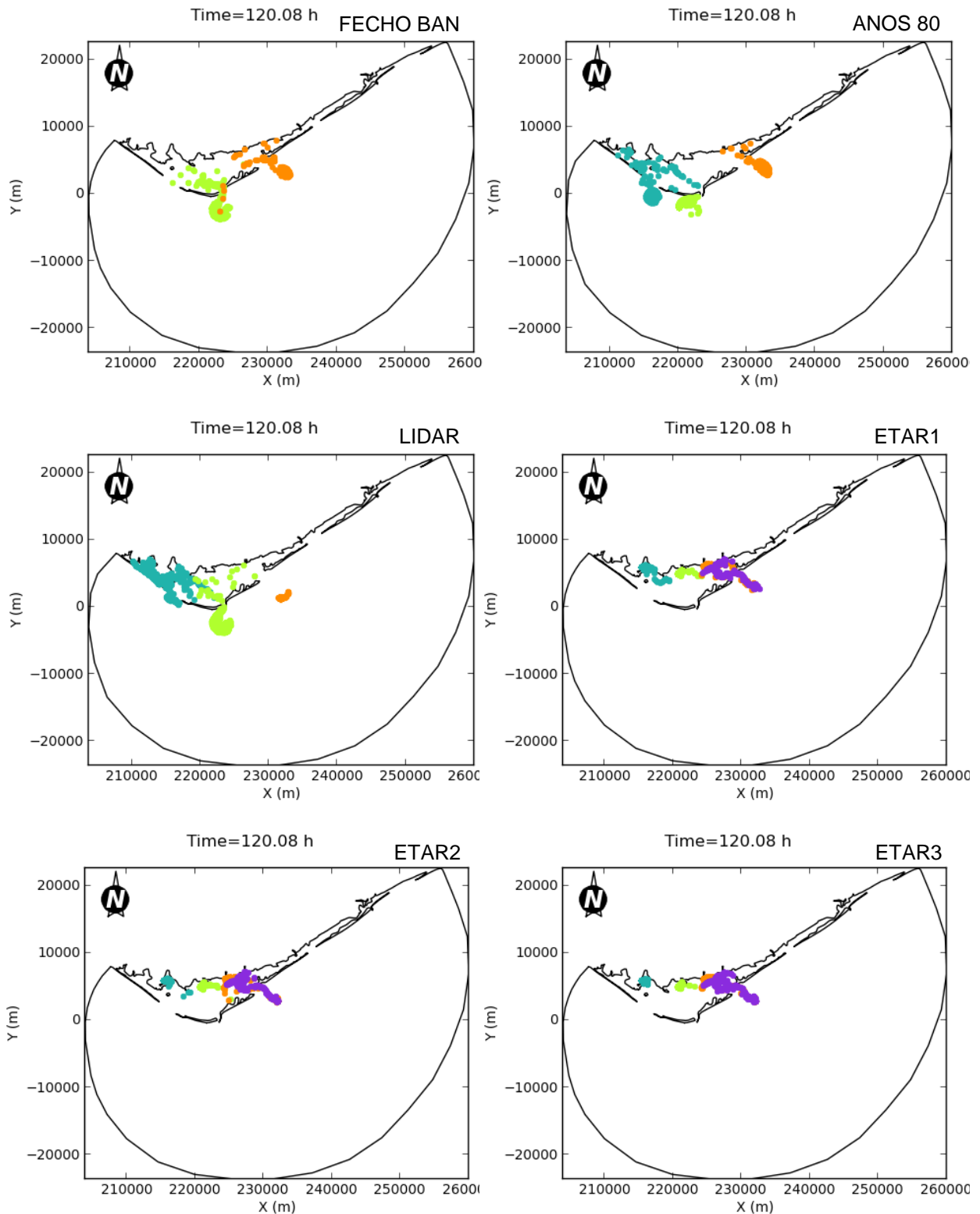


Figura A.13 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

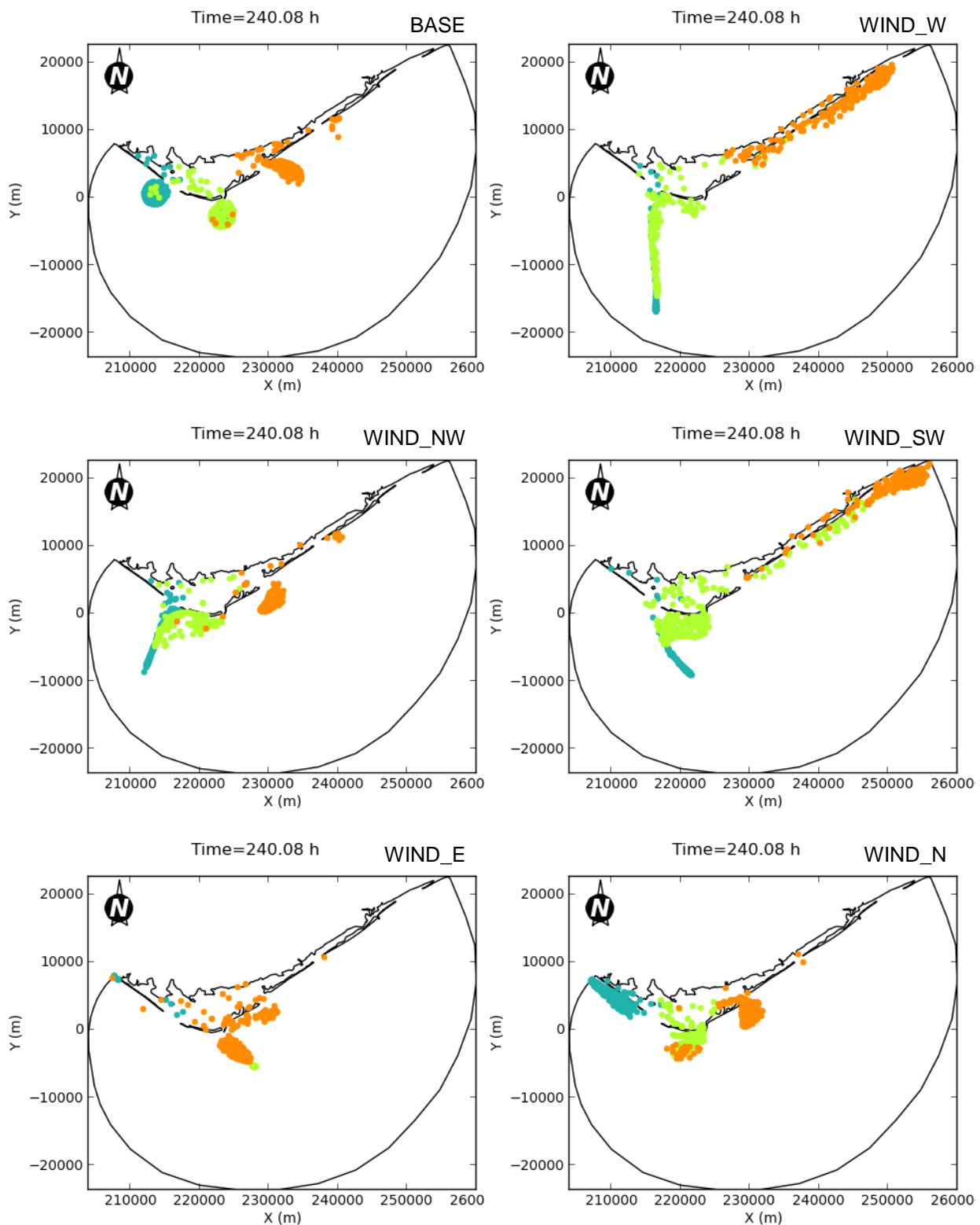


Figura A.14 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

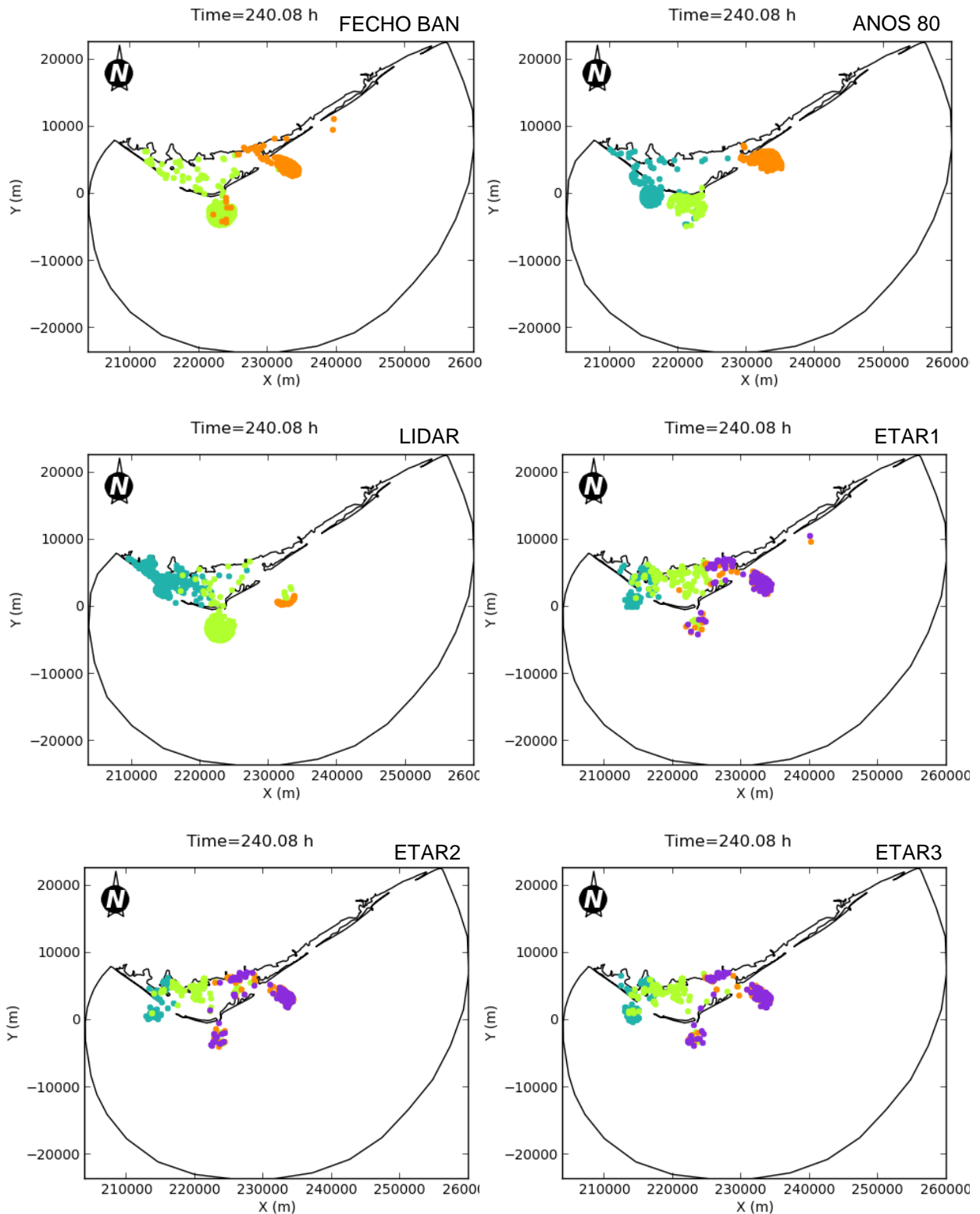


Figura A.14 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

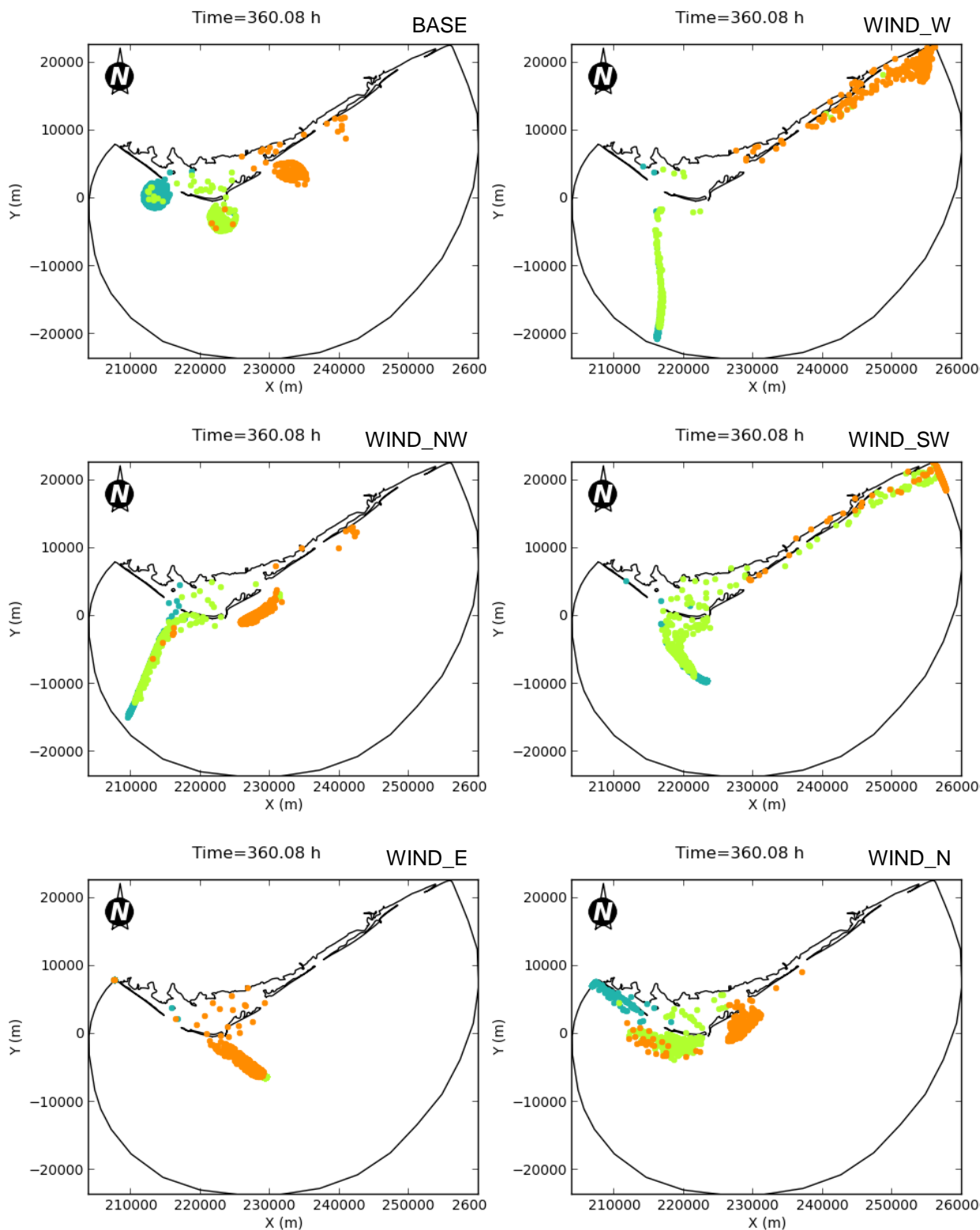


Figura A.15 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armonia. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

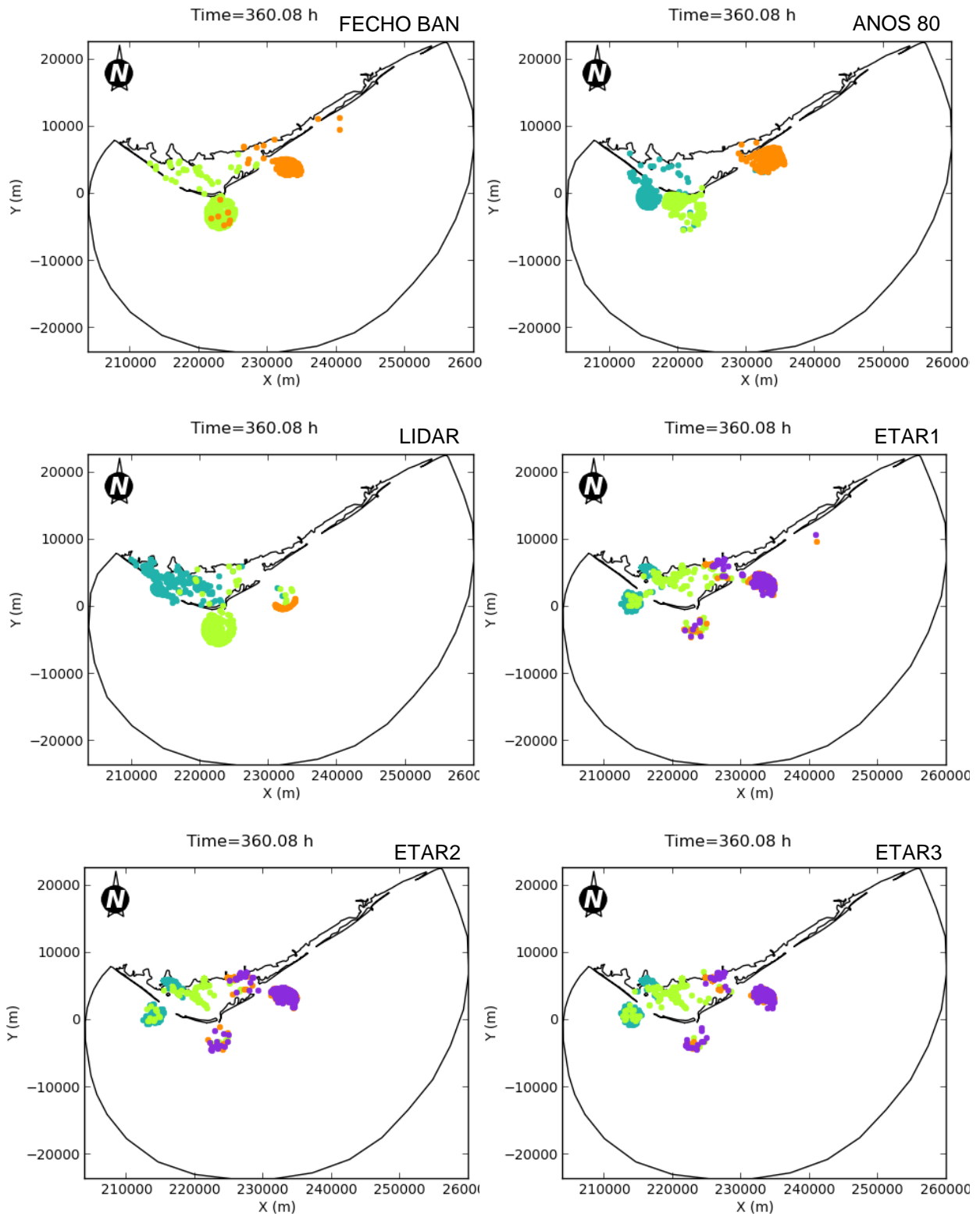


Figura A.15 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

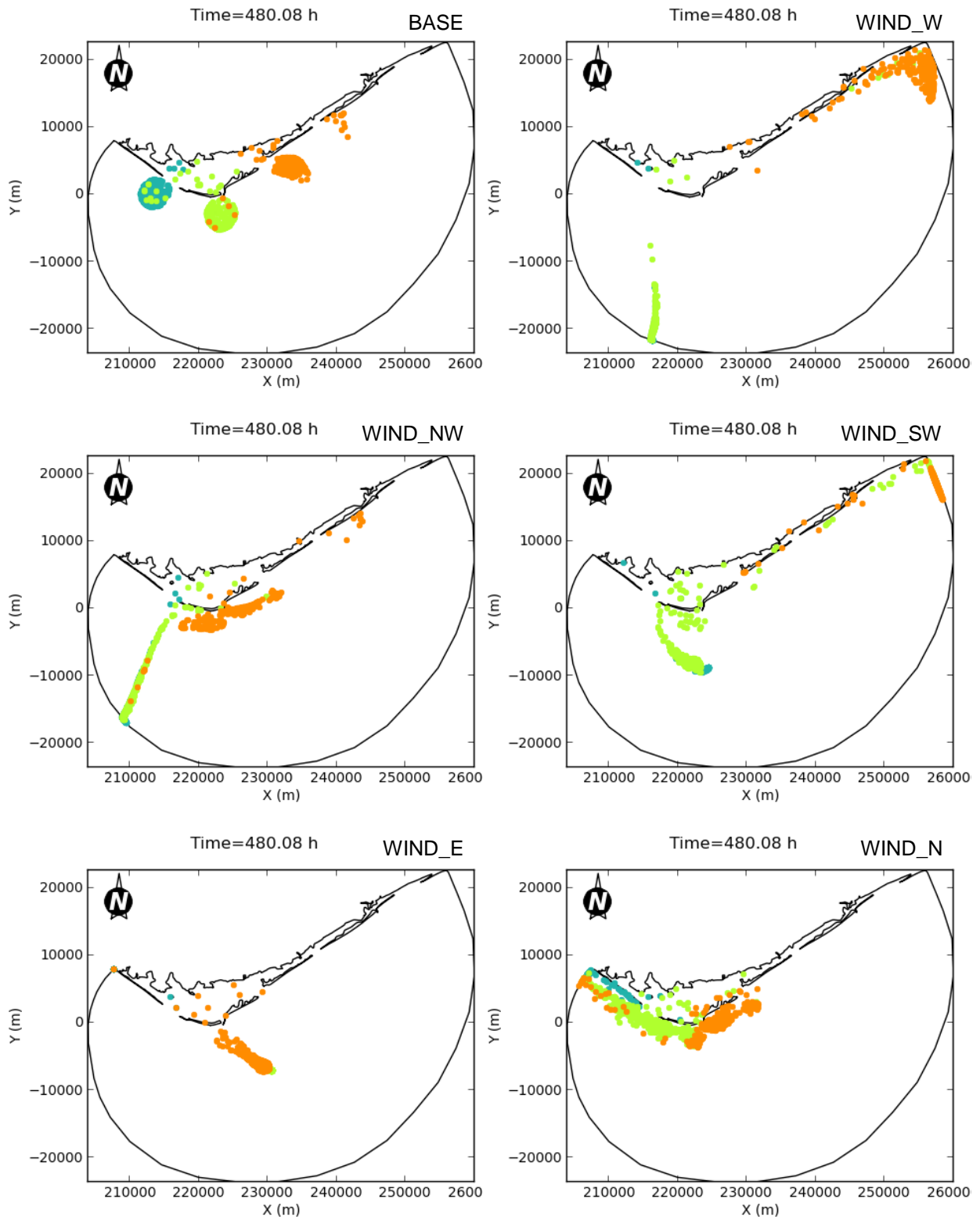


Figura A.16 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armonia. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

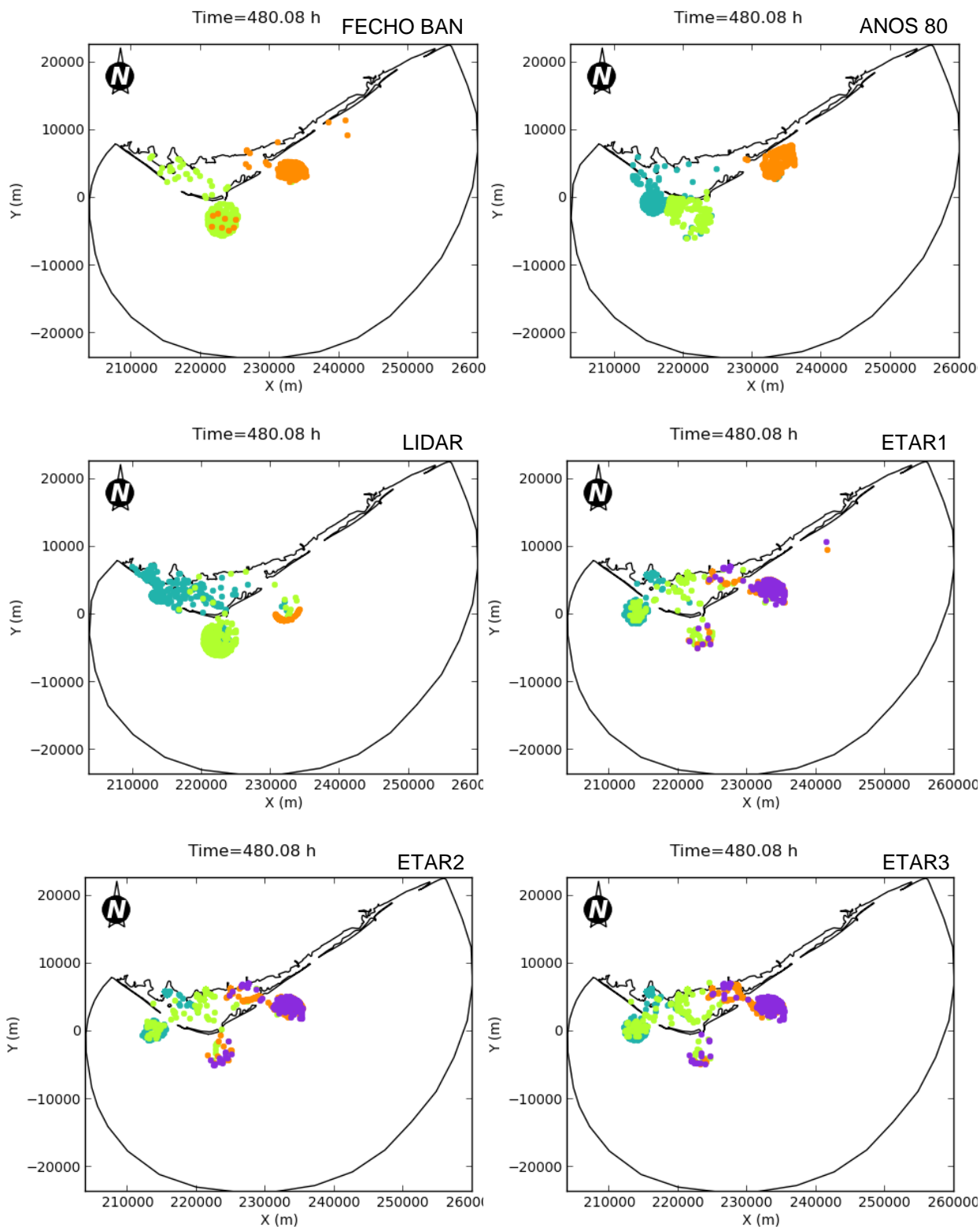


Figura A.16 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ançã, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

Partículas com origem nas barras e nas ETAR em situação de enchente em maré viva.

