

ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL
DO PROJECTO DE INFRA-ESTRUTURAS PARA ILS E LINHA DE APROXIMAÇÃO DA
PISTA 10, AMPLIAÇÃO DE PLATAFORMAS E CAMINHOS DE CIRCULAÇÃO E
AMPLIAÇÃO E REMODELAÇÃO DA AEROGARE DO AEROPORTO DE FARO

ANEXO IV – ANÁLISE DA DINÂMICA DO ESCOAMENTO E DINÂMICA SEDIMENTAR

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. BREVE ANÁLISE DAS CONDIÇÕES ACTUAIS	3
3. METODOLOGIA	11
3.1 EXECUÇÃO DE CAMPANHAS DE RECOLHA DE DADOS.....	11
3.2 AVALIAÇÃO DOS IMPACTES AO NÍVEL DA HIDROLOGIA.....	11
3.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTES NA QUALIDADE DA ÁGUA	12
4. CAMPANHA DE RECOLHA DE DADOS	13
4.1 MEDIDAS DE VARIAÇÃO DE NÍVEL	16
4.2 MEDIDAS DE CAUDAL	17
4.3 MEDIDAS DE QUALIDADE DA ÁGUA	18
4.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS. MODELO CONCEPTUAL.....	22
5. AVALIAÇÃO DOS CAUDAIS DE RUNOFF	27
5.1 PRECIPITAÇÃO	28
5.2 UTILIZAÇÃO / COBERTURA DO SOLO	29
5.3 HIDROLOGIA.....	30
5.4 CALIBRAÇÃO DOS CAUDAIS MODELADOS PARA A RIBEIRA DE S. LOURENÇO.....	32
5.4.1 Simulação Inicial.....	32
5.4.2 Calibração da Recarga do Aquífero.....	33
5.4.3 Calibração do <i>runoff</i>	34
5.5 CAUDAIS MEDIDOS / CAUDAIS SIMULADOS.....	36

5.6 CAUDAIS MÁXIMOS ESPERADOS	37
6. MODELAÇÃO DOS PROCESSOS HIDRODINÂMICOS.....	39
6.1 PASSAGEM HIDRÁULICA	39
6.2 DOMÍNIO DO MODELO.....	40
6.3 CENÁRIOS SIMULADOS	41
6.4 HIDRODINÂMICA – CENÁRIO 1	42
6.5 SALINIDADE – CENÁRIO 1.....	45
6.6 RENOVAÇÃO DE ÁGUA	45
6.6.1 Cenário 1	45
6.6.2 Cenário 2	47
6.7 ANÁLISE DOS IMPACTES NA DINÂMICA SEDIMENTAR	53
7. CONCLUSÕES	55

Apêndice I – Os Modelos Matemáticos

Apêndice II – O Modelo da Ria Formosa

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização das Passagens Hidráulicas.....	3
Figura 2 – Aspecto das comportas abertas em situação de vazante. Passagem hidráulica identificada como n.º 1 na Figura anterior	4
Figura 3 – Aspecto das comportas n.º 1 fechadas em situação de enchente	4
Figura 4 – Aspecto das comportas n.º 3 abertas em situação de vazante	5
Figura 5 – Aspecto do lado de montante da comporta n.º 3.....	5
Figura 6 – Aspecto de uma comporta de controlo de escoamento à entrada dos tanques e imediatamente a montante da comporta n.º 2	6
Figura 7 – Identificação da zona de separação dos subsistemas	7
Figura 8 – Simulação do movimento de traçadores com a barra do Ancão em duas localizações diferentes	10
Figura 9 – Localização dos pontos de amostragem	13
Figura 10 – Sonda YSI 6600 EDS utilizada na campanha de Novembro de 2006.....	14
Figura 11 – ADCP utilizado na medição dos caudais	15
Figura 12 – Régua graduada utilizada na mediação das variações de nível	15
Figura 13 – Localização dos pontos de recolha de amostras de água e sedimentos para análise em laboratório.....	16
Figura 14 – Variação do nível nos pontos P1, P3 e P5	17
Figura 15 – Evolução dos valores de salinidade ao longo do ciclo de maré no sistema controlado pela comporta 1.....	21
Figura 16 – Evolução dos valores de salinidade ao longo do ciclo de maré no sistema controlado pela comporta 3.....	22
Figura 17 – Interpretação esquemática do funcionamento do sistema para situações em que o nível no interior ainda é superior ao nível de baixa-mar no exterior.....	23
Figura 18 – Interpretação esquemática do funcionamento do sistema para situações em que o nível no interior é inferior ao nível de baixa-mar no exterior.....	24
Figura 19 – Ribeiras circundantes do Aeroporto de Faro. Bacias hidrográficas obtidas com topografia da NASA-SRTM com uma malha de aproximadamente 70 metros	27
Figura 20 – Isoietas de precipitação (Atlas do ambiente) comparadas com as estações de precipitação com valores diários nas zonas das bacias hidrográficas em estudo (SNIRH).....	28
Figura 21 – Usos de Solo na bacia da Ribeira de São Lourenço (Fonte: Carta CORINE 2000)	29
Figura 22 – Visualização da bacia sobre imagens de satélite (fonte: Google Earth). Zonas assinaladas vistas em pormenor na figura seguinte	30
Figura 23 – Pormenores das zonas assinaladas na figura anterior (fonte: Google Earth).....	30
Figura 24 – Localização da estação hidrométrica do INAG situada no Rio Seco	31