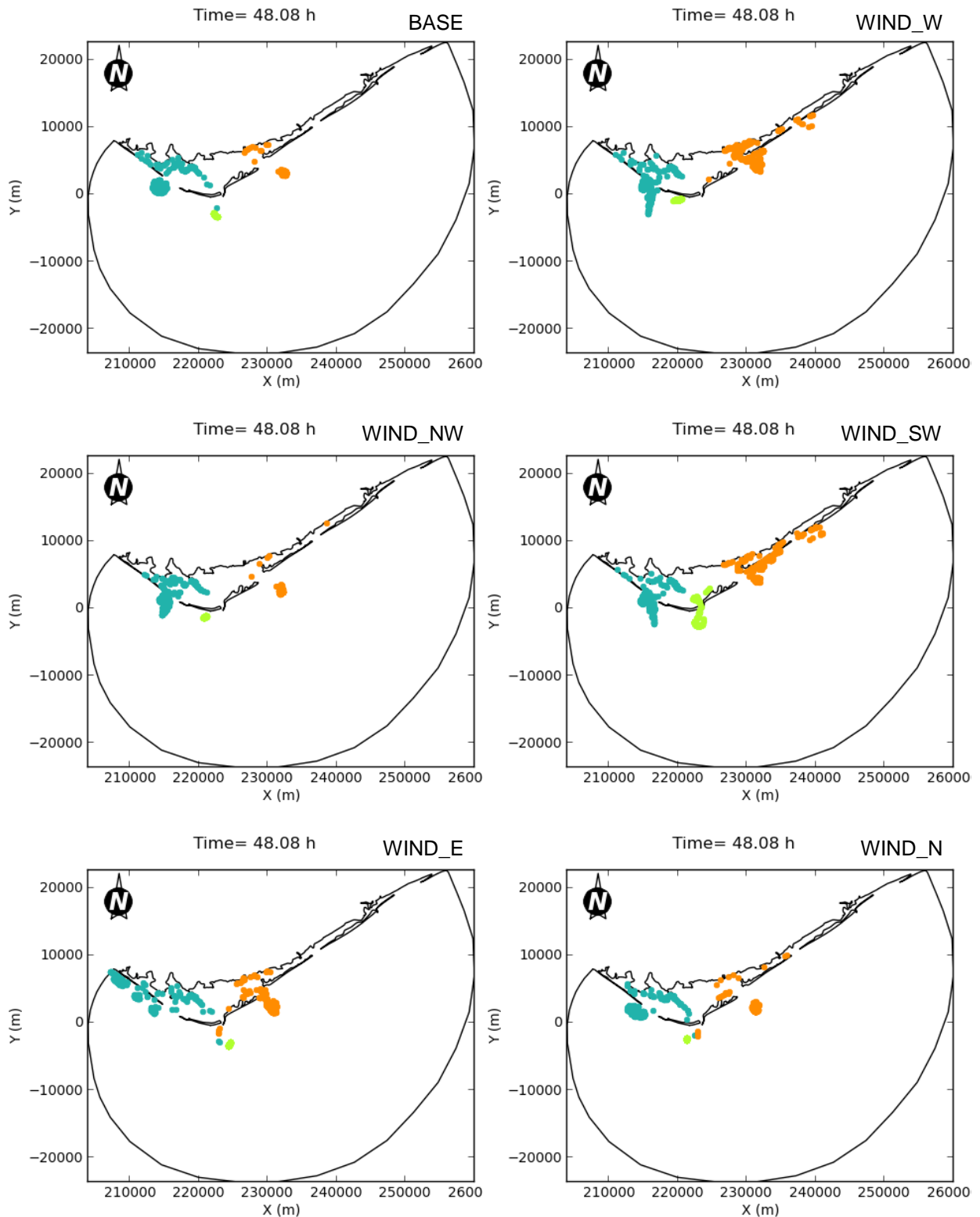


Figura A.17 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

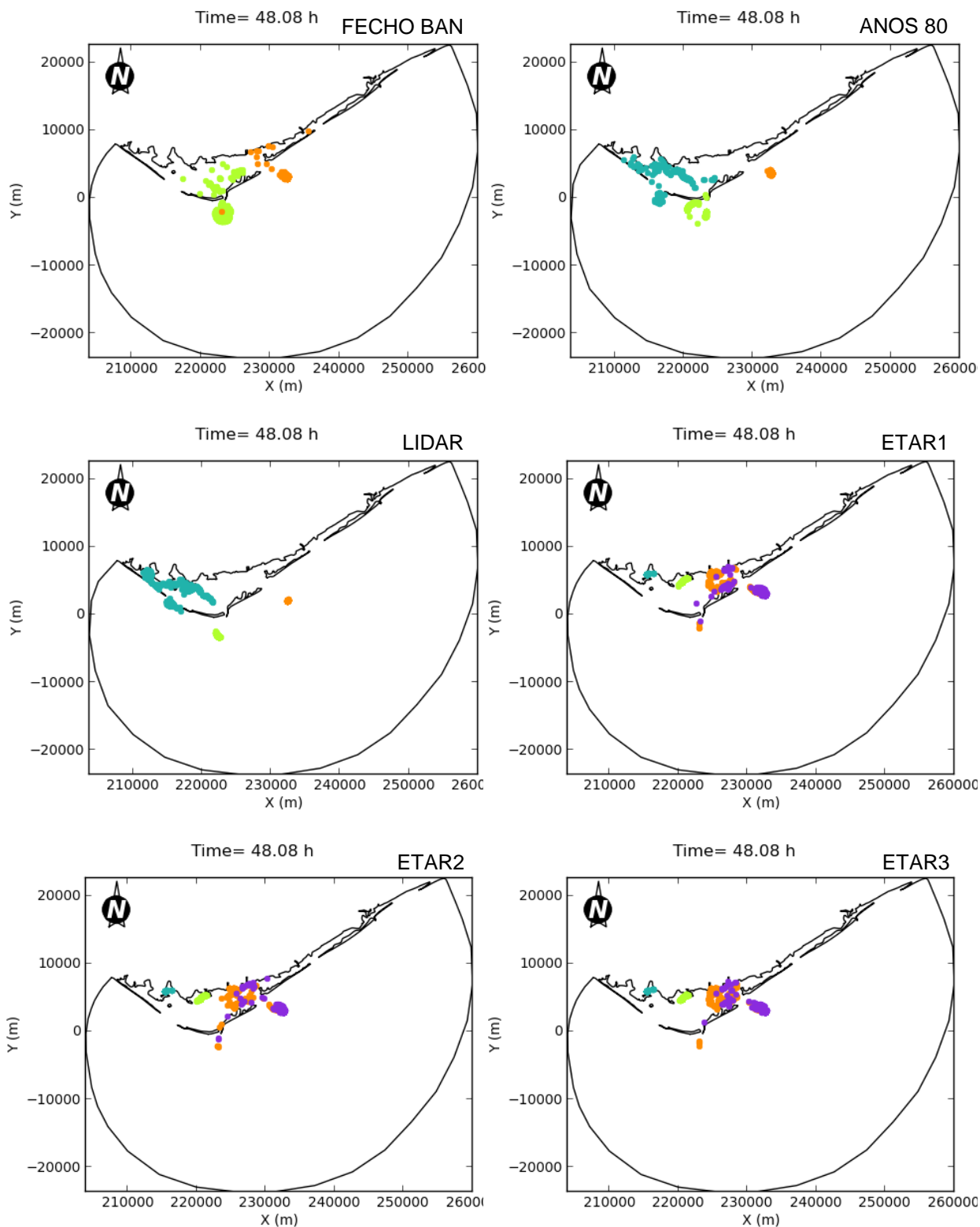


Figura A.17 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

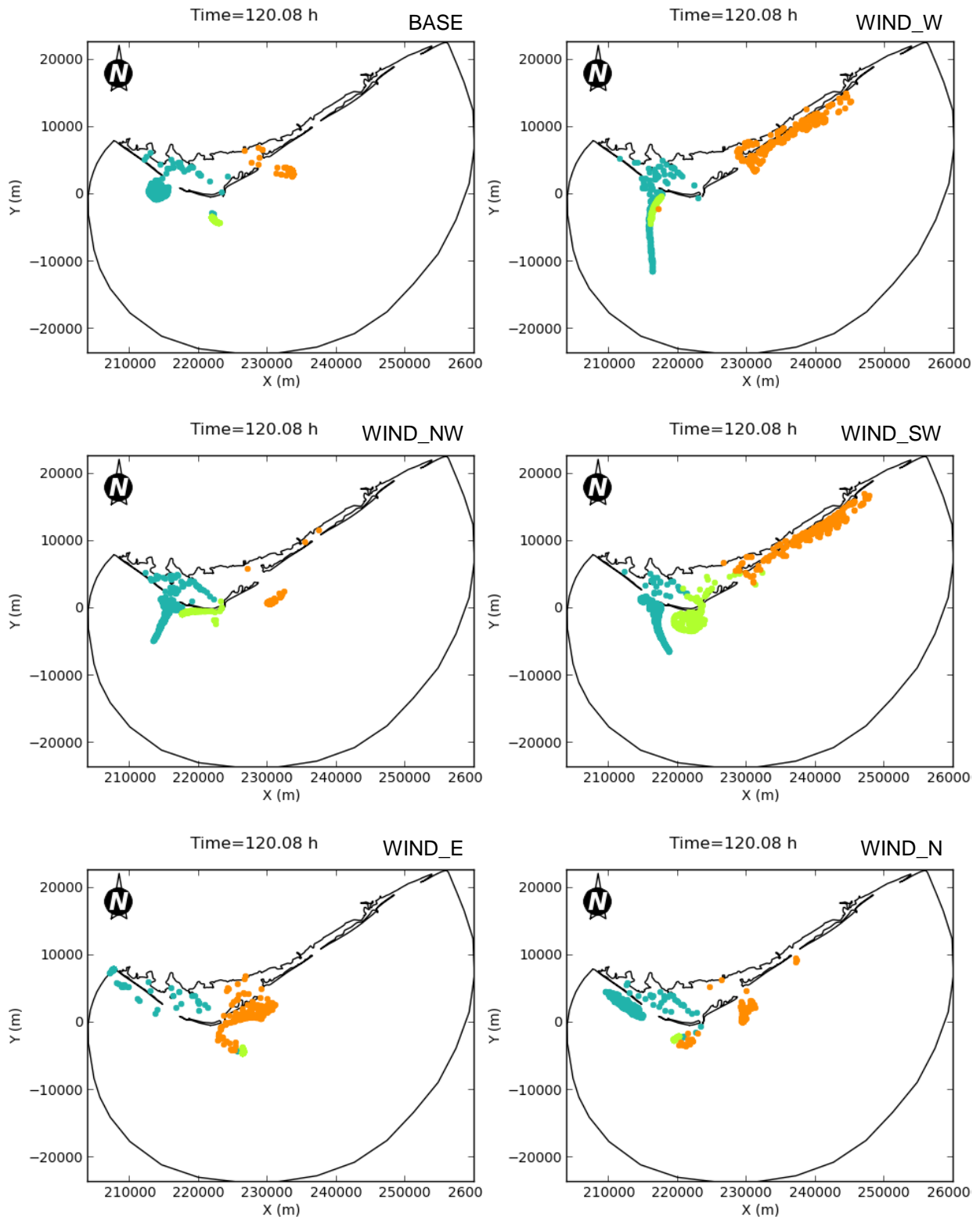


Figura A.18 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armonia. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