Figura 25 – Comparação das isoietas com as áreas de drenagem da Ribeira de São Lourenço e do Rio Seco	32
Figura 26 – Profundidade do nível do aquífero medida pelas estações de piezometria disponíveis no SNIRH.....	33
Figura 27 – Estações de piezometria na Bacia da Ribeira de S. Lourenço (Fonte: SNIRH).....	34
Figura 28 – Volumes anuais escoados na bacia simulados com o modelo SWAT (valores em milímetros por área da bacia, converte-se para m ³ convertendo primeiro os mm em metros e multiplicando pela área da bacia em m ²	35
Figura 29 – Caudais (médias mensais) medidos (Rio Seco) e simulados (Ribeira de S. Lourenço) ...	36
Figura 30 – Comparação dos caudais simulados na Ribeira de São Lourenço (linha azul) e medidos pelo INAG (quadrados) no Rio Seco (fonte: SNIRH)	36
Figura 31 – Níveis medidos pela estação de caudais do INAG (fonte: SNIRH)	37
Figura 32 – Bacias hidrográficas que contribuem directamente com água doce para a zona de estudo. Polígonos a azul claro e a castanho representam as bacias.....	39
Figura 33 – Zona de aplicação do modelo hidrodinâmico e de transporte	39
Figura 34 – Domínio do modelo numérico implementado para estudar em detalhe os processos de transporte.....	41
Figura 35 – Variação de nível ao longo do cenário 1 nos pontos de medida P1, P2 e P9.....	42
Figura 36 – Comparação dos níveis obtidos com o modelo numérico com as medidas feitas nos pontos P1 e P2	43
Figura 37 – Variação do caudal simulado para as comportas localizadas entre os pontos P1 e P2 ...	44
Figura 38 – Comparação do caudal simulado com medidas feitas para as comportas localizadas entre os pontos P1 e P2	44
Figura 39 – Evolução da salinidade nos pontos P2 e P9 ao longo da simulação do cenário 1	45
Figura 40 – Condição inicial para a percentagem de água com origem no exterior da zona de estudo	46
Figura 41 - Percentagem de água com origem no exterior da zona de estudo ao fim de 15 dias : a) 1 ^a parte; b) 2 ^a parte.....	47
Figura 42 – Percentagem de água que no início da simulação se encontrava no interior do domínio	48
Figura 43 – Plano de alinhamento das estacas	51

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Precisão da leitura dos parâmetros medidos com a sonda	14
Quadro 2 – Valores medidos de caudal nos pontos 1 e 6	18
Quadro 3 – Valores medidos com a sonda nos pontos ao longo do sistema controlado pela comporta 1 (P1, P2, P7 e P9).....	19
Quadro 4 – Valores medidos com a sonda nos pontos ao longo do sistema controlado pela comporta 3 (P5, P6 e P8)	20
Quadro 5 – Valores medidos com a sonda nos pontos ao longo do sistema controlado pela comporta 2 (P3 e P4)	21
Quadro 6 – Área drenada pelo ponto de monitorização existente no interior da bacia de drenagem do Rio Seco	31
Quadro 7 – Média diária máxima por ano hidrológico no ponto de monitorização existente no interior da bacia de drenagem do Rio Seco (Máximo estimado com dados do SNIRH). Apresenta-se ainda resultados de modelação para a Ribeira de São Lourenço, para efeitos de comparação (no caso do modelo foram sempre simulados todos os dias do ano).....	38