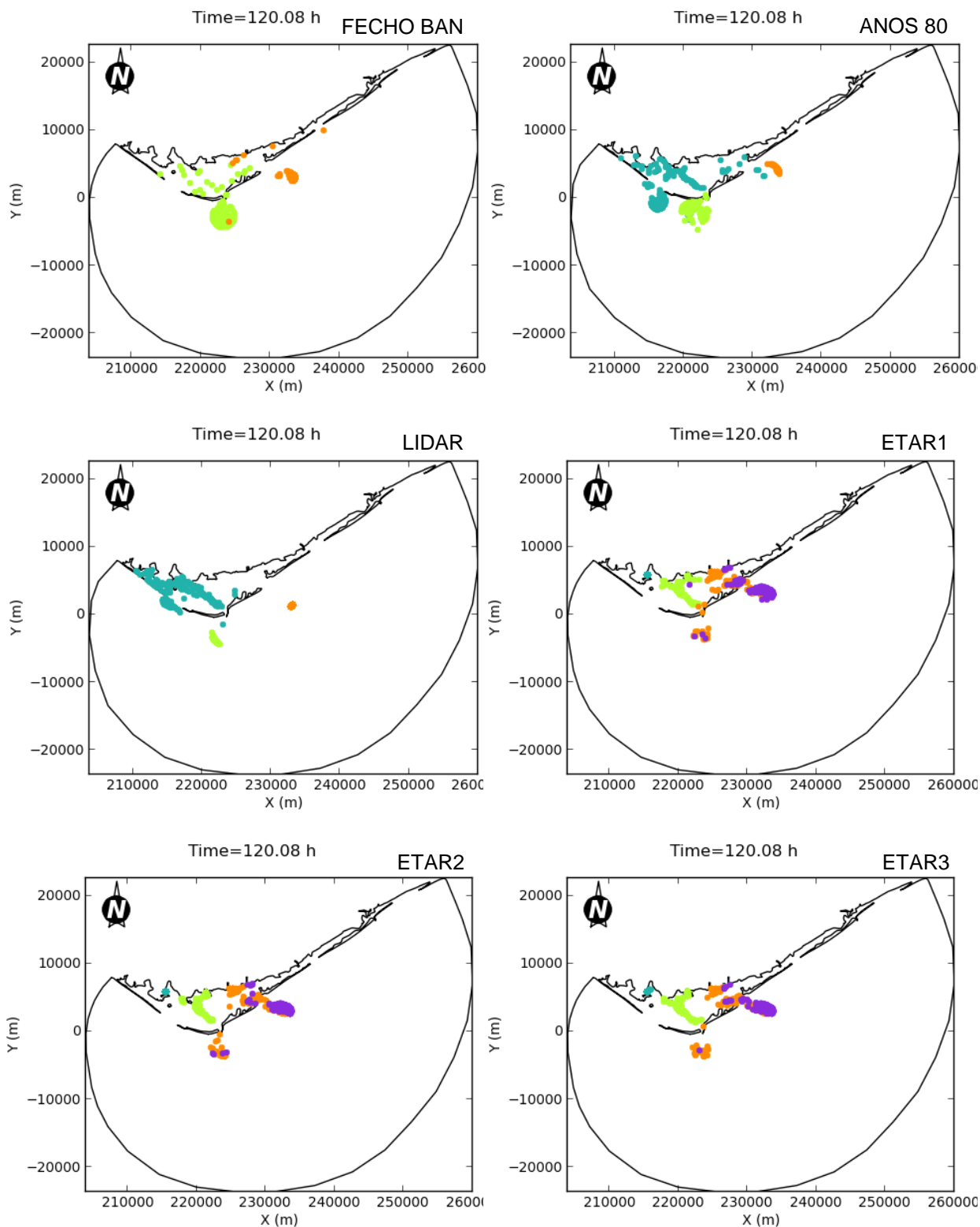


Figura A.19 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

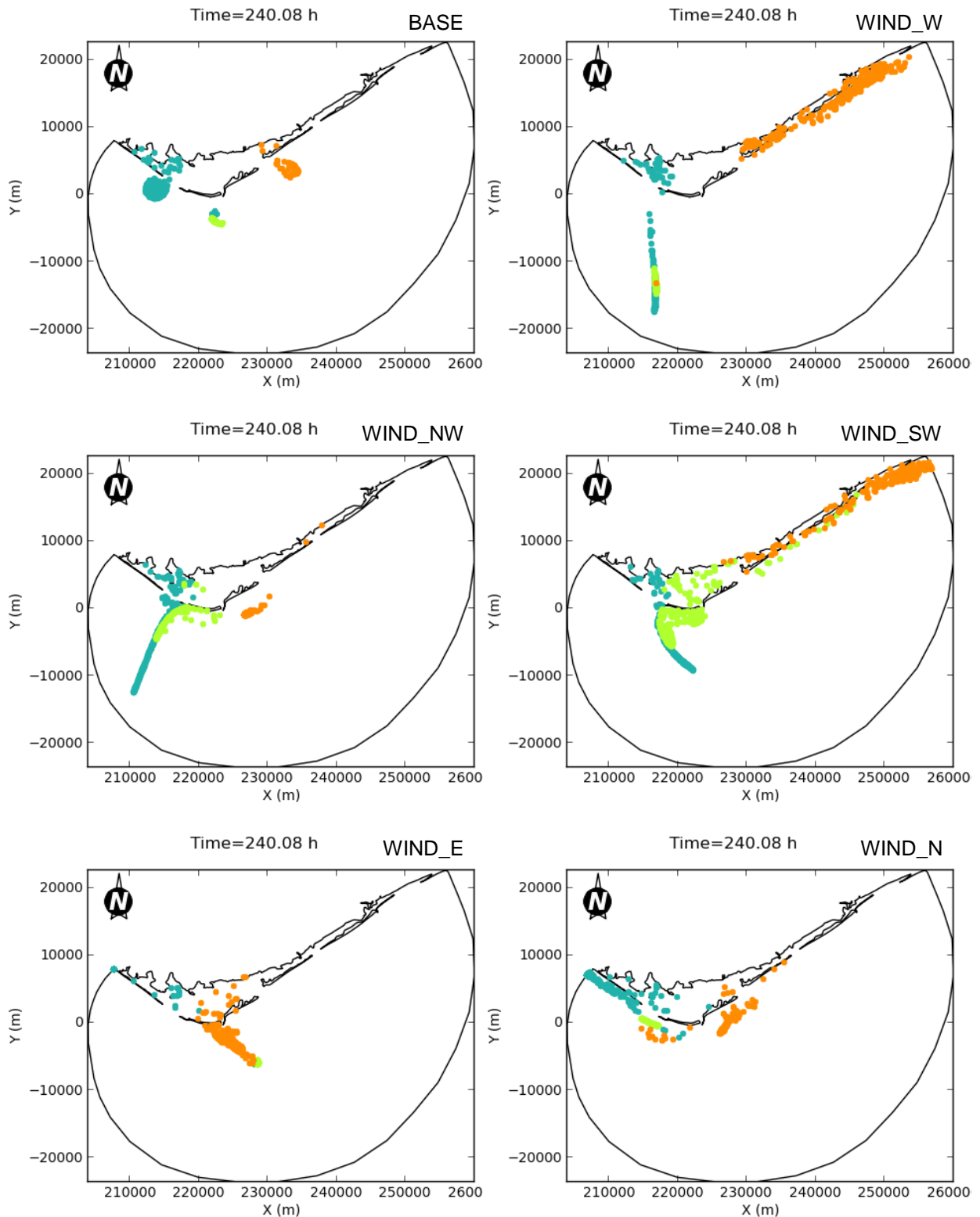


Figura A.19 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

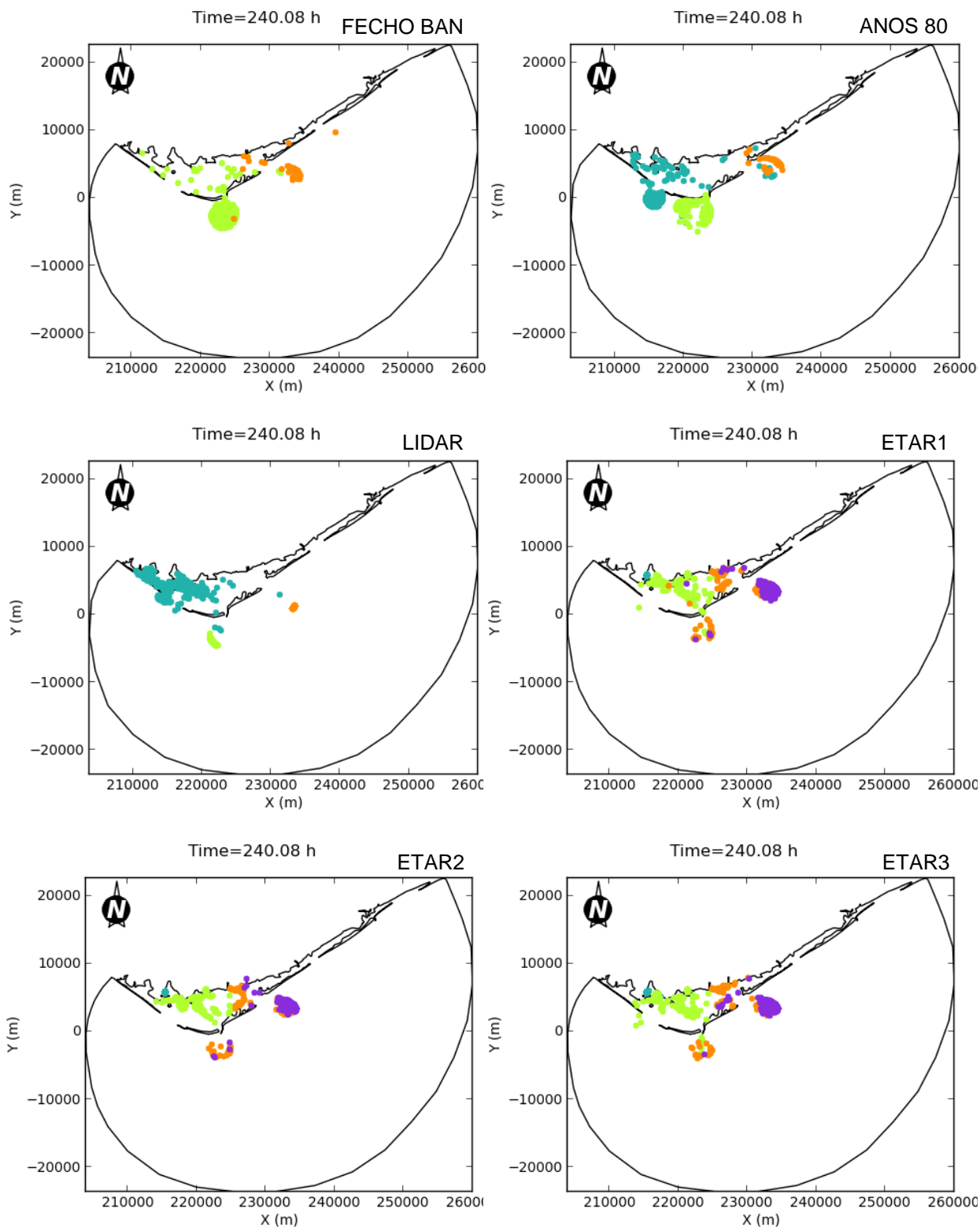


Figura A.19 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

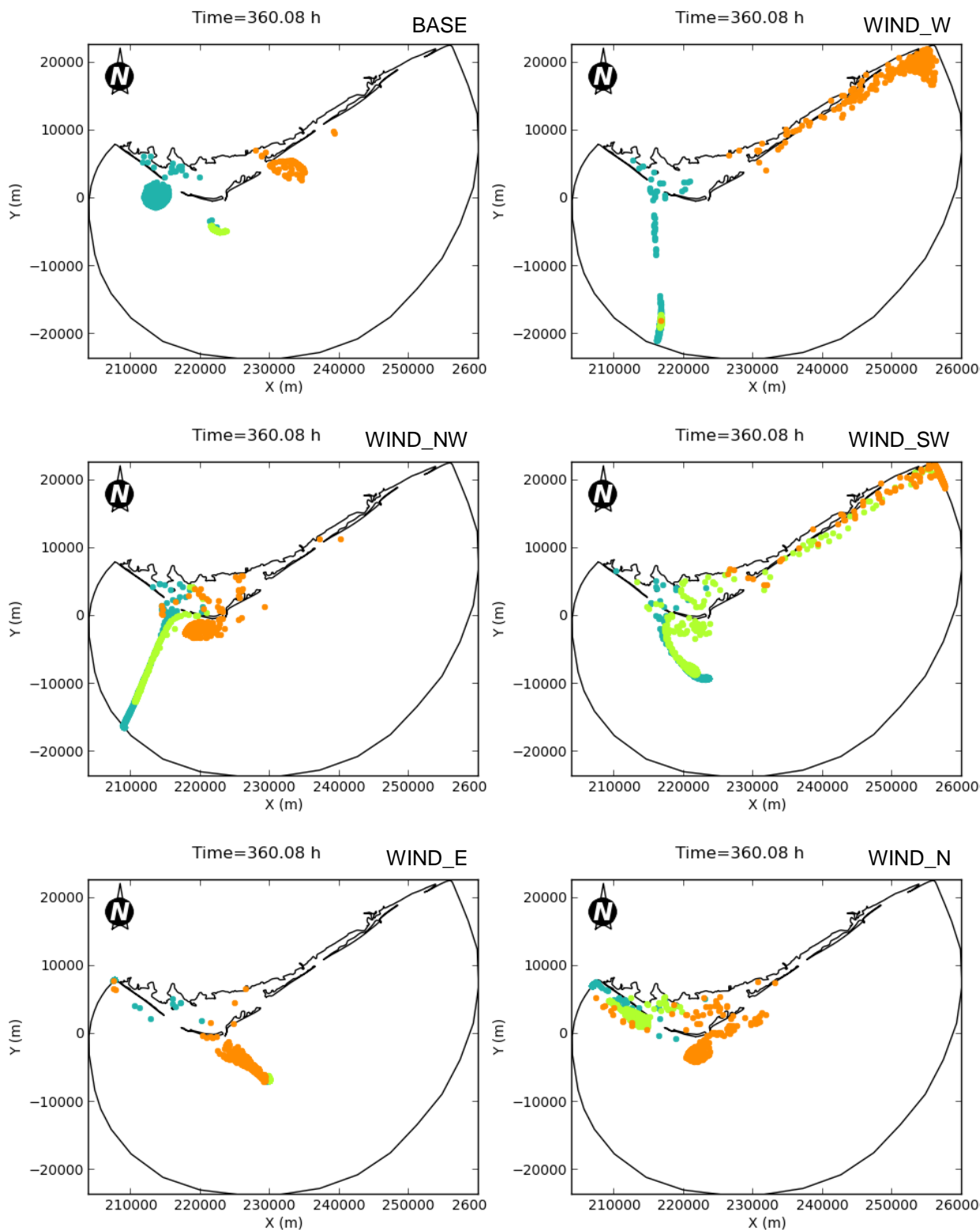


Figura A.20 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

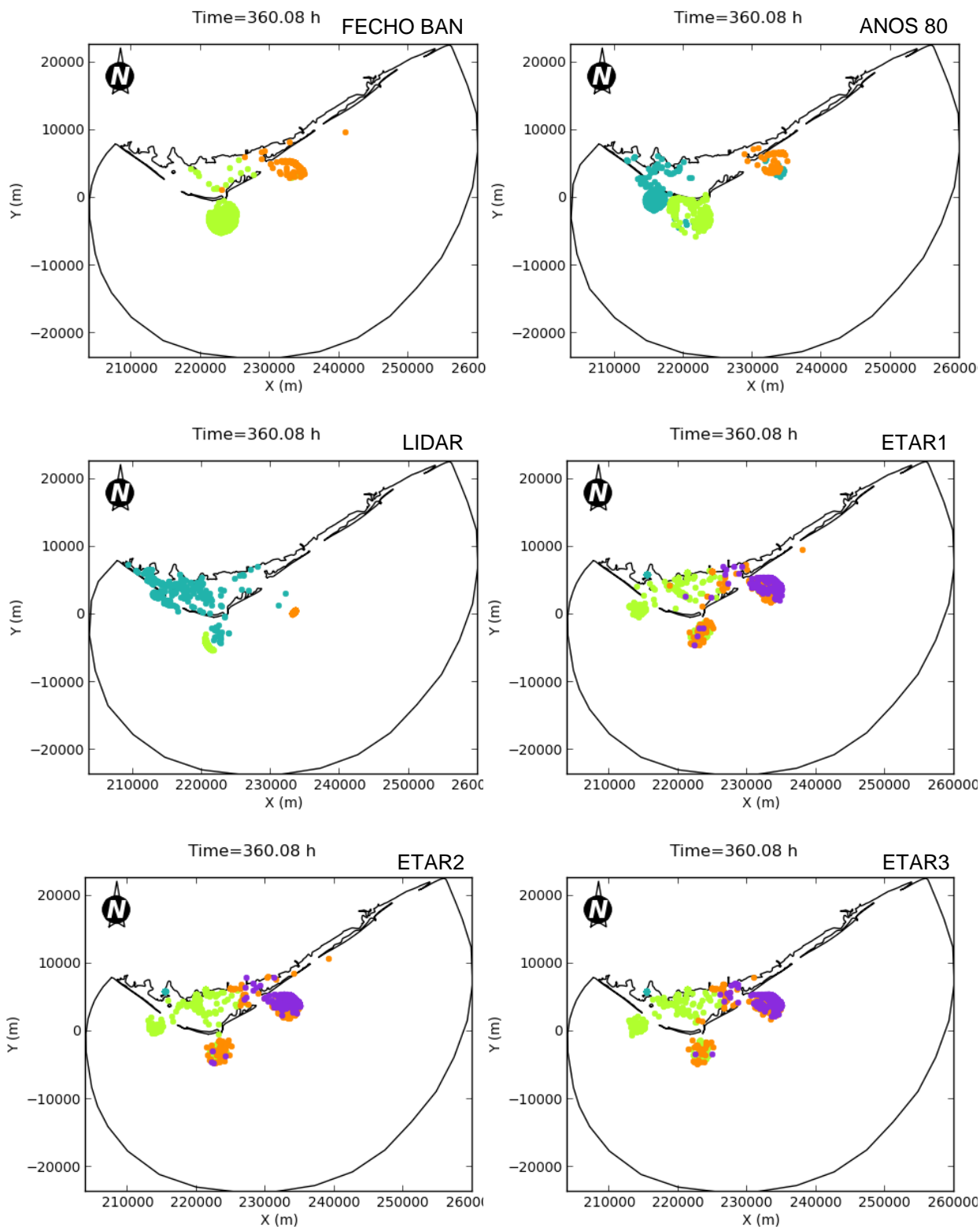


Figura A.20 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

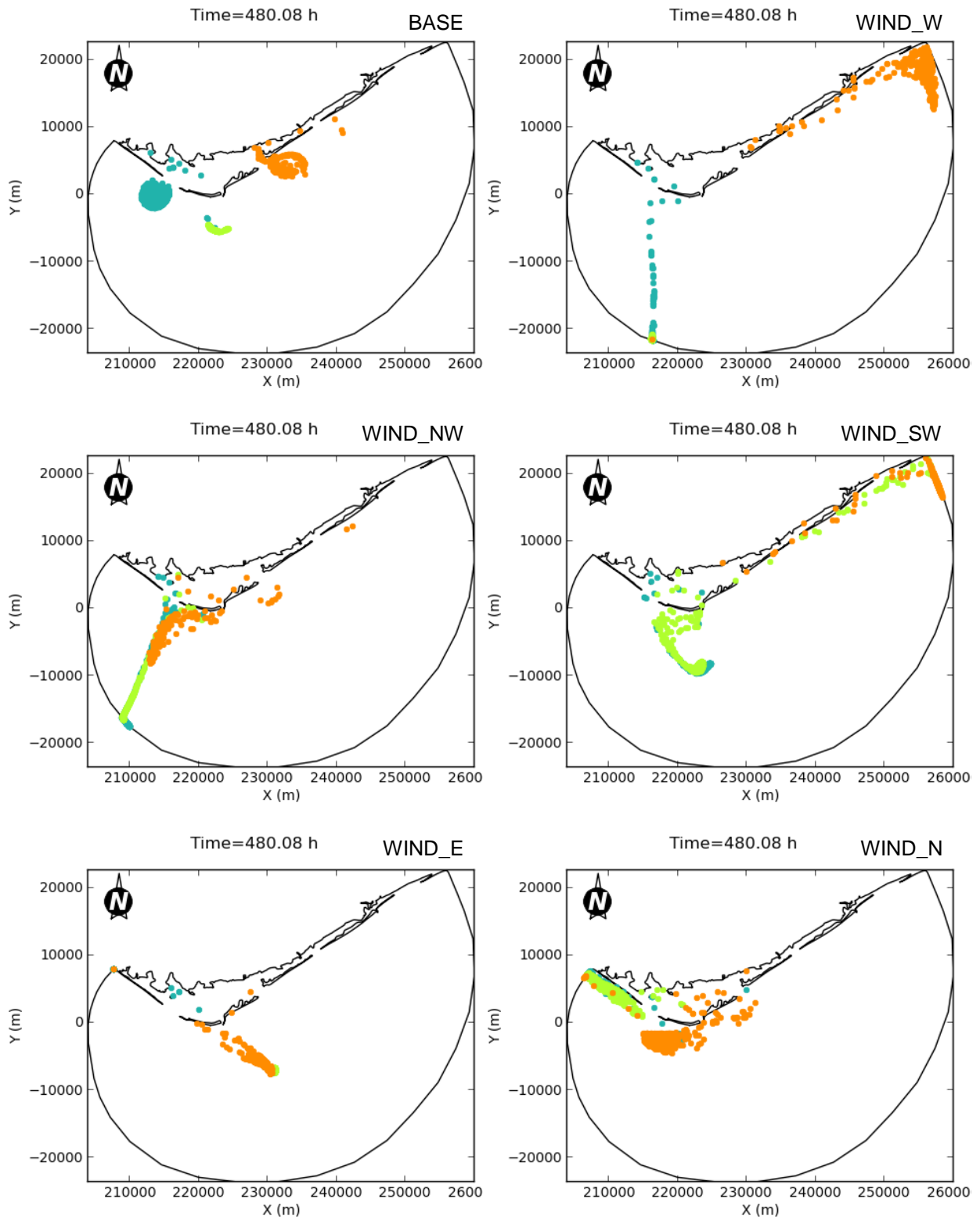


Figura A.21 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ançã, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

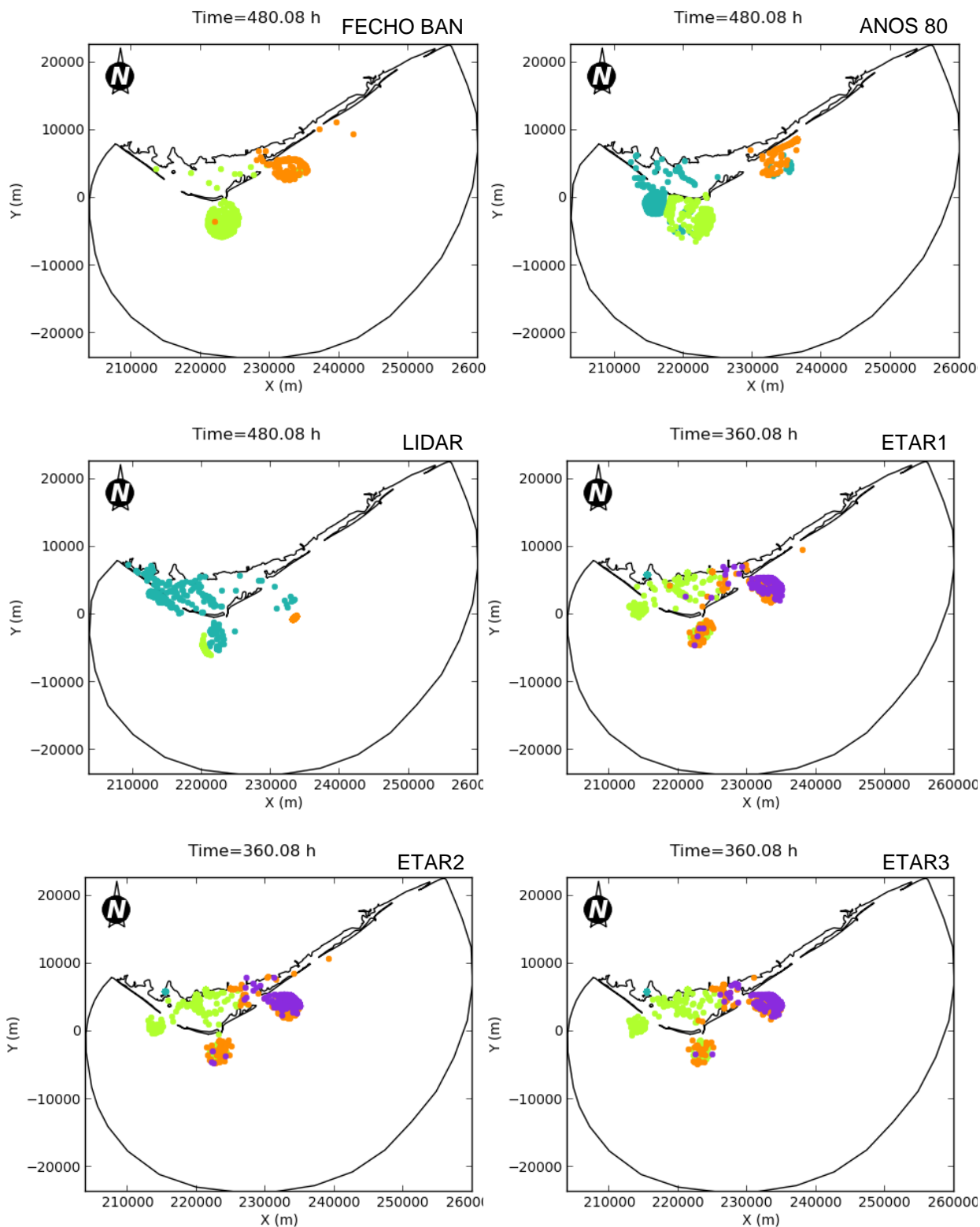


Figura A.21 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: azul – barra do Ancão, verde – barra de Faro-Olhão, laranja – barra da Armona. No caso das figuras referentes às ETAR: azul – ETAR Faro-Noroeste, verde – ETAR Faro-Nascente, laranja – ETAR Olhão-Poente, roxo – ETAR Olhão-Nascente.

Partículas com origem nos canais de Faro e de Olhão em situação de baixa-mar em maré morta.

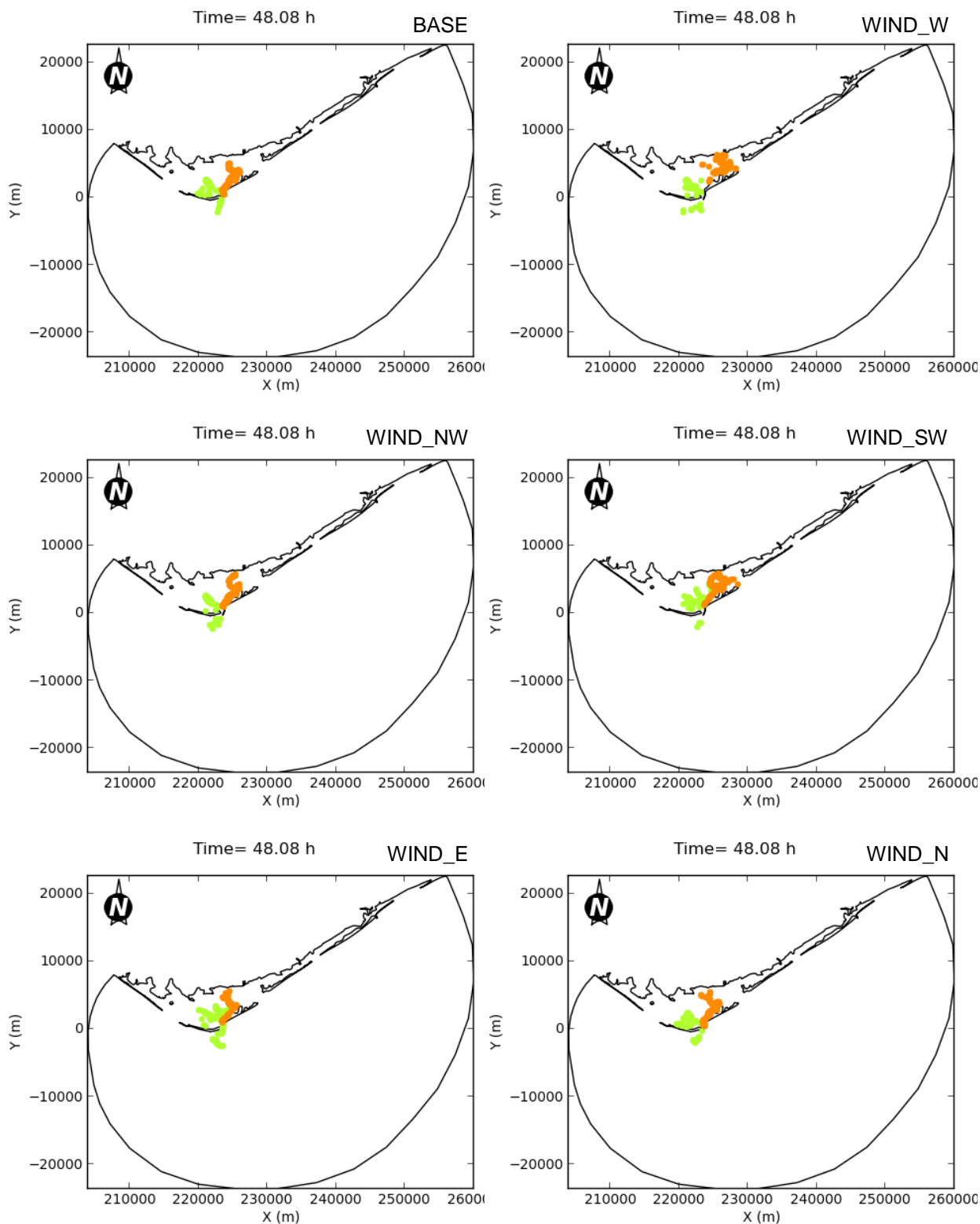


Figura A.22 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

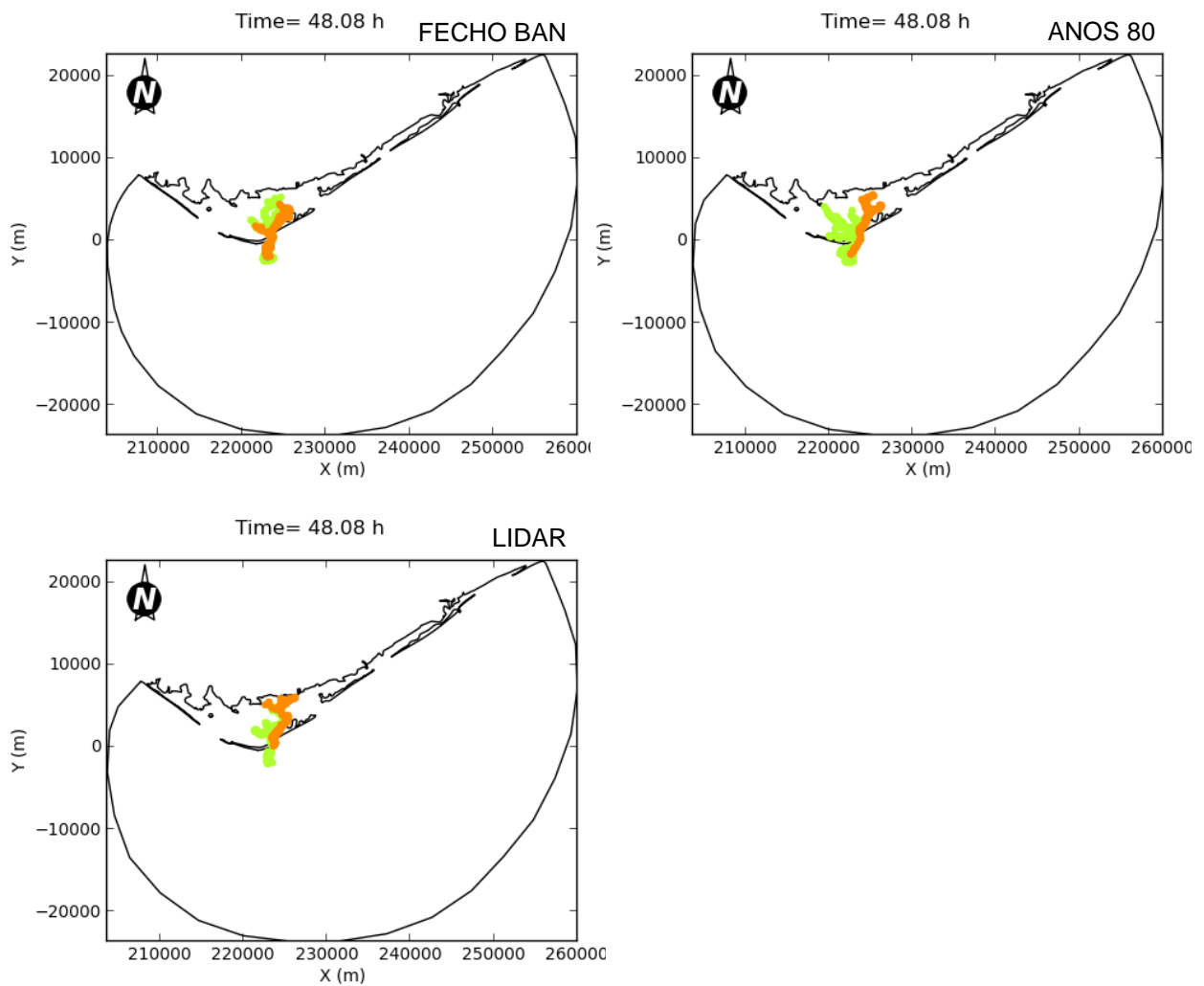


Figura A.22 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

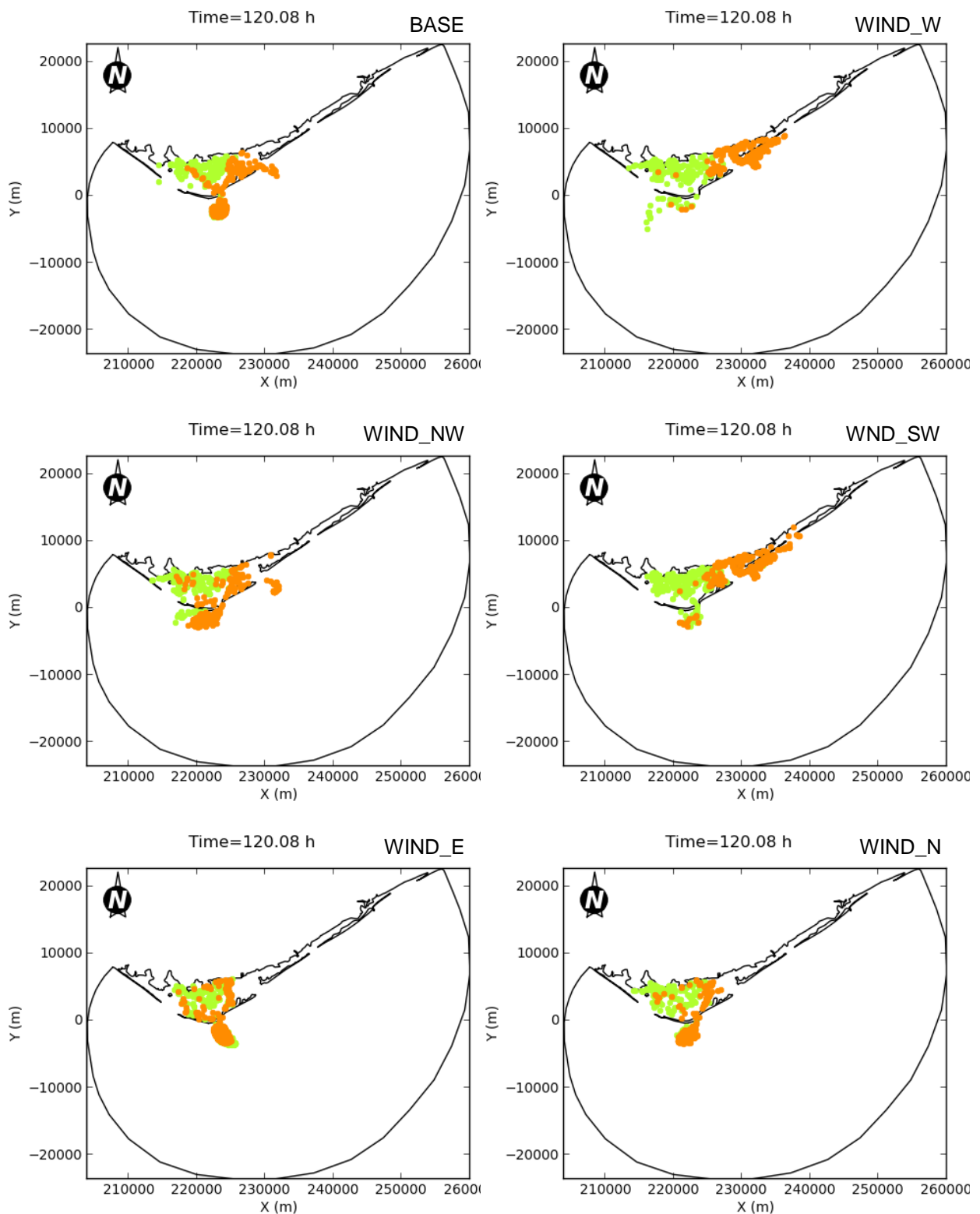


Figura A.23 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

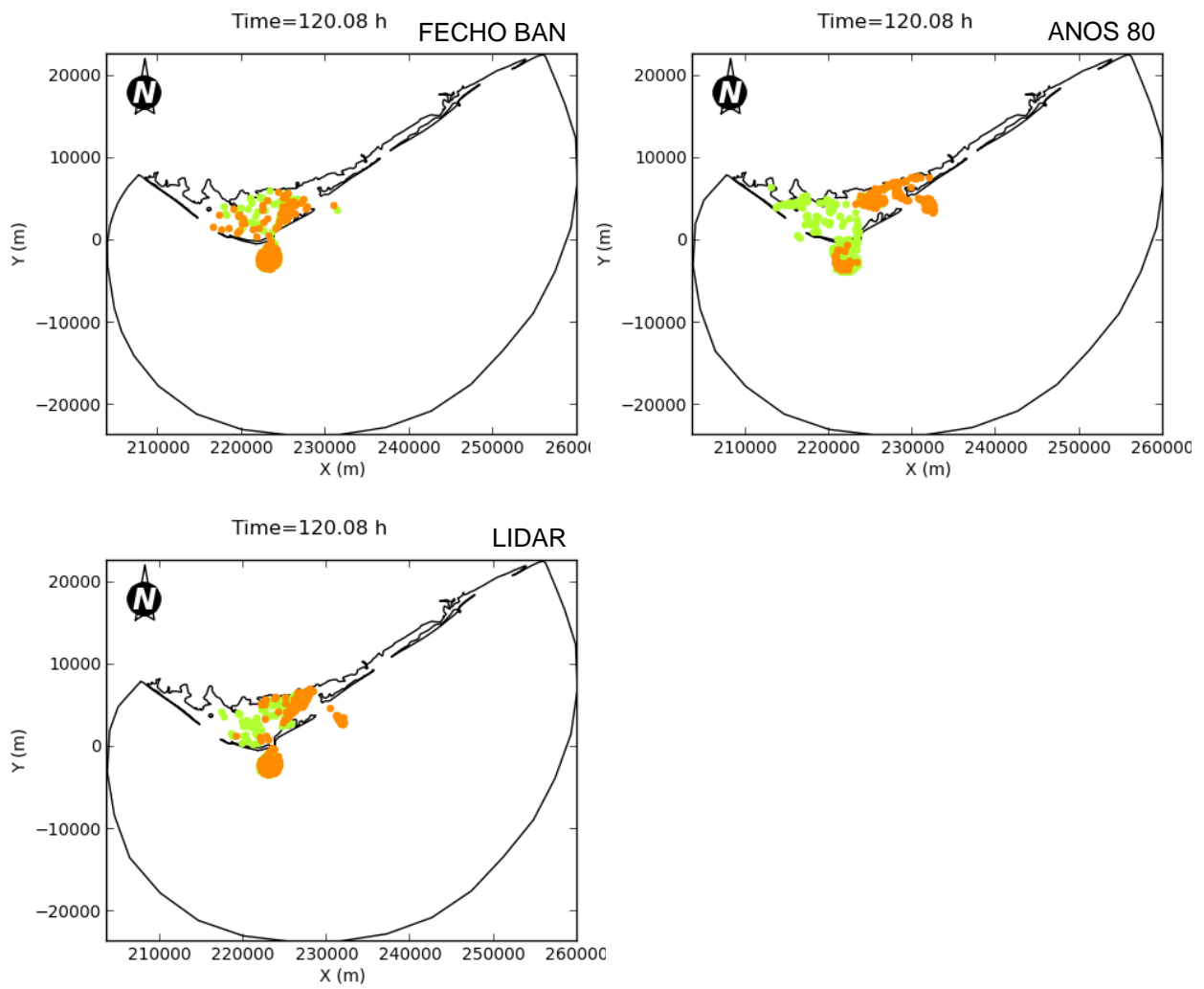


Figura A.23 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

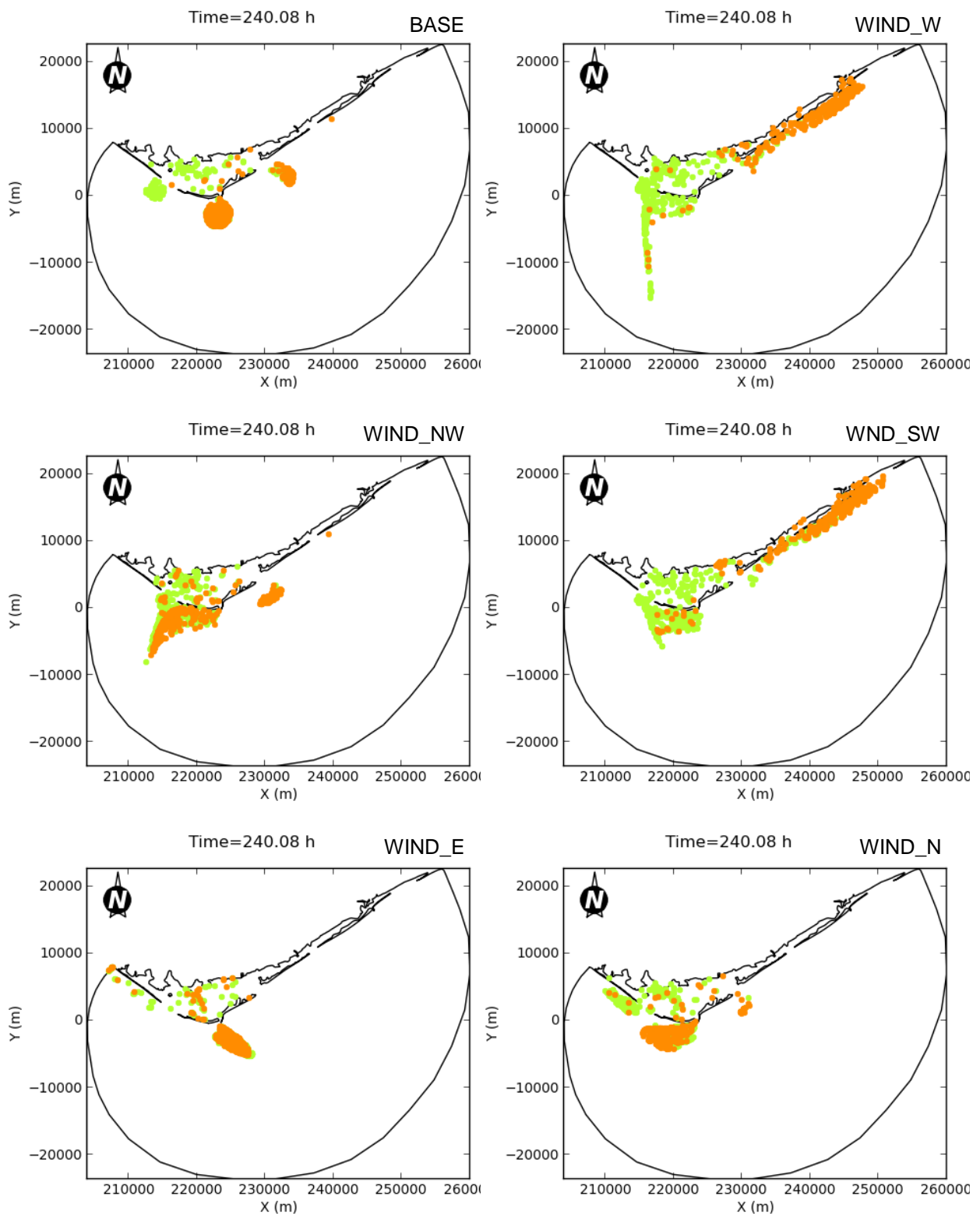


Figura A.24 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

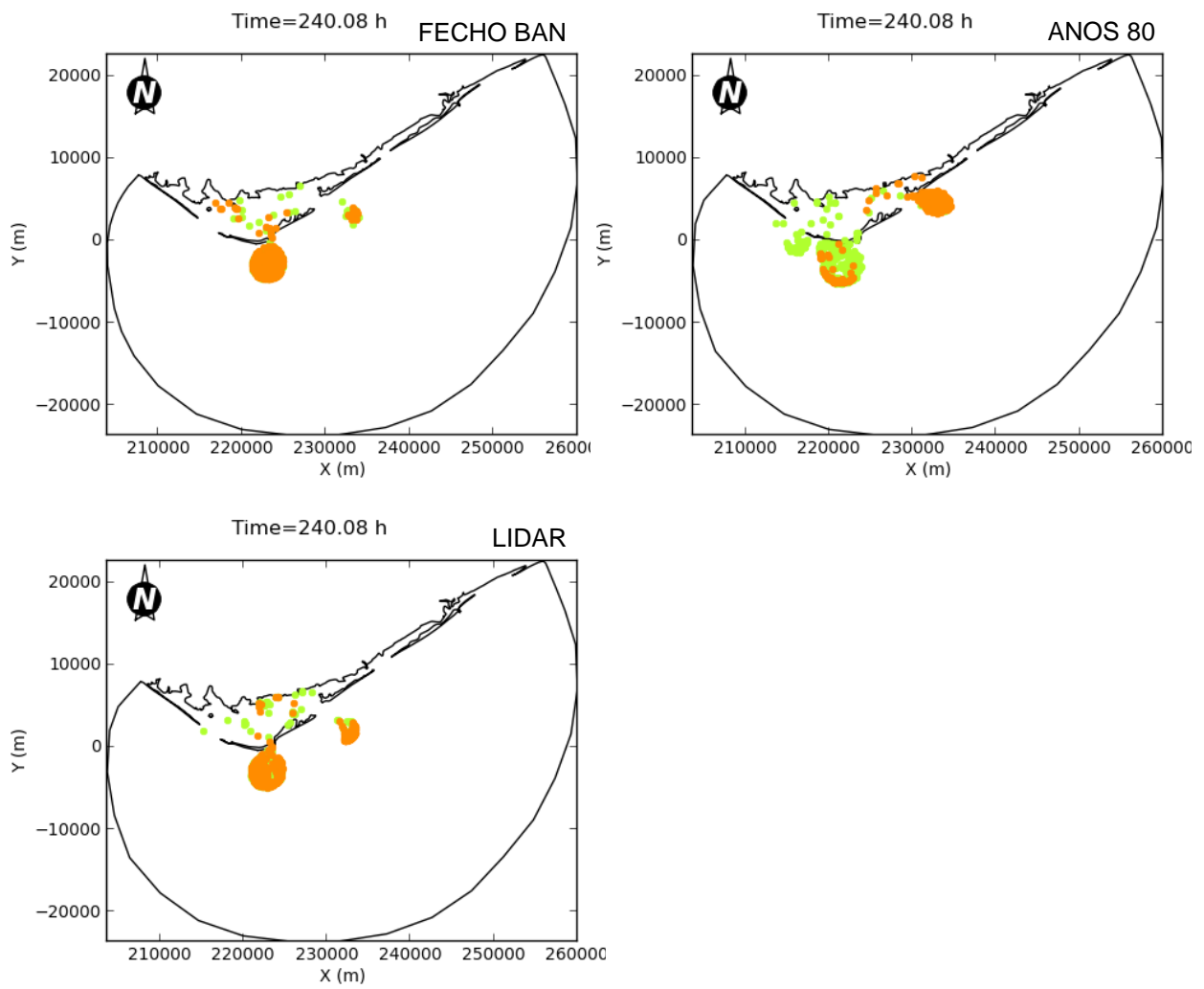


Figura A.24 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

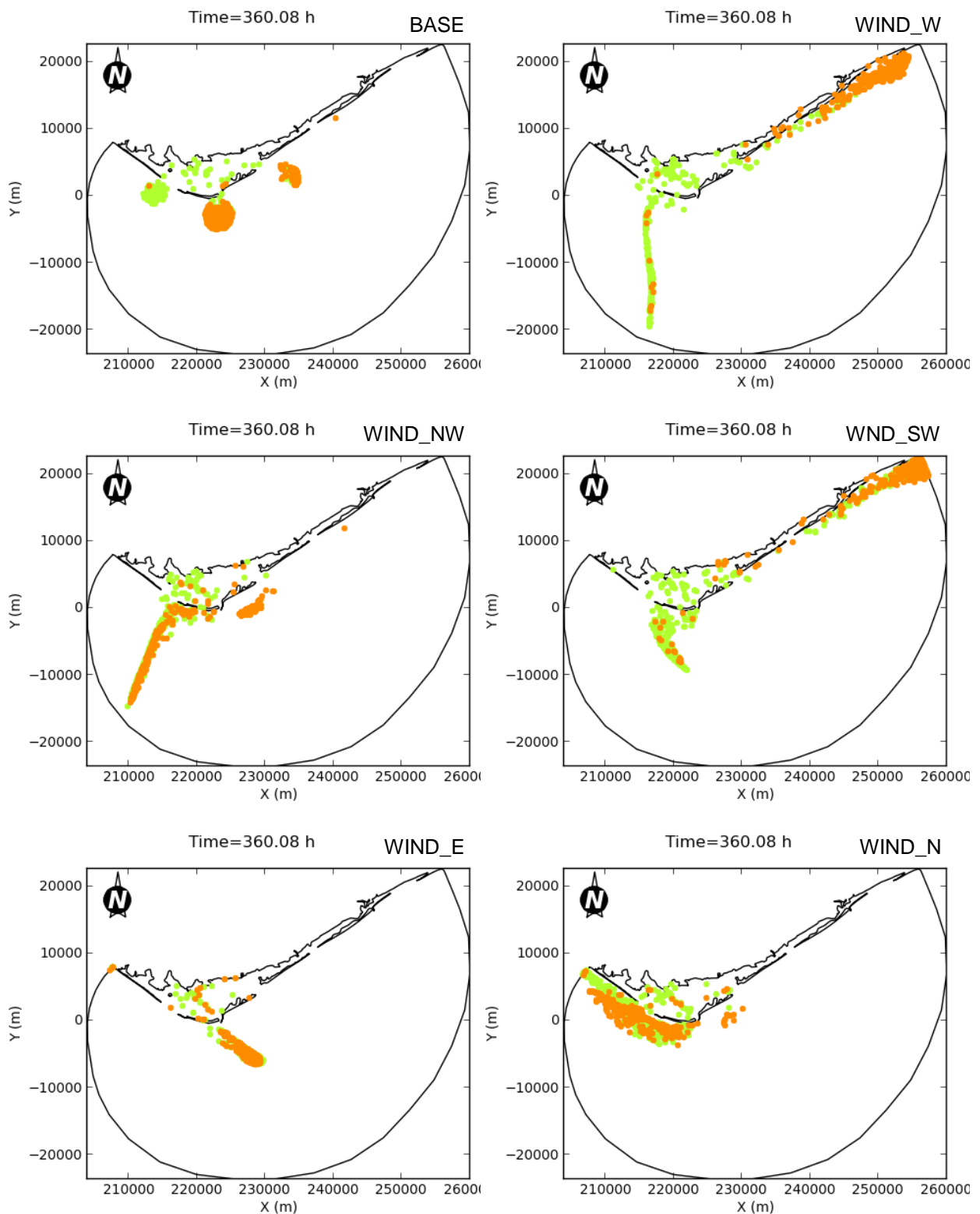


Figura A.25 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

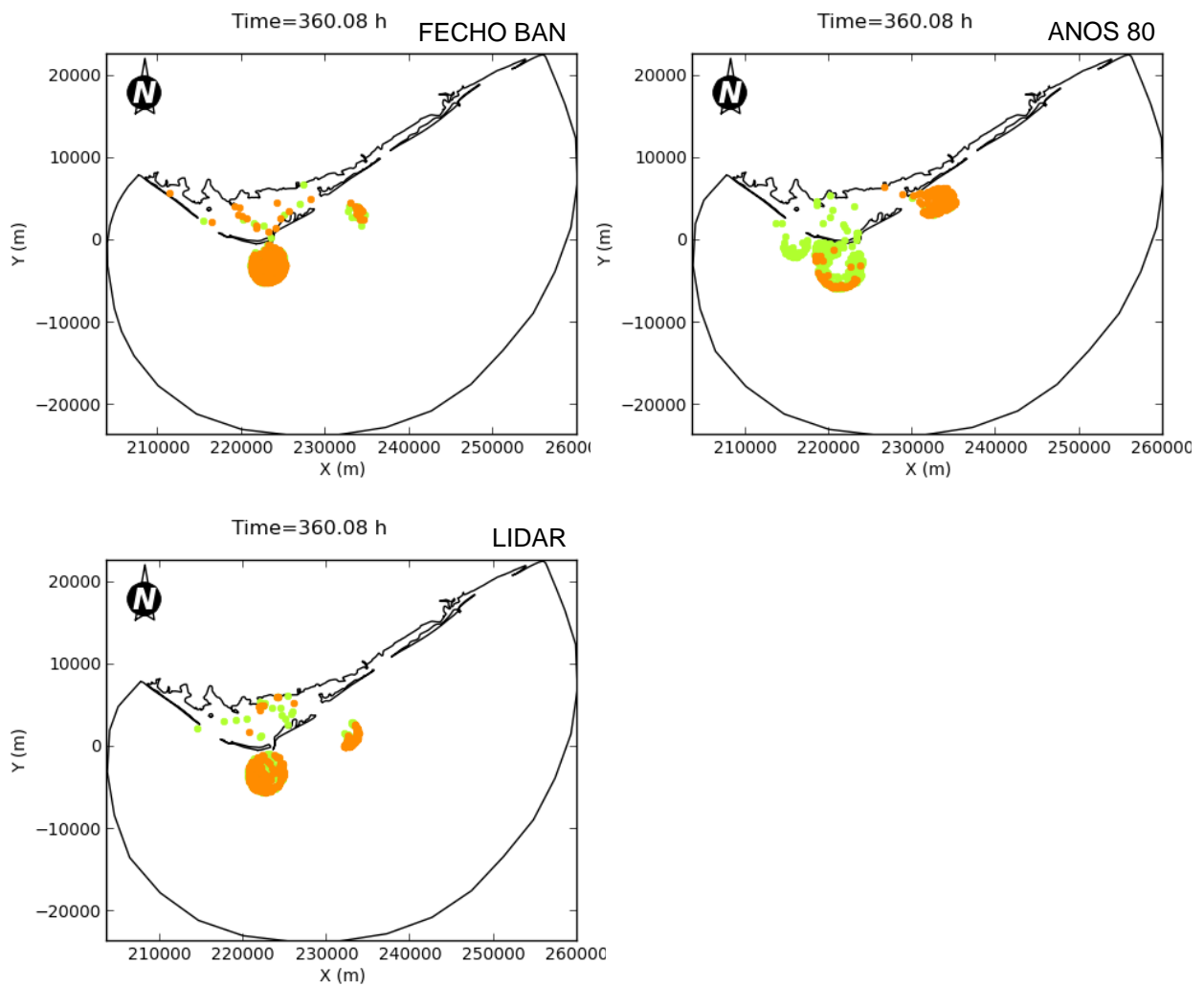


Figura A.25 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

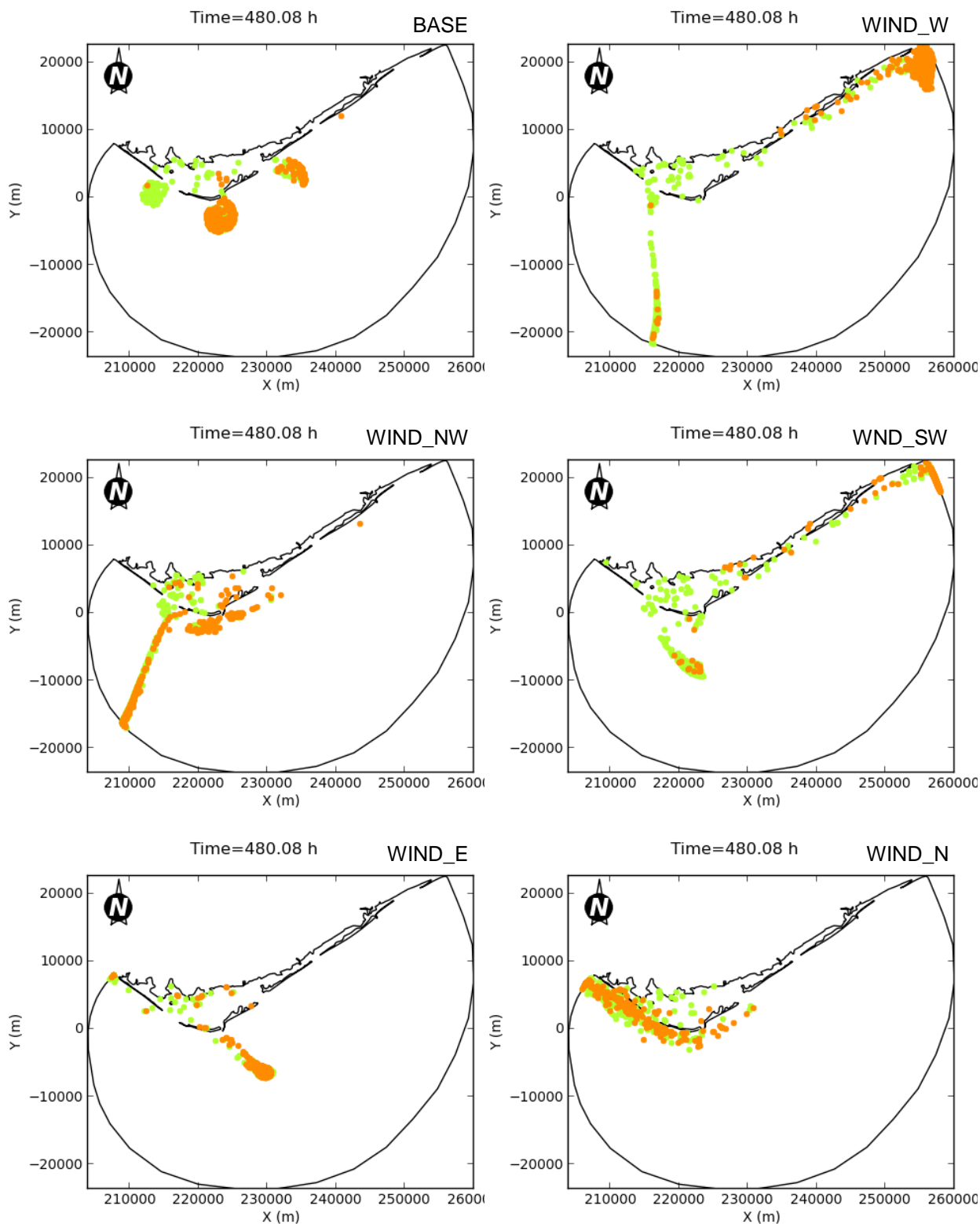


Figura A.26 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

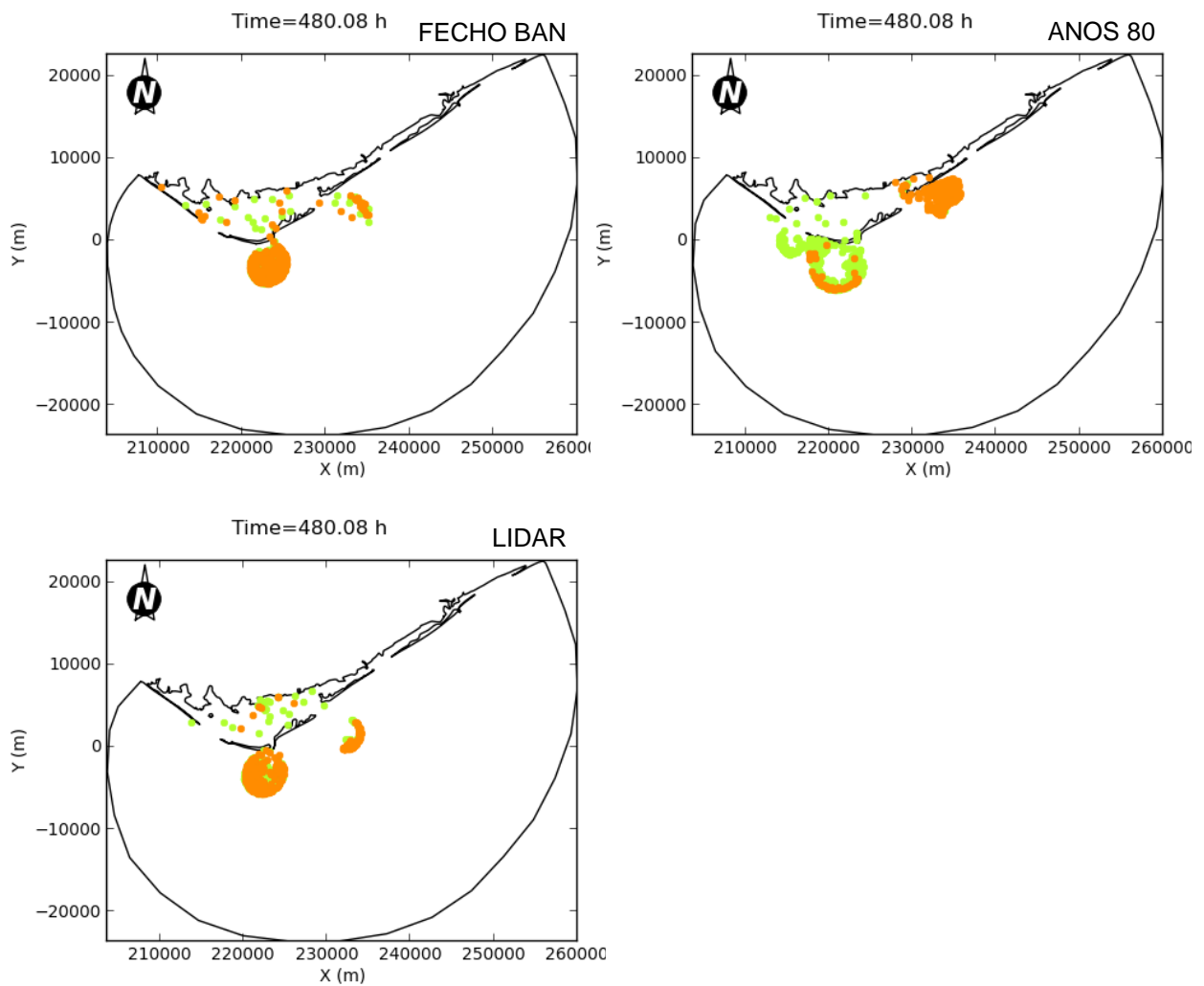


Figura A.26 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

Partículas com origem nos canais de Faro e de Olhão em situação de baixa-mar em maré viva.

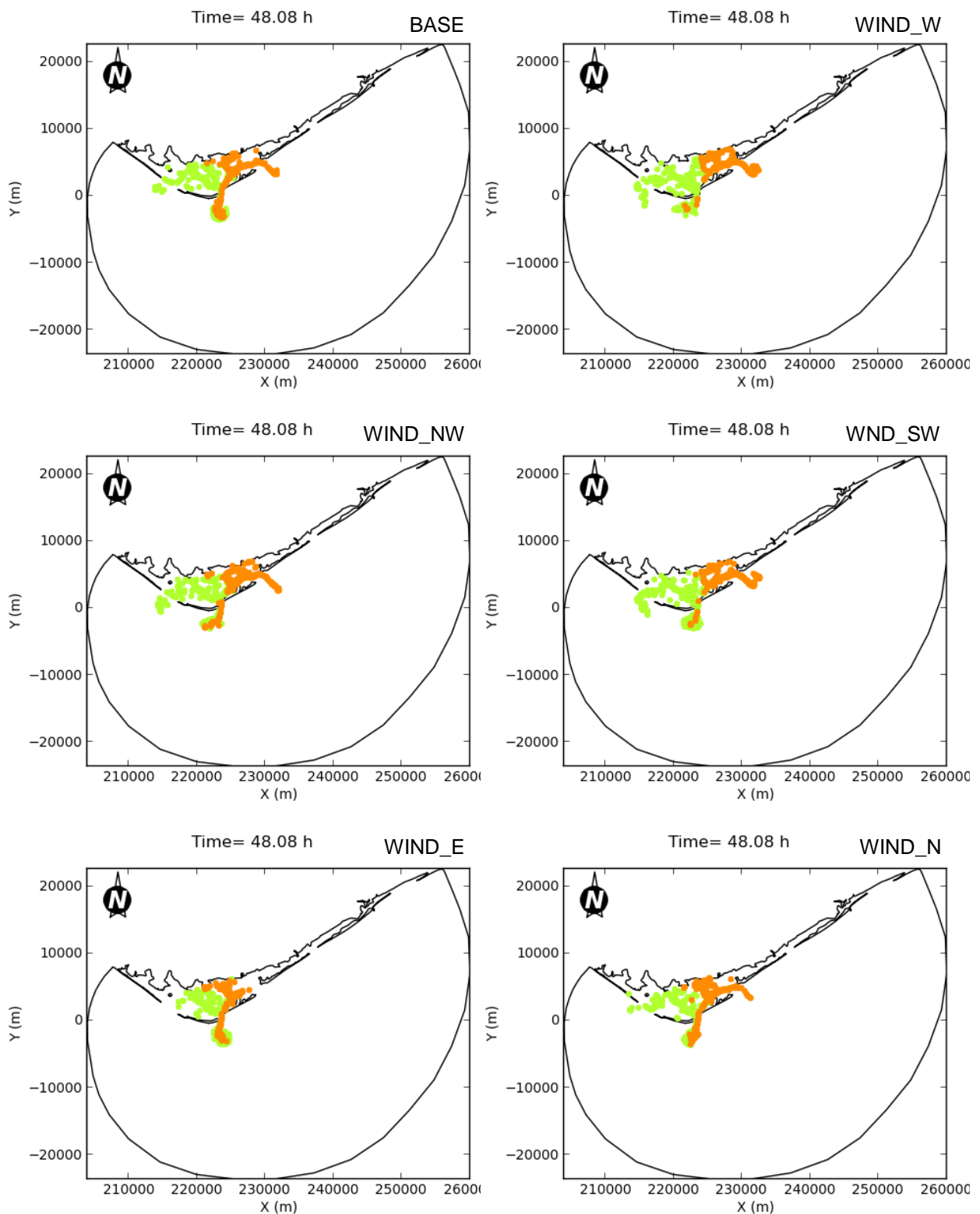


Figura A.27 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

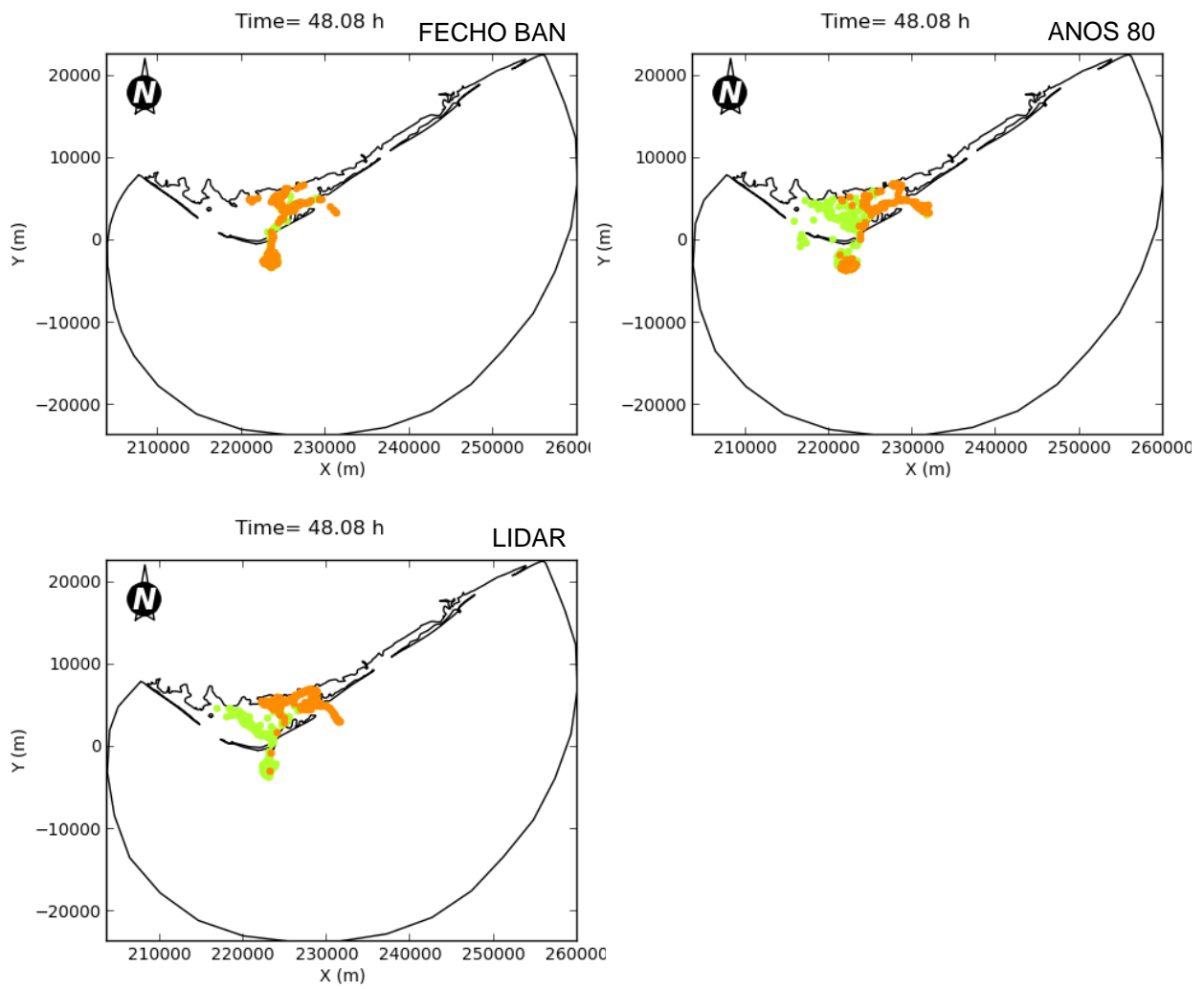


Figura A.27 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

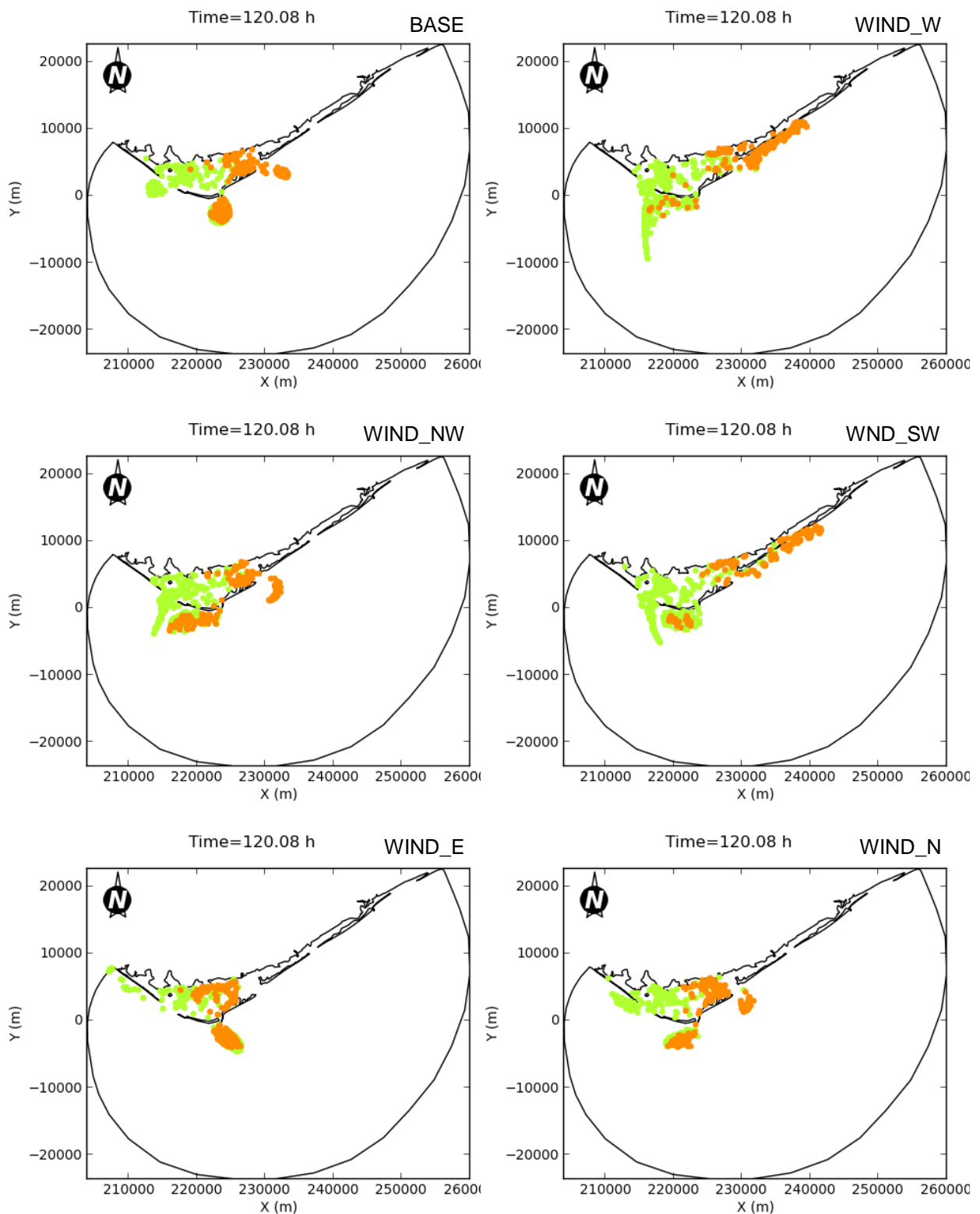


Figura A.28 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

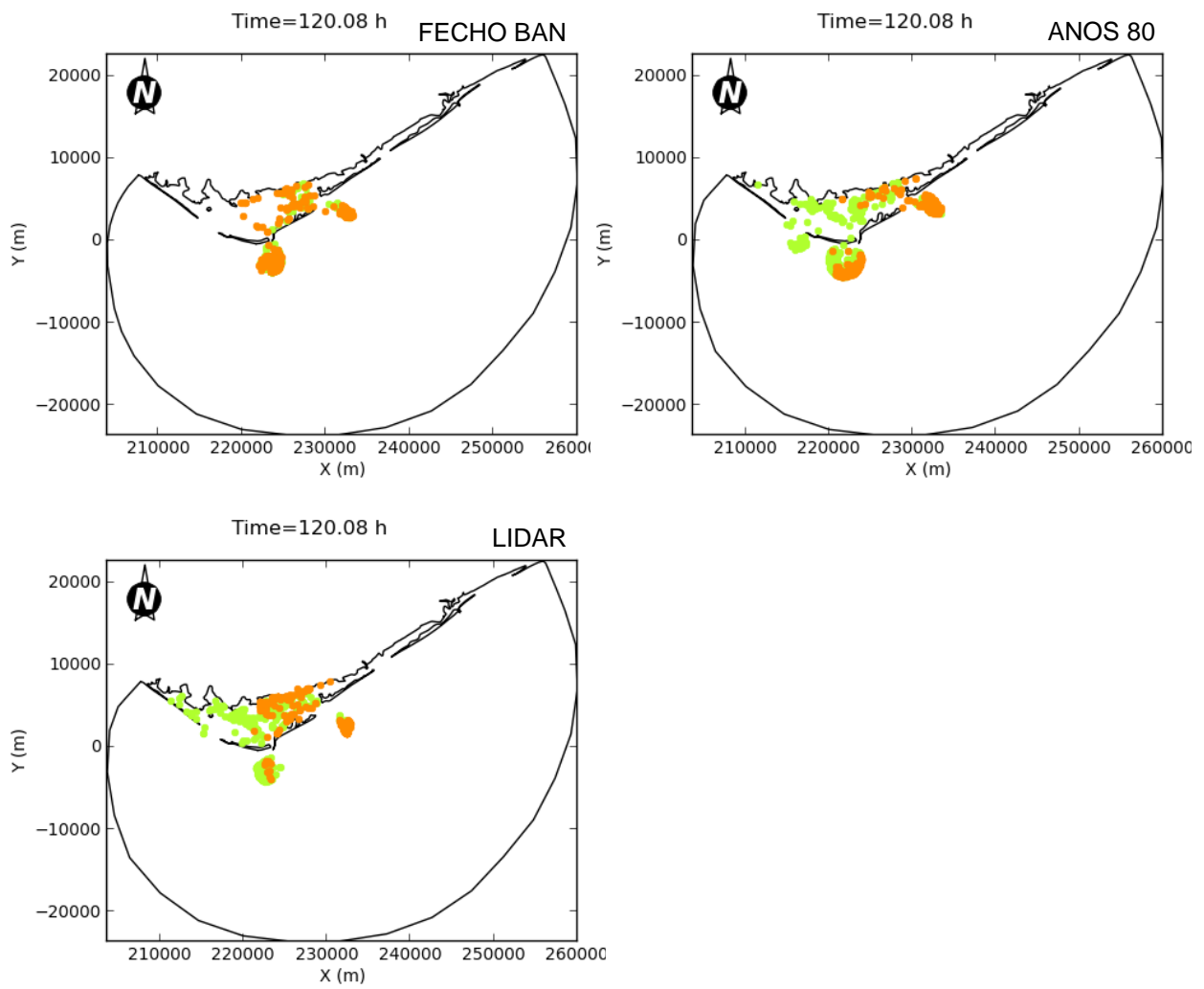


Figura A.28 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

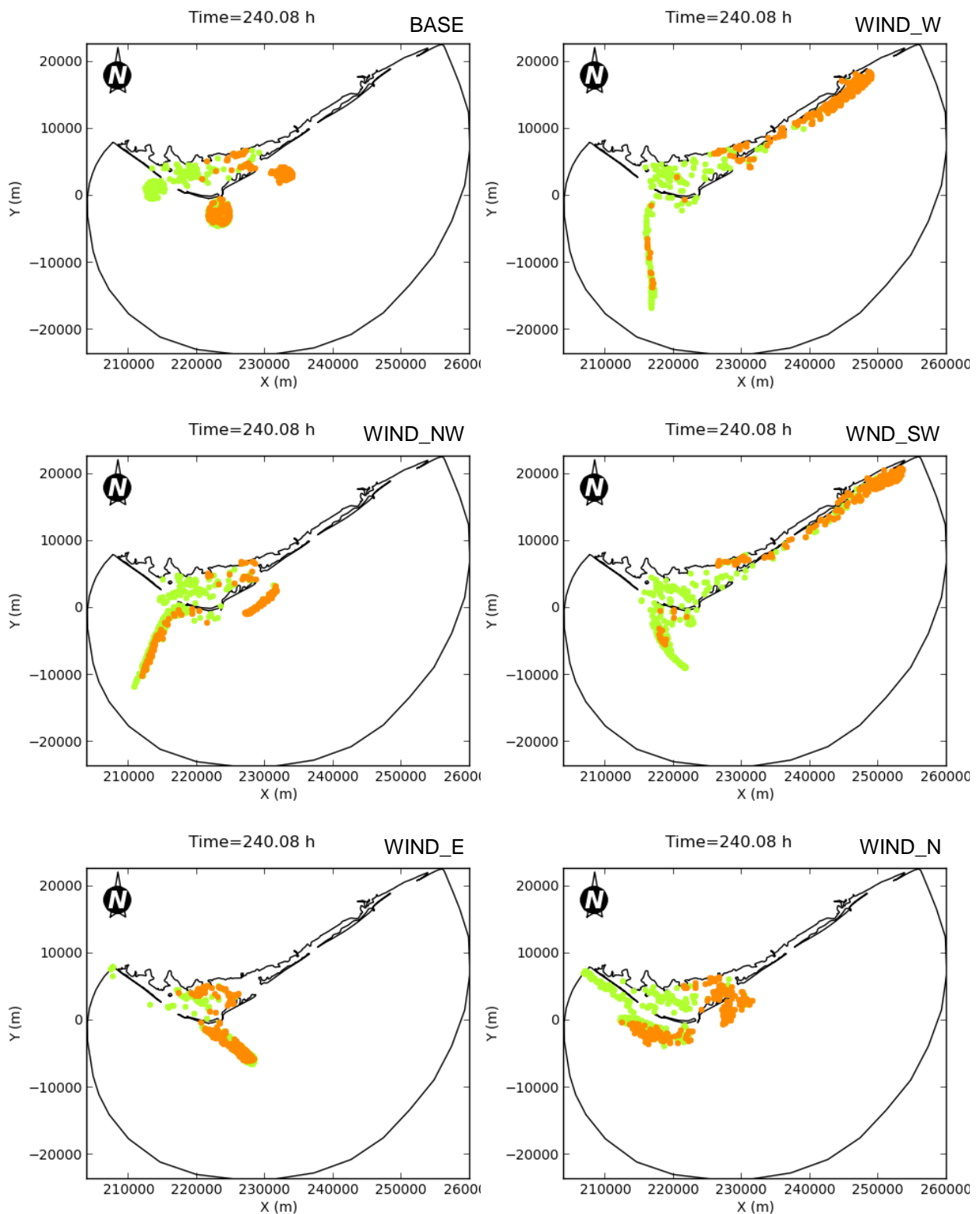


Figura A.29 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

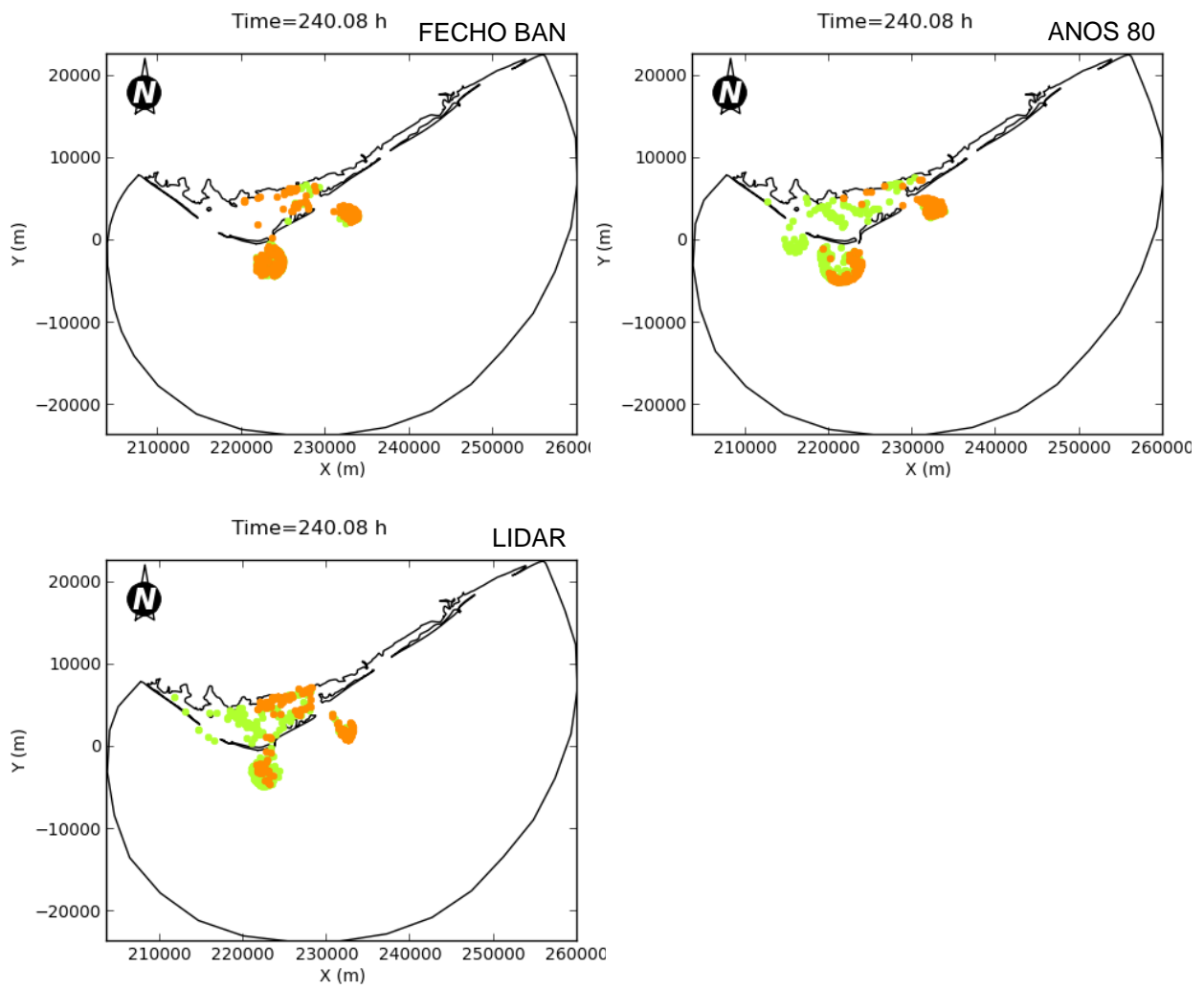


Figura A.29 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

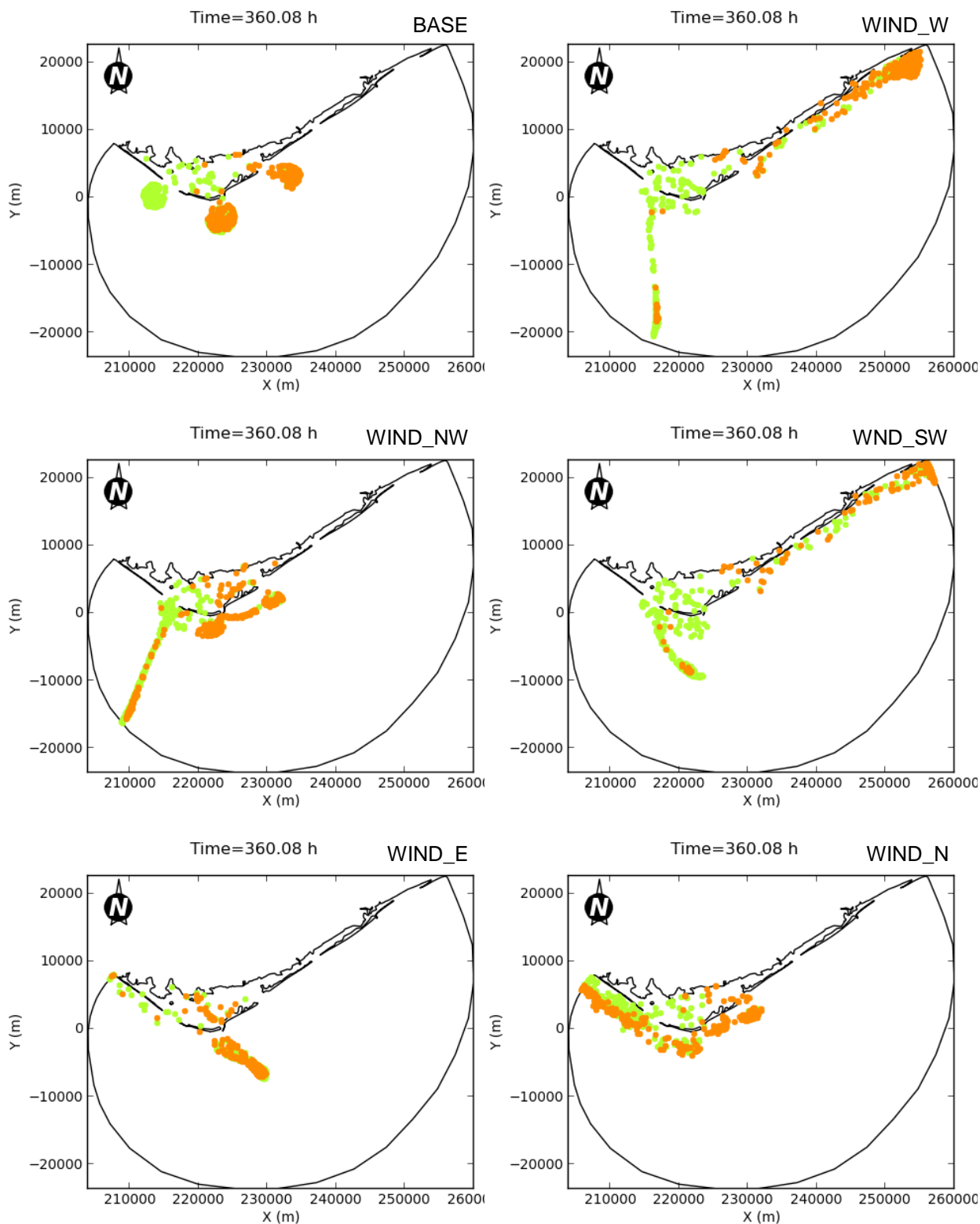


Figura A.30 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

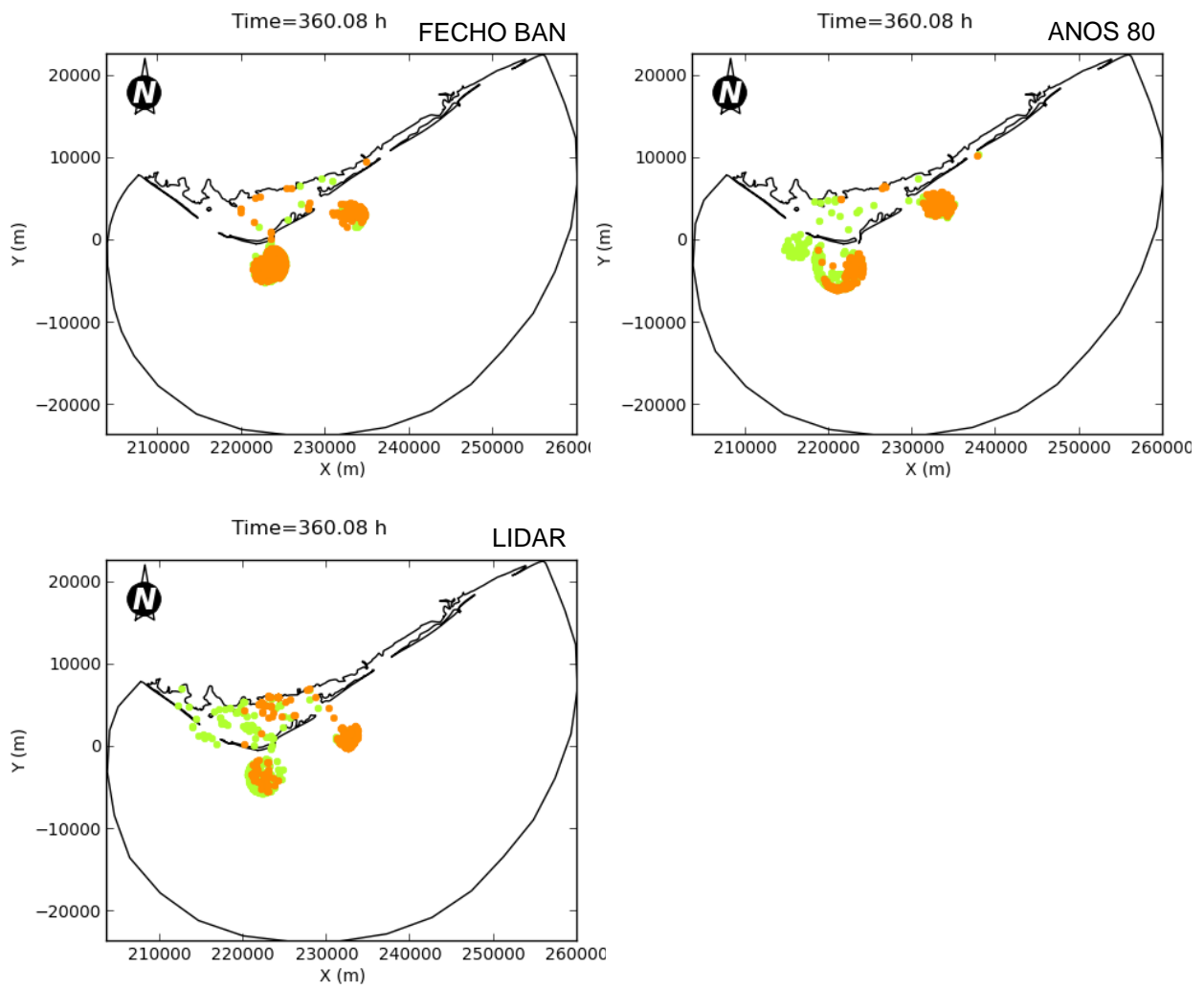


Figura A.30 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

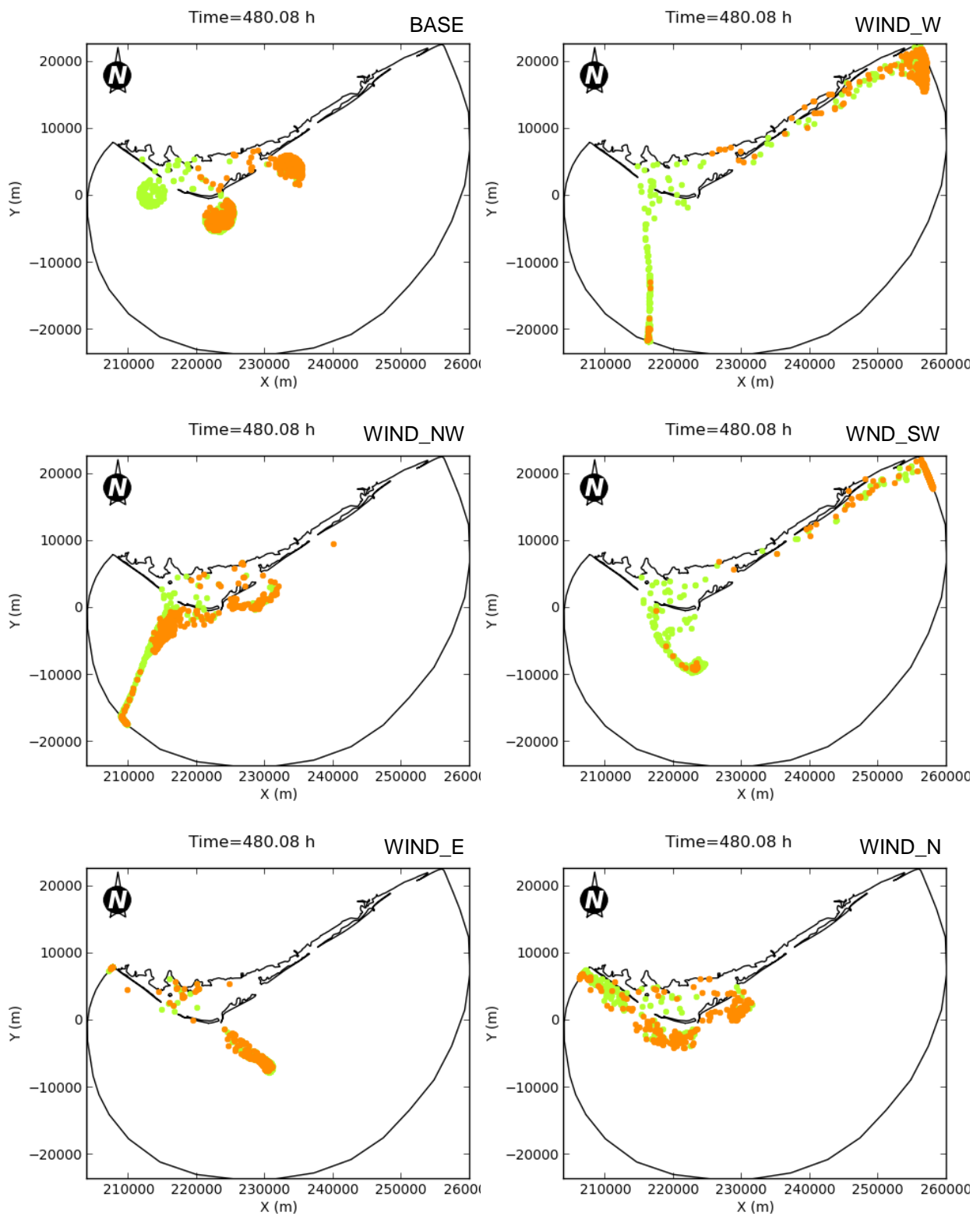


Figura A.31 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

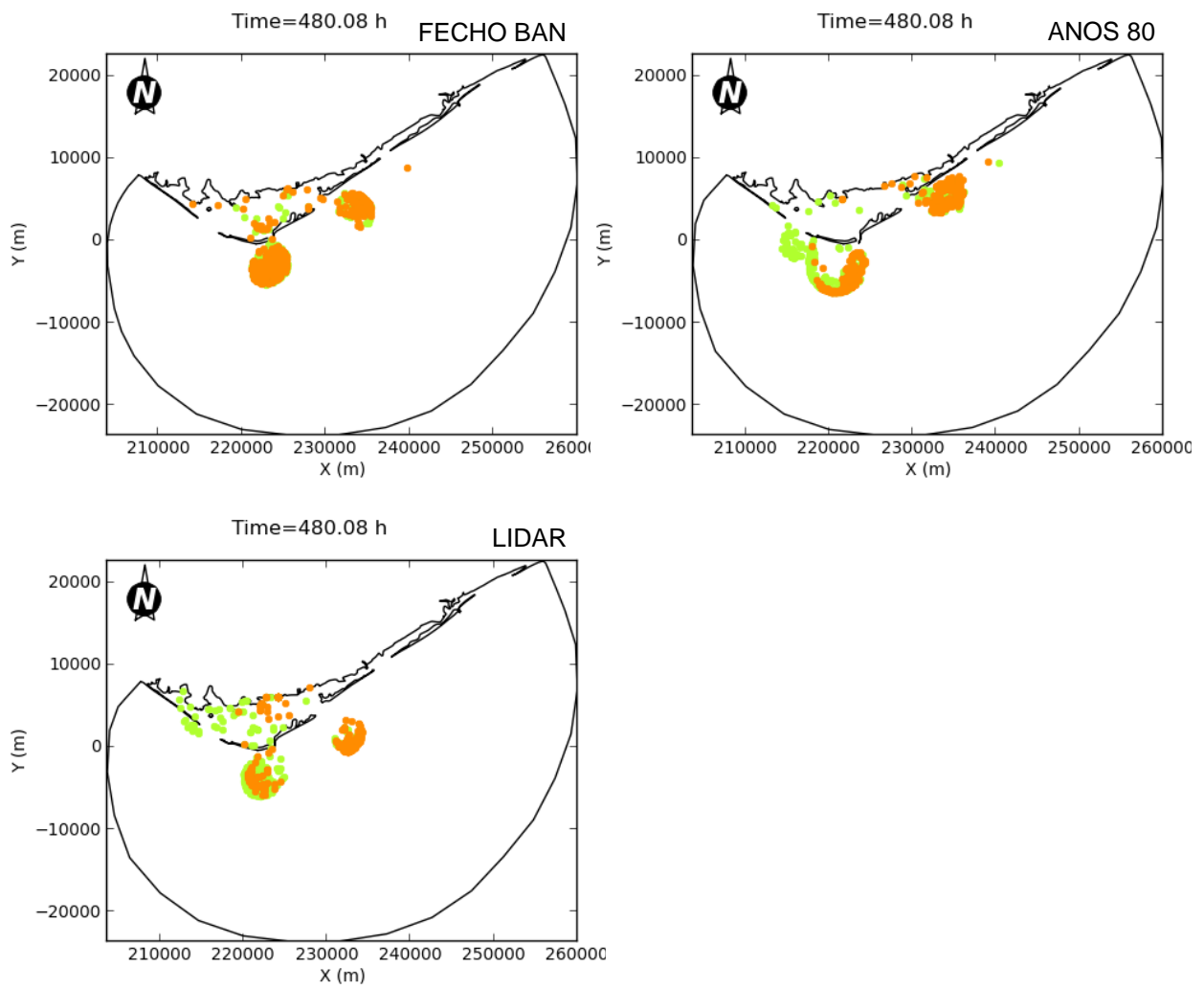


Figura A.31 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de baixa-mar em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

Partículas com origem nos canais de Faro e de Olhão em situação de enchente em maré morta.

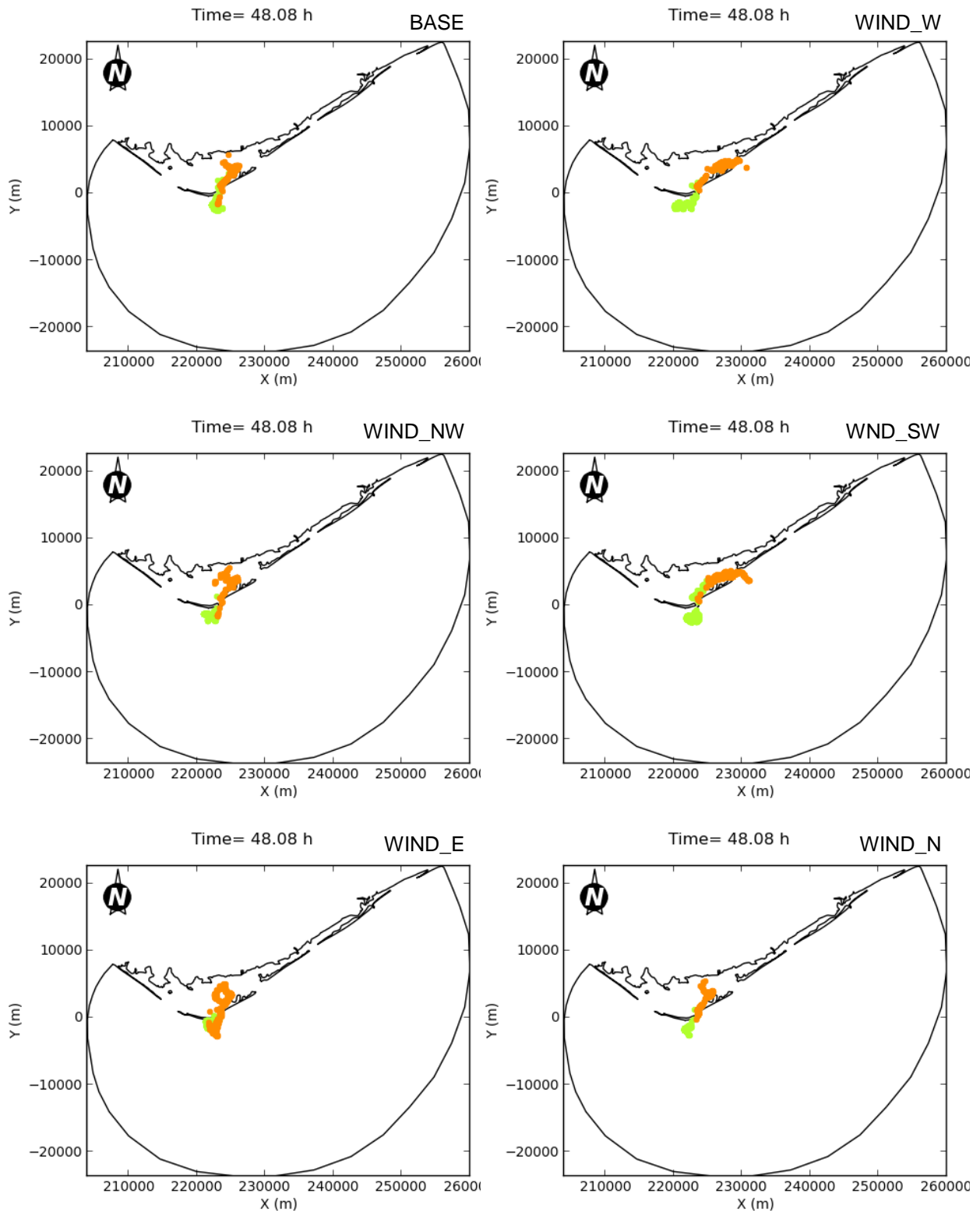


Figura A.32 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

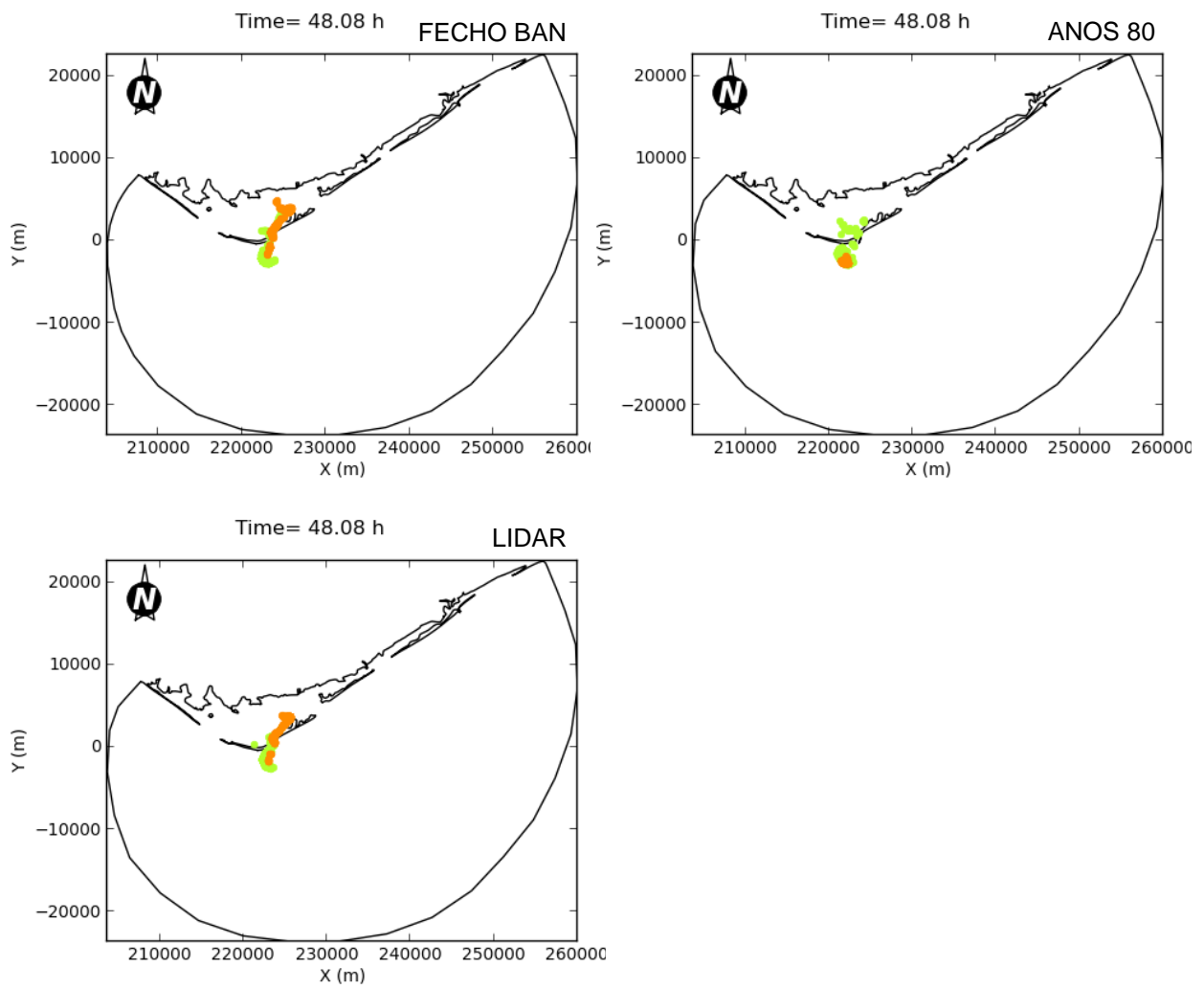


Figura A.32 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

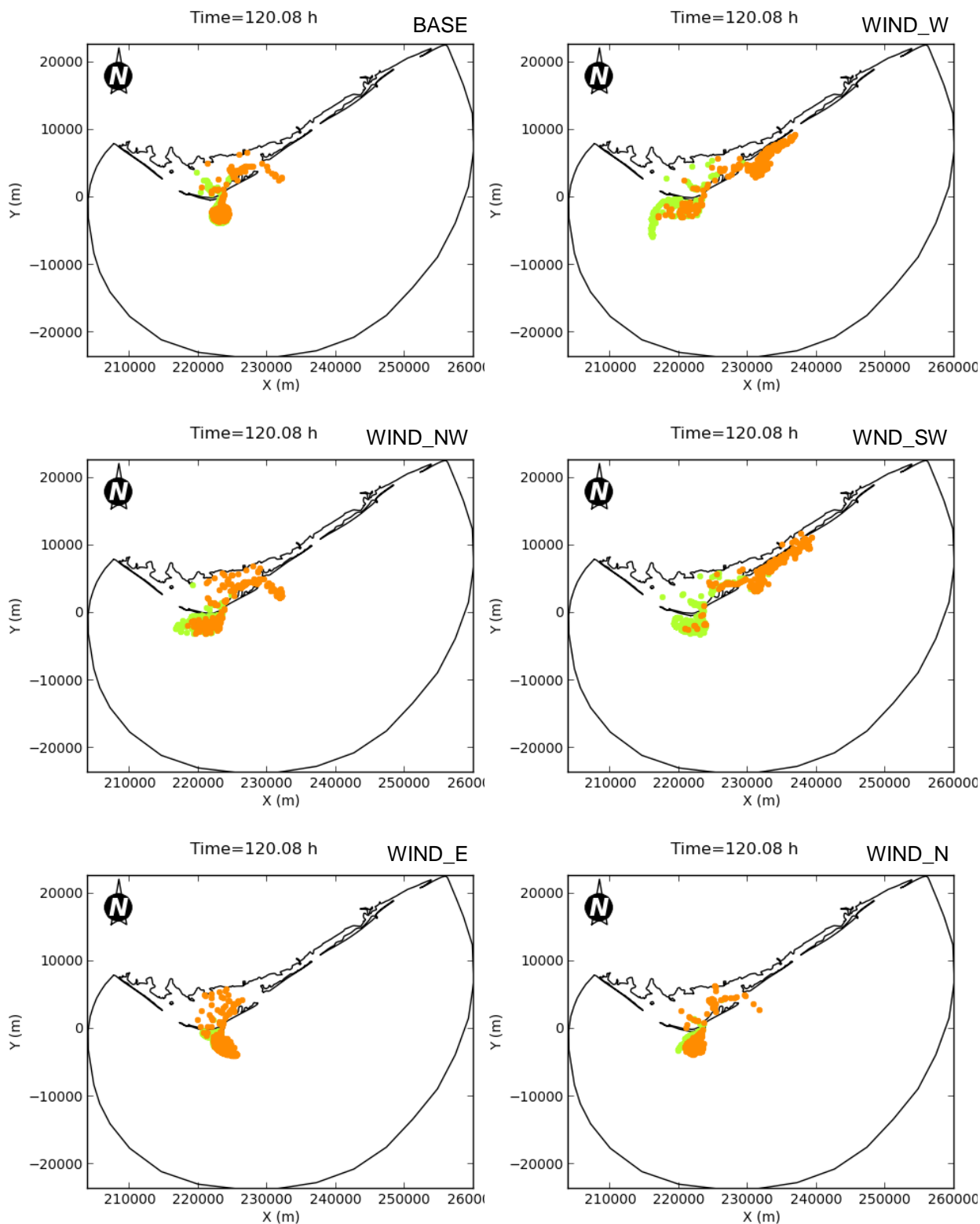


Figura A.33 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

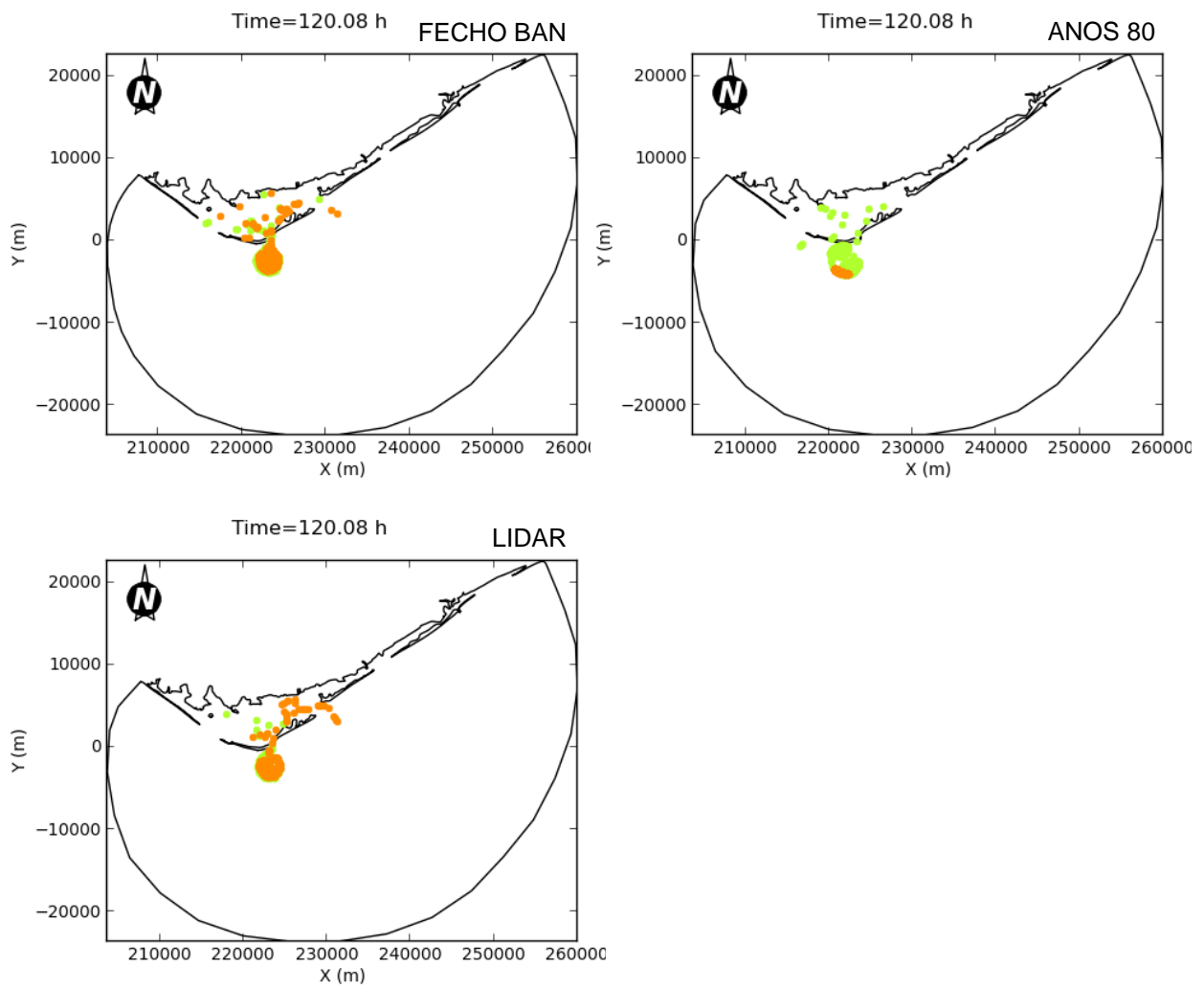


Figura A.33 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

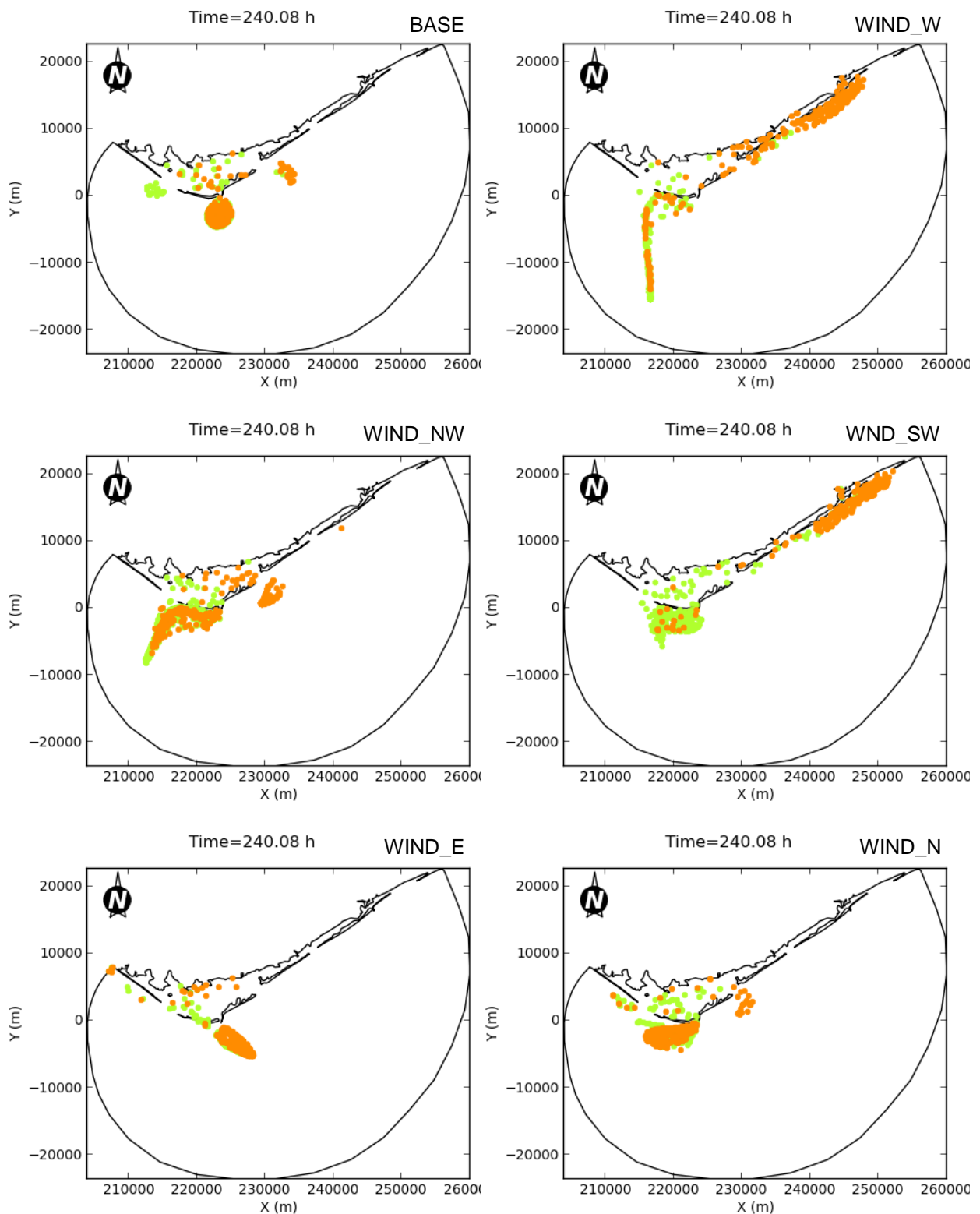


Figura A.34 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

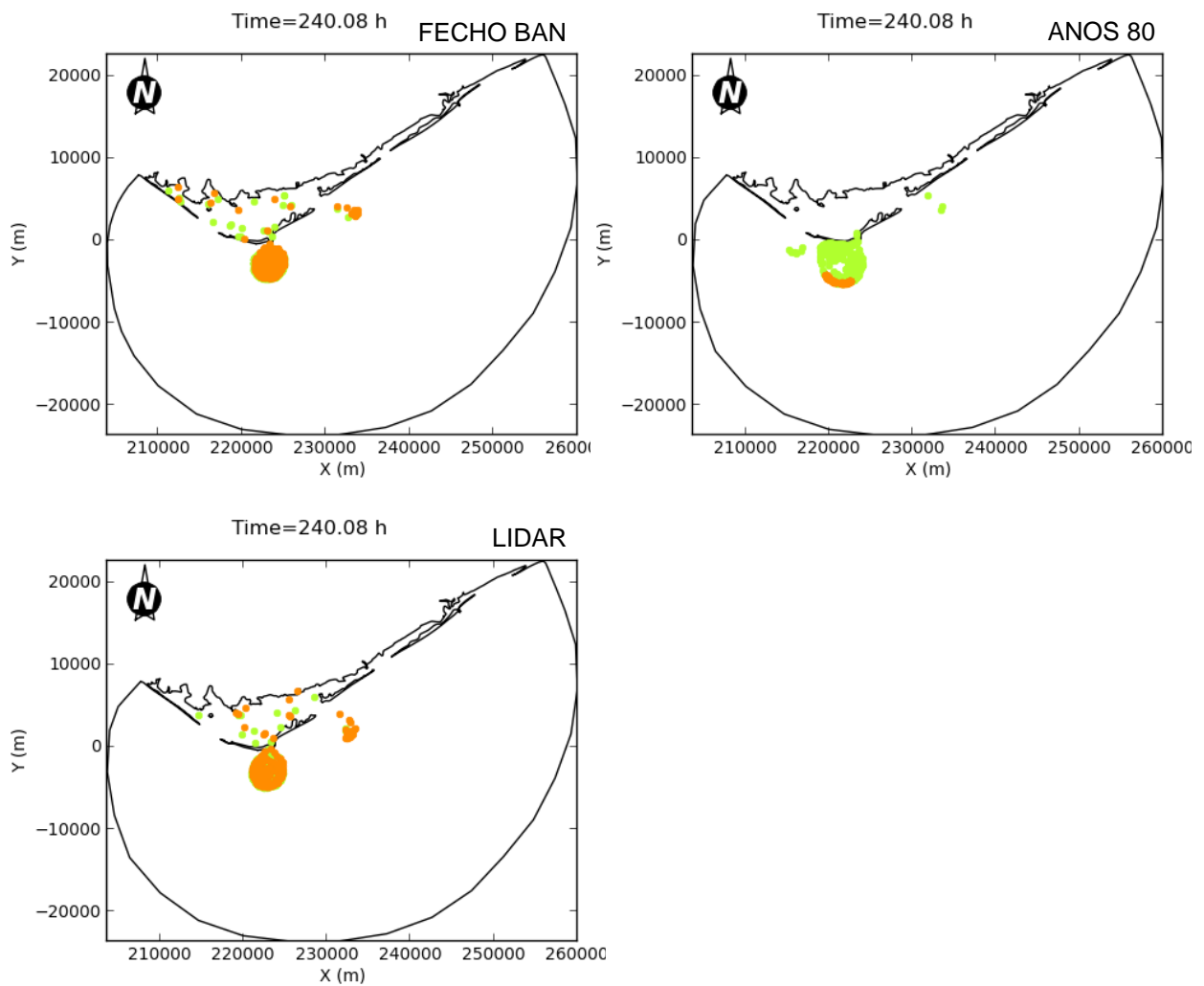


Figura A.34 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

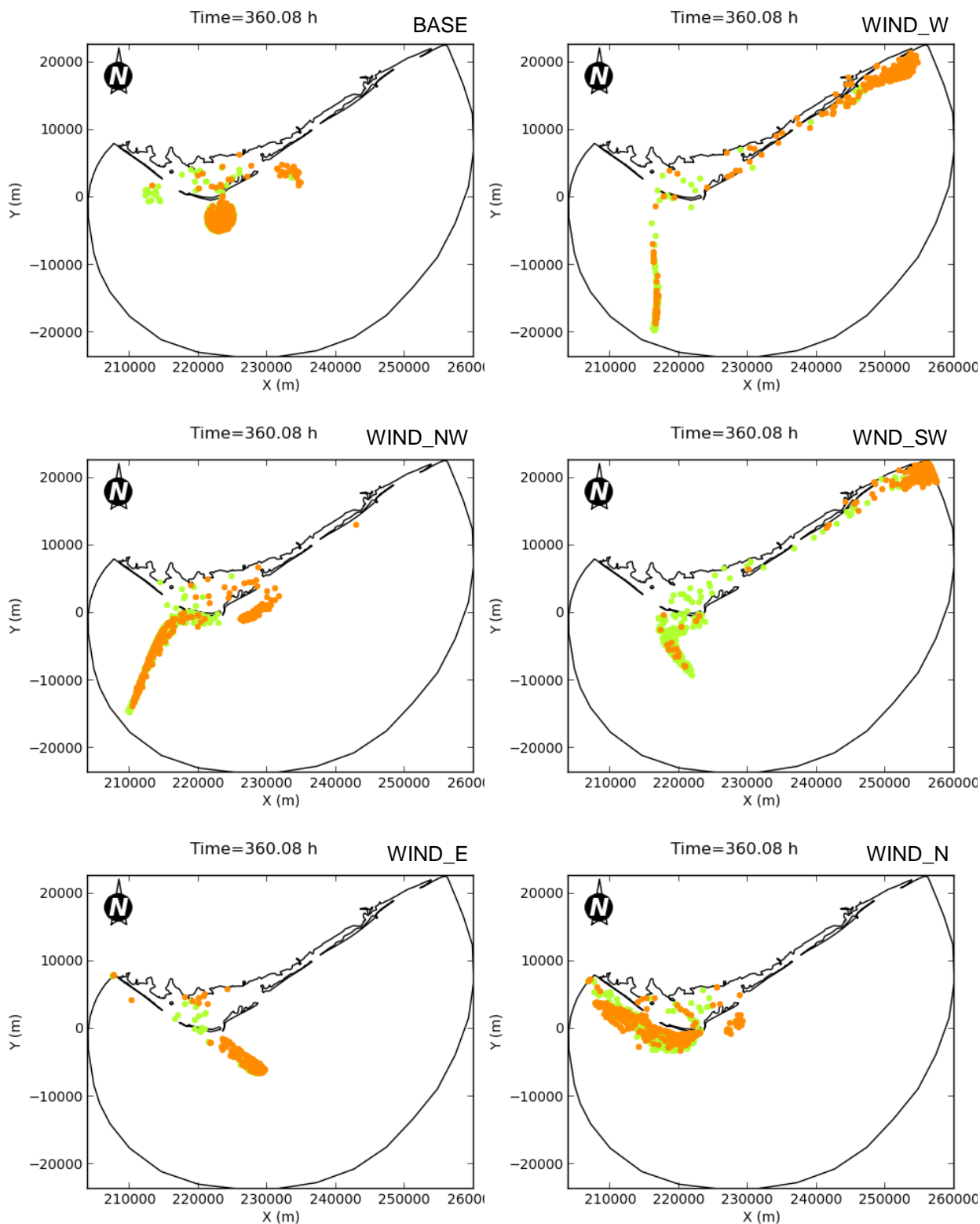


Figura A.35 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

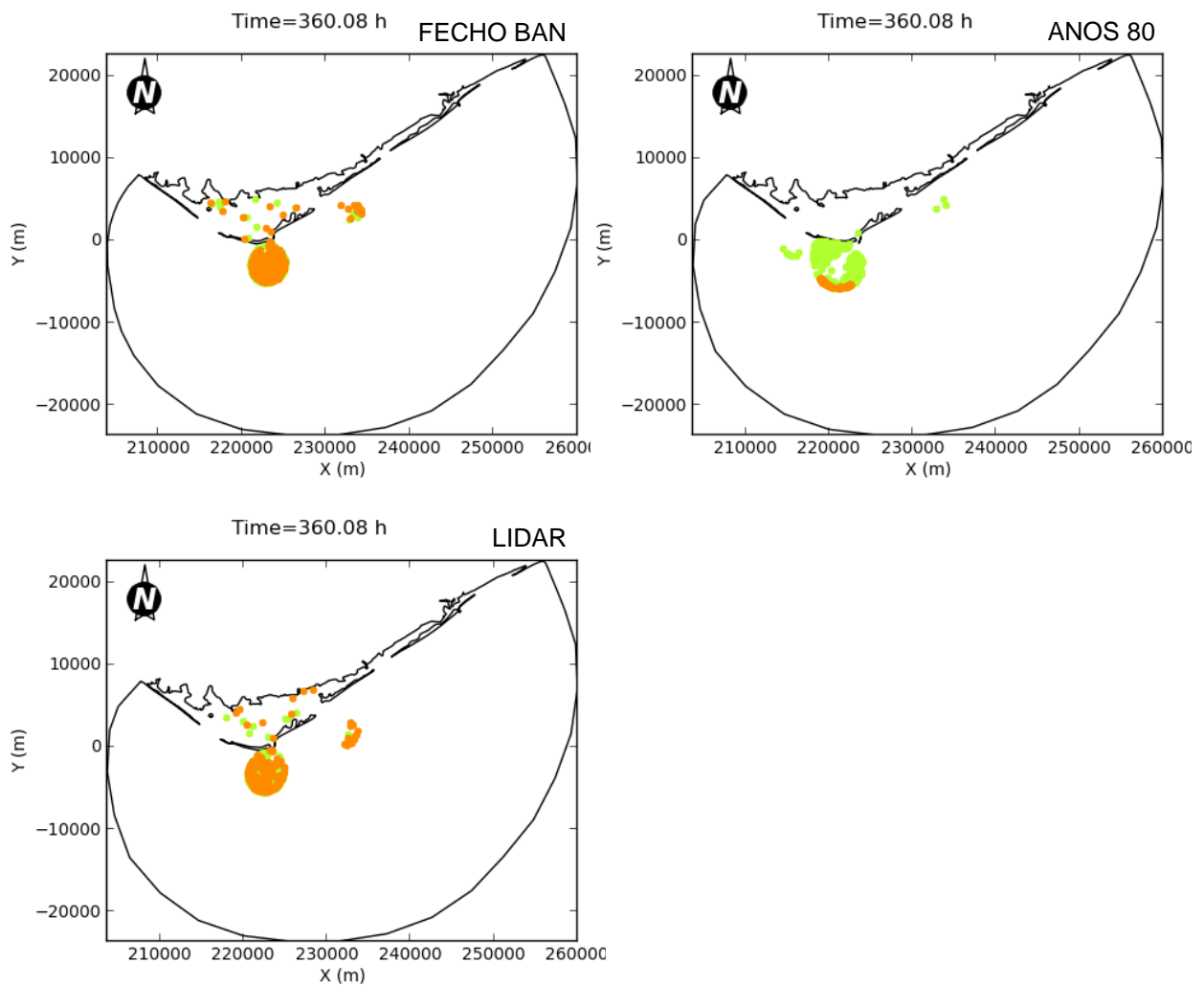


Figura A.35 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

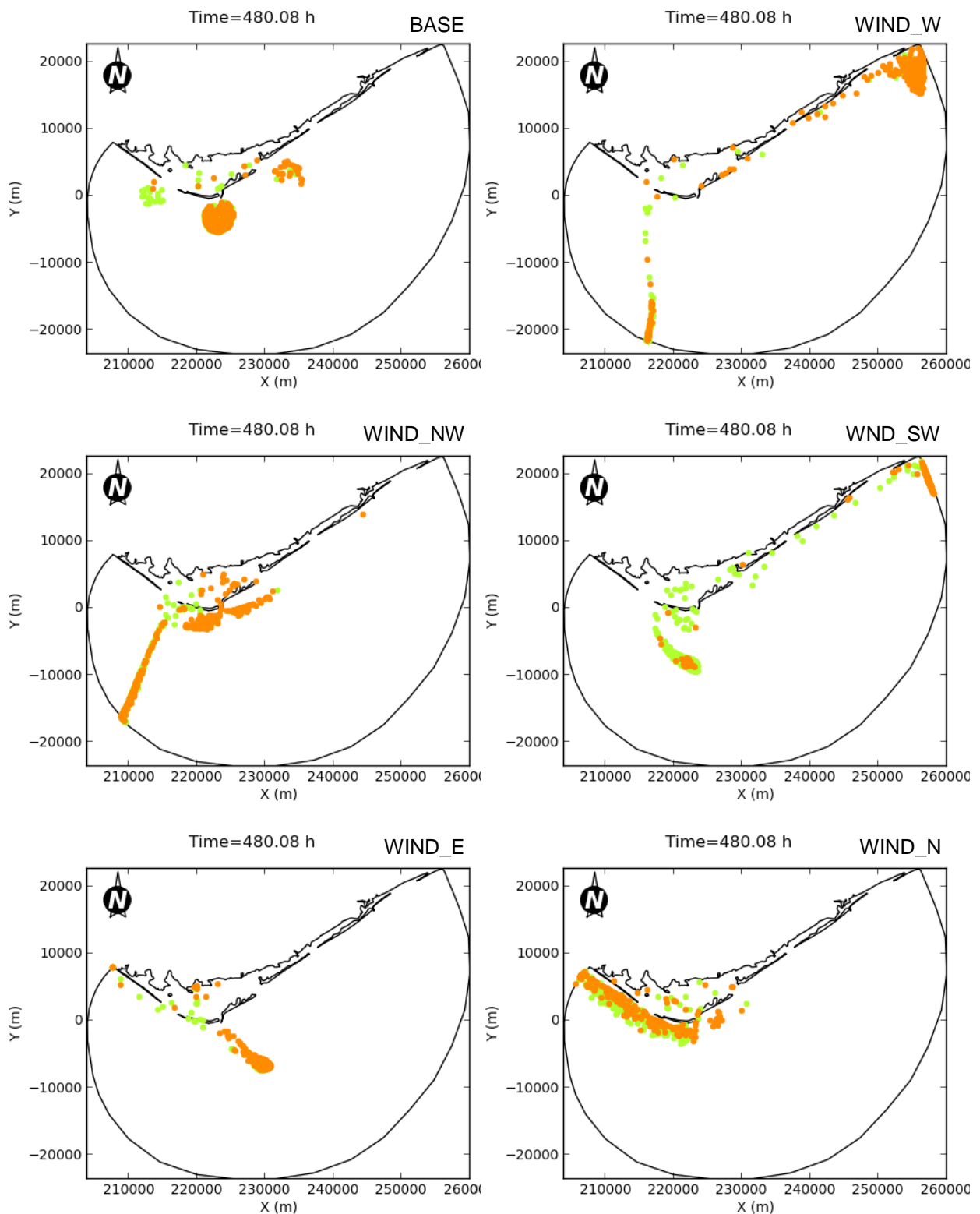


Figura A.36 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

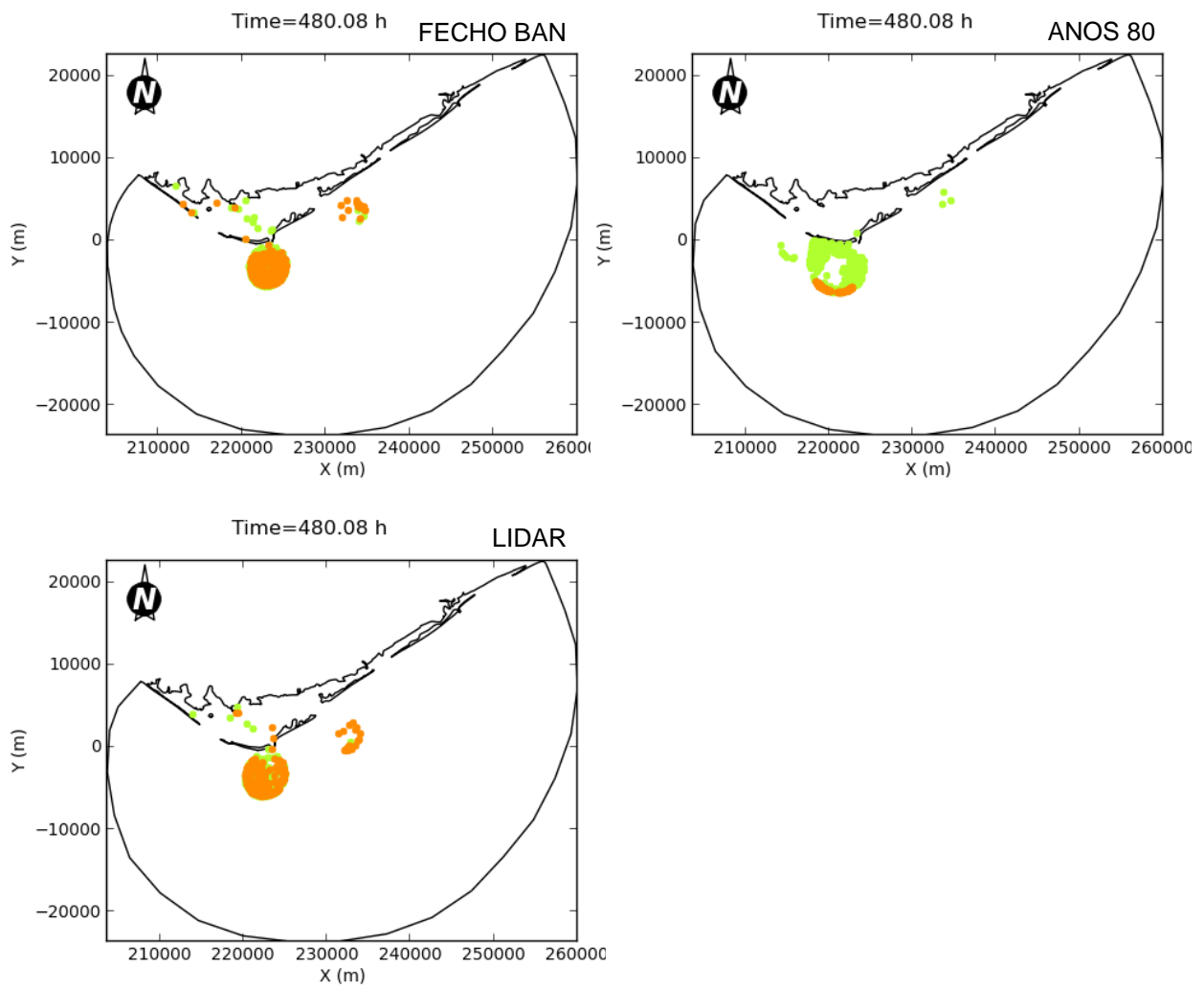


Figura A.36 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré morta. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

Partículas com origem nos canais de Faro e de Olhão em situação de enchente em maré viva.

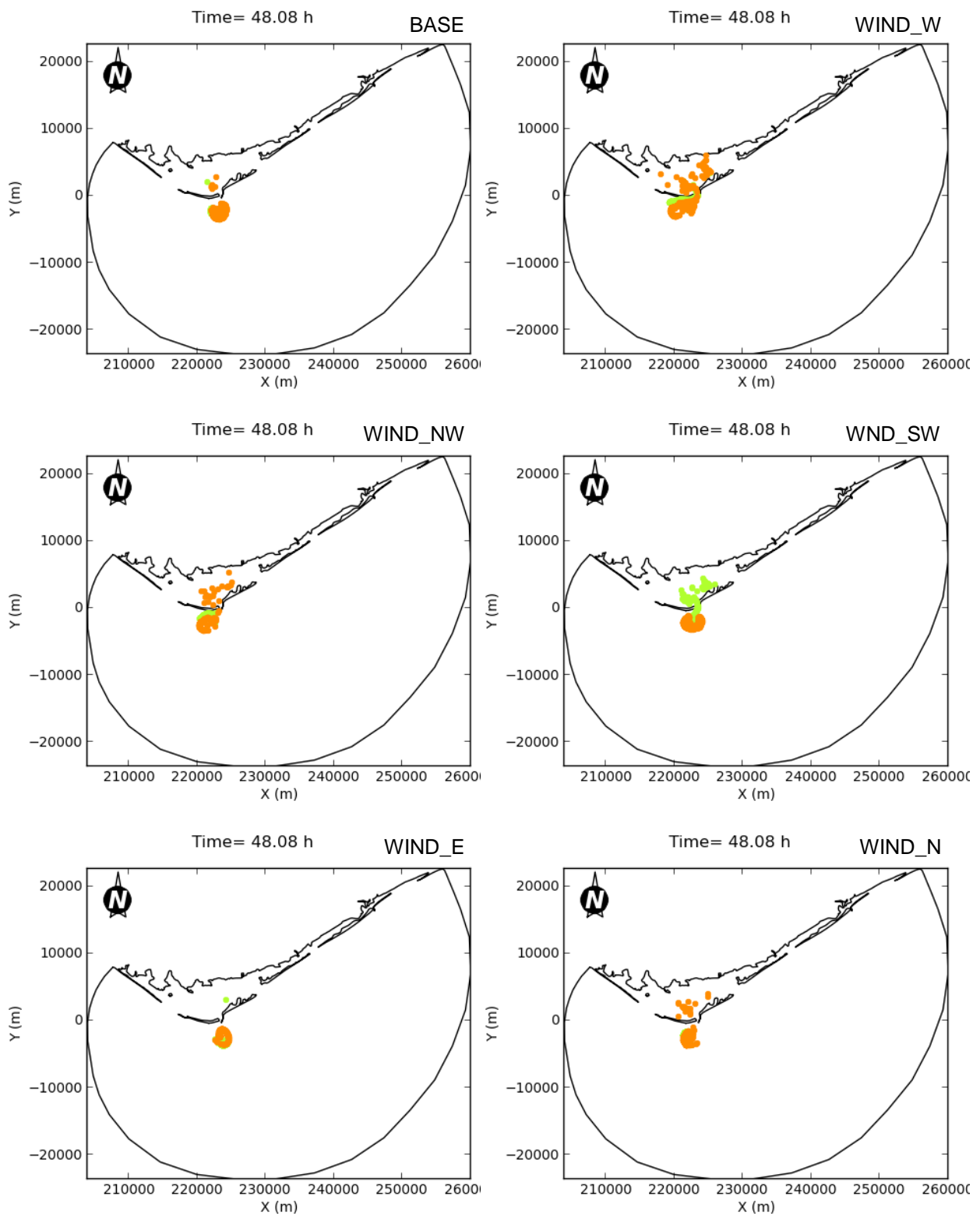


Figura A.37 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

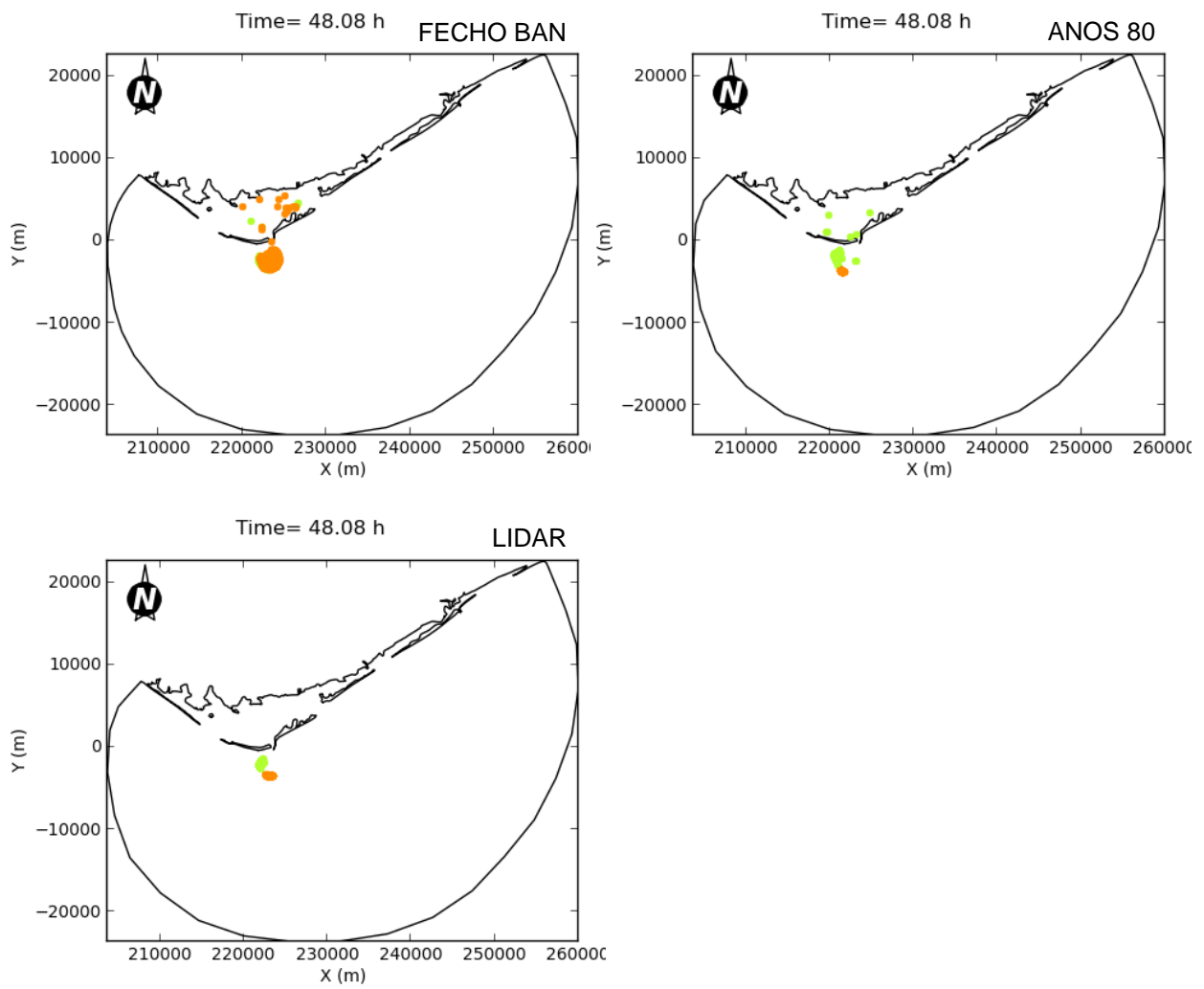


Figura A.37 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 2 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

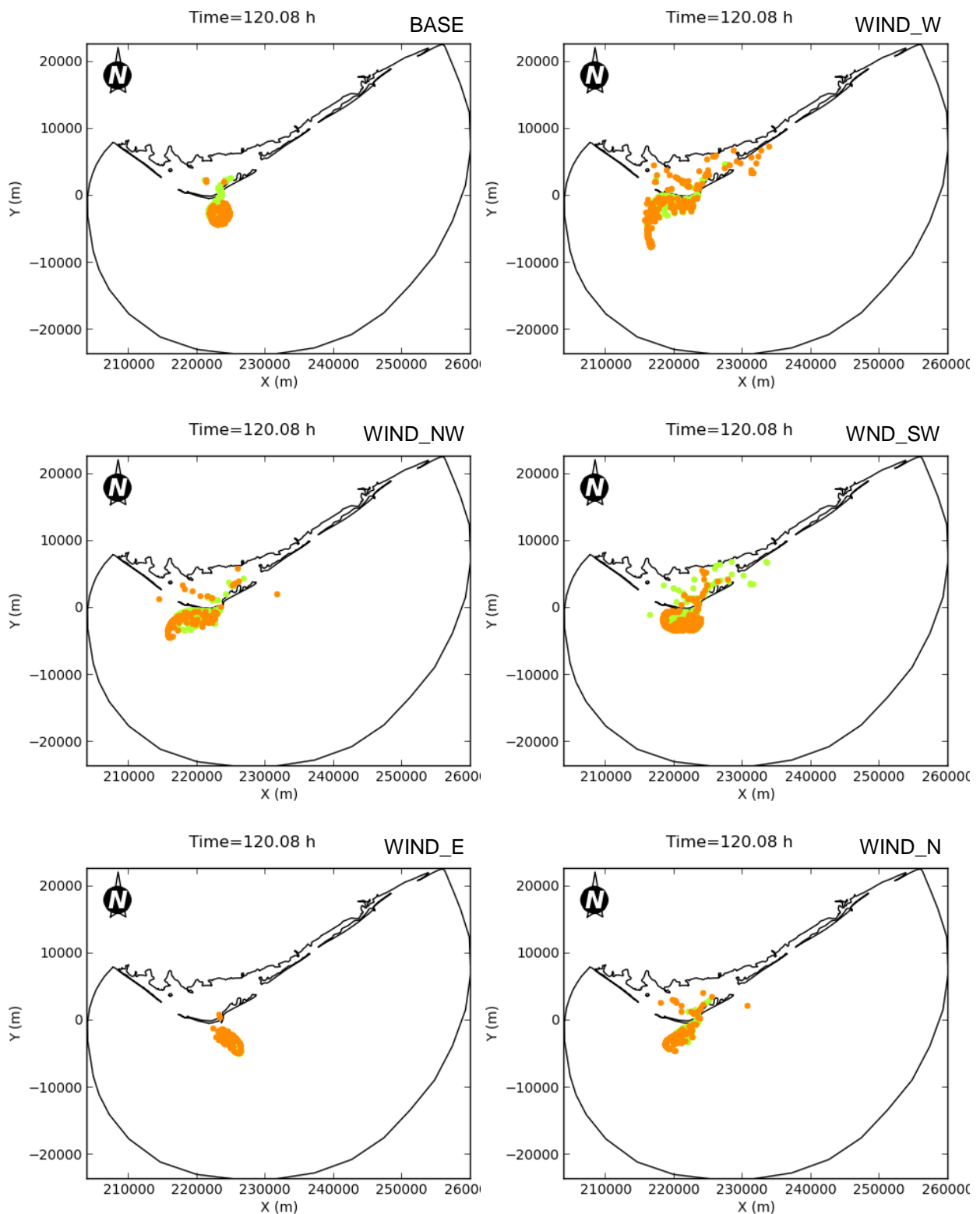


Figura A.38 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

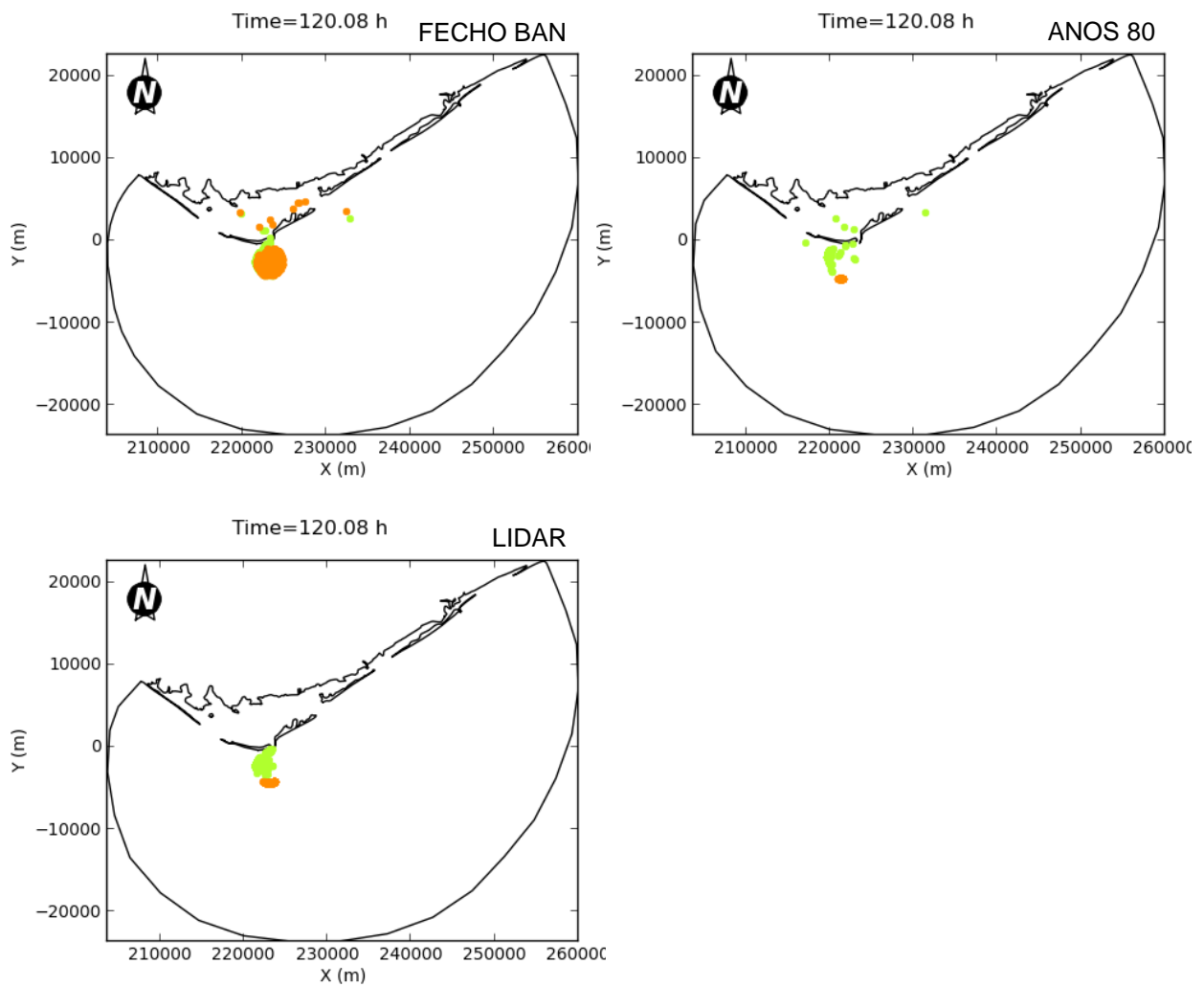


Figura A.38 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 5 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

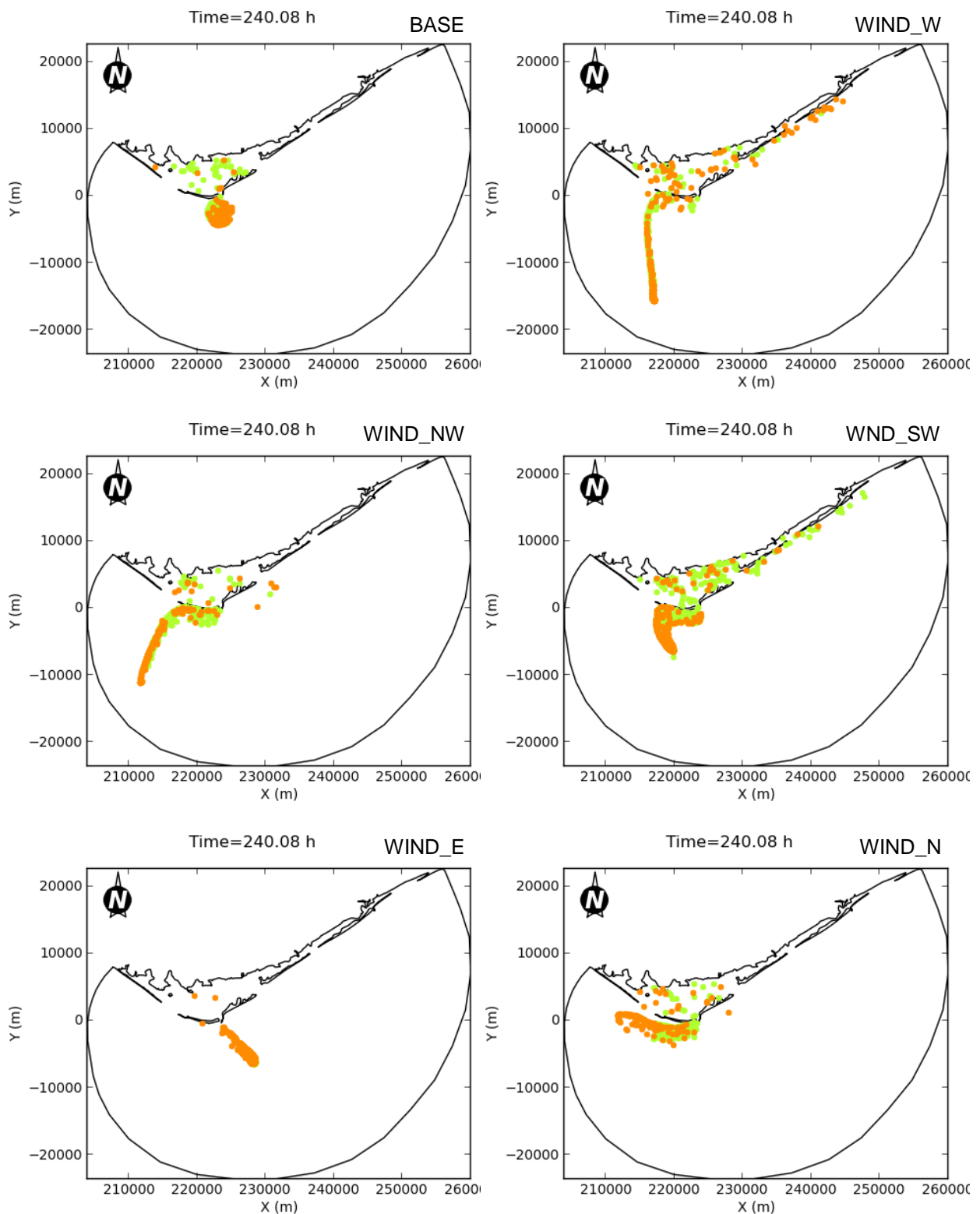


Figura A.39 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

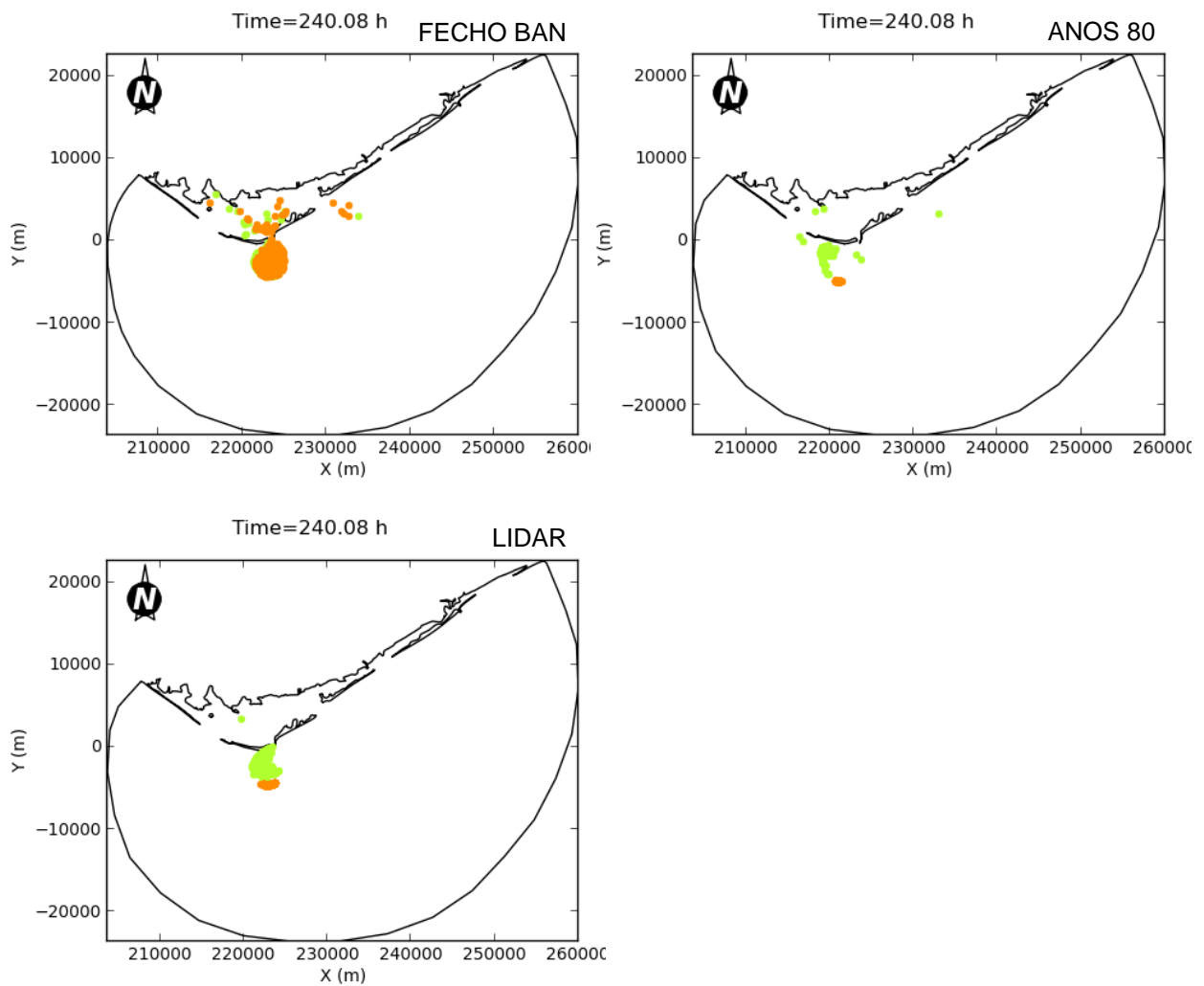


Figura A.39 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 10 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

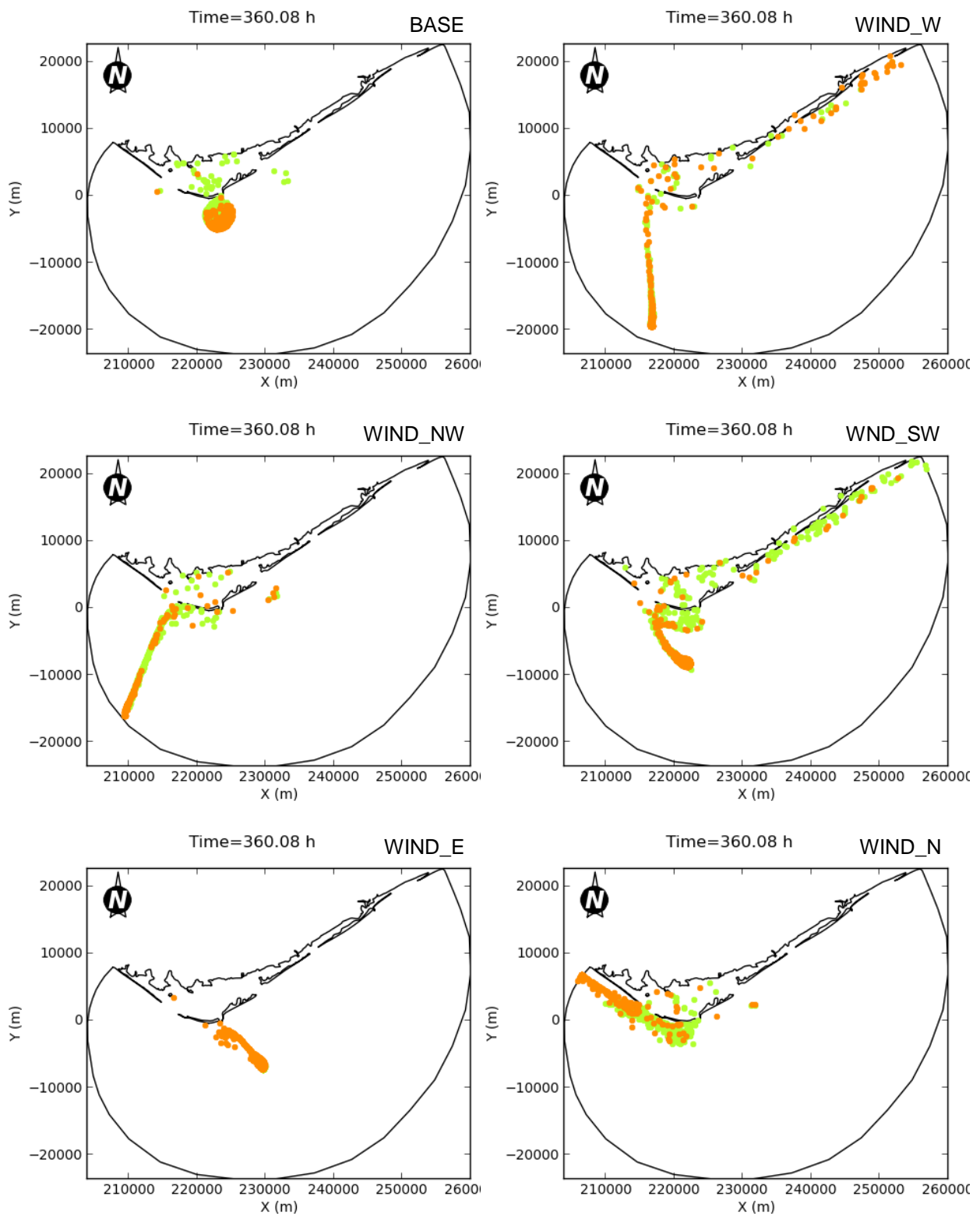


Figura A.40 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

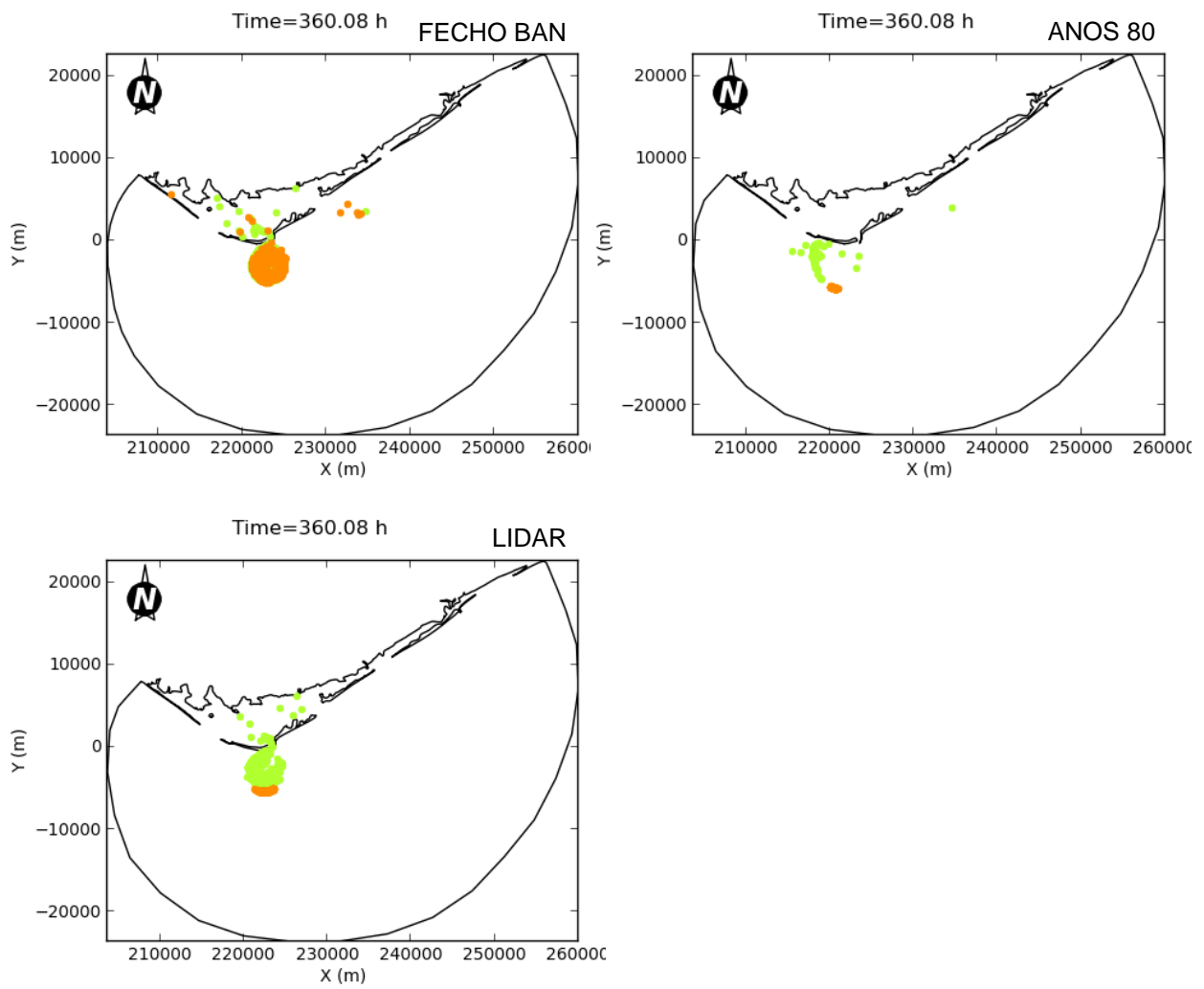


Figura A.40 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 15 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

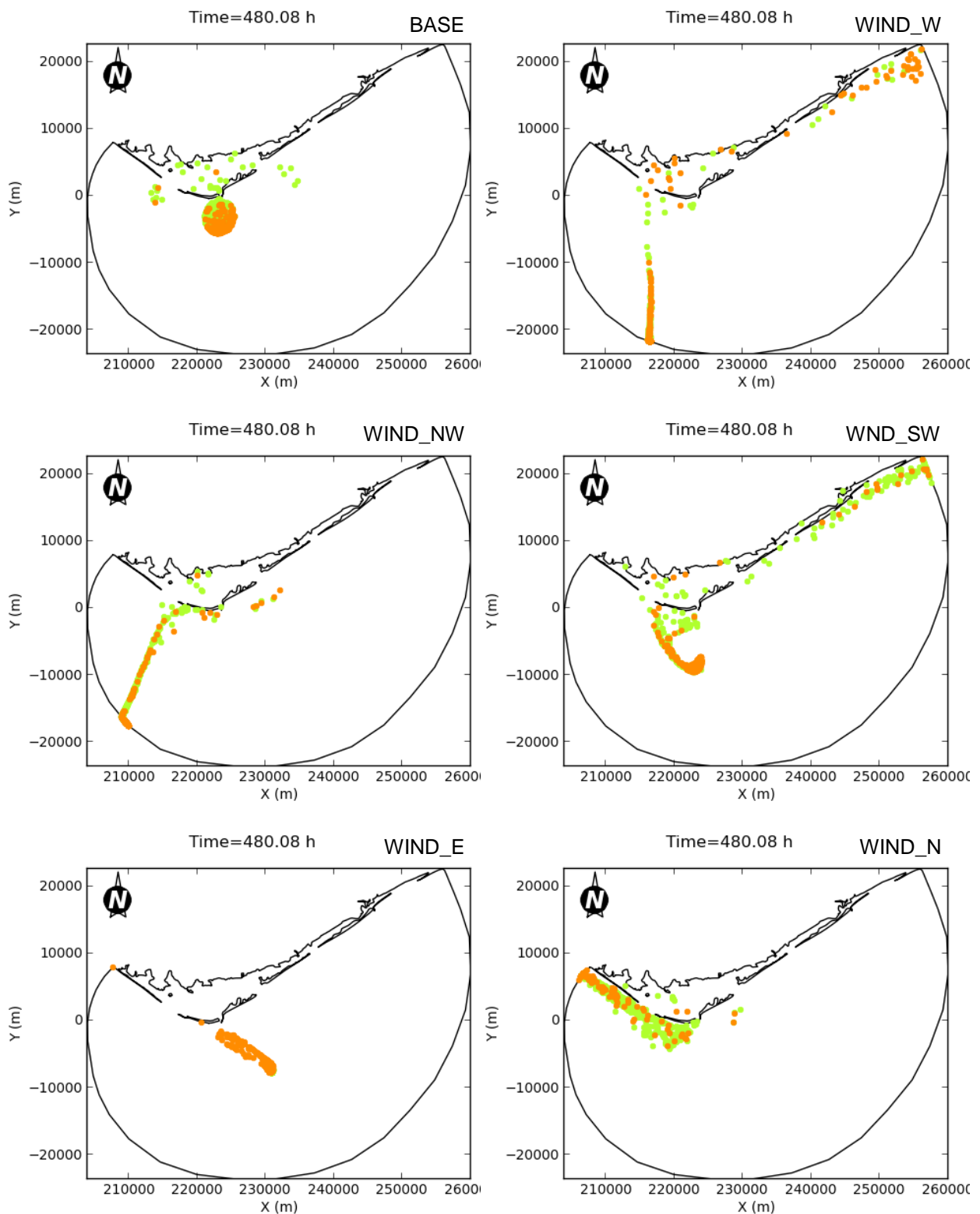


Figura A.41 – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

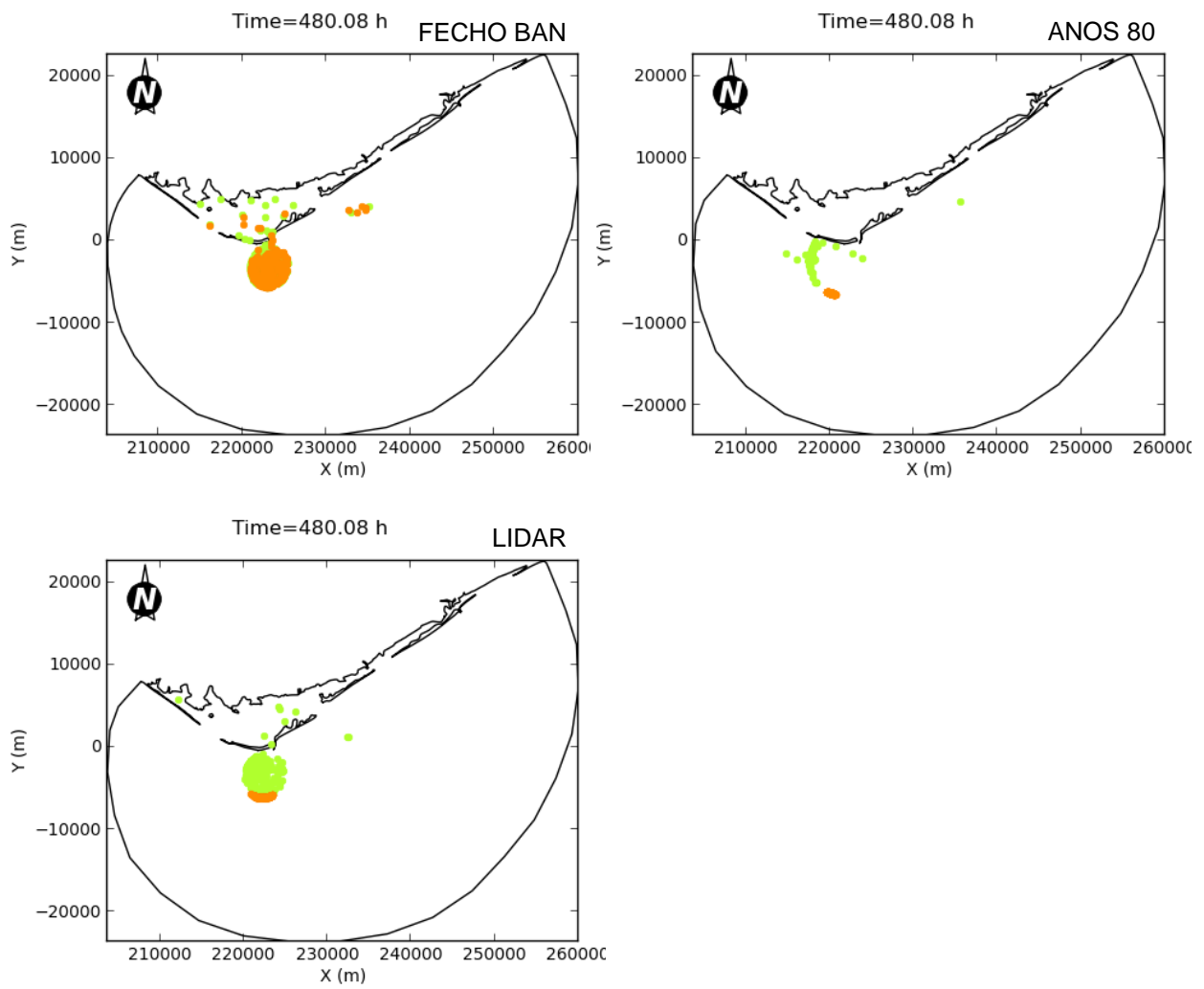


Figura A.41 (continuação) – Distribuição espacial das partículas ao fim de 20 dias de simulação, para os vários cenários, considerando o início da simulação numa situação de enchente em maré viva. As cores referem-se à posição de origem das partículas no início da simulação: verde – canal de Faro, laranja – canal de Olhão.