(Página intencionalmente deixada em branco)

1. INTRODUÇÃO

No presente documento é efectuada uma análise dos potenciais impactes na dinâmica do escoamento resultantes das obras que se pretendem levar a efeito para as *infra-estruturas para ILS e Linha de Aproximação da Pista 10, Ampliação de Plataformas e Caminhos de Circulação e Ampliação e Remodelação da Aerogare* do aeroporto de Faro.

Segundo o previsto as obras para instalação da Linha de Aproximação implicarão a construção de um conjunto de estacas para suporte do sistema. Estas estacas deverão ser ligadas por passadiço metálico para acesso pedonal e passagem de cabos.

Sendo a opção de projecto aparentemente pouco intrusiva no que respeita aos processos em análise no presente relatório deverão ainda assim ser efectuados estudos de caracterização da situação actual de forma a verificar se esta hipótese se confirma.

No âmbito dos trabalhos preparatórios relativos à execução do presente projecto foi efectuada pela HIDROMOD uma deslocação ao local a fim de fazer uma avaliação preliminar das condições actuais. Em resultado desta visita foi possível constatar que o sistema que poderá ser potencialmente afectado pelas obras propostas se encontra fortemente artificializado, sendo o escoamento (e as trocas de água com a Ria Formosa) totalmente controlado por comportas.

Por esta razão alguns dos aspectos referidos nos termos de referência deixaram de ser considerados relevantes, tais como impactes na navegabilidade (já que ela não é possível) ou no trânsito sedimentar, e outros viram acrescidas as dificuldades de interpretação, pela falta de elementos sobre o controlo efectivo do sistema de comportas, tais como os impactes na hidrodinâmica e na qualidade da água.

Nesta perspectiva, depois de uma análise cuidada dos elementos disponíveis e das características do sistema foi considerado que os aspectos que do ponto de vista físico mais poderiam ser afectados seriam o escoamento dos caudais de cheia e a qualidade da água em alguns dos esteiros.

A fim de suportar um conhecimento mínimo do sistema que permitisse prosseguir com uma avaliação objectiva das respectivas características foi efectuada uma campanha de recolha de dados no local destinada a caracterizar as trocas de água entre a Ria Formosa e a zona

de intervenção do projecto. Esta campanha incluiu a medição de níveis, caudais, salinidade, Oxigénio dissolvido e Clorofila-a ao longo do ciclo de maré.

Nos capítulos seguintes é efectuada uma descrição dos trabalhos efectuados tendo por objectivo efectuar uma caracterização da situação actual e uma avaliação, o mais objectiva possível, dos potenciais impactes sobre a dinâmica do escoamento das possíveis soluções de projecto.

2. BREVE ANÁLISE DAS CONDIÇÕES ACTUAIS

No âmbito dos trabalhos preparatórios relativos à execução do presente projecto foi efectuada pela HIDROMOD uma deslocação ao local a fim de fazer uma avaliação preliminar das condições actuais. Em resultado desta visita foi possível constatar um conjunto de situações anómalas que poderão ter forte influência sobre a dinâmica do sistema.

O primeiro aspecto relevante para análise do problema tem a ver com as passagens hidráulicas entre a zona do Ludo e a Ria Formosa. Na visita ao local foram identificadas 3 passagens hidráulicas que se podem observar na Figura 1.



Figura 1 – Localização das Passagens Hidráulicas

Estas passagens hidráulicas são controladas por comportas basculantes (*cf.* Figura 2 a Figura 5) destinadas a permitir o escoamento da água acumulada no interior e impedir a entrada de água da Ria Formosa. A zona em questão foi há vários anos transformada para a produção de sal e inclui sequências de tanques destinados ao armazenamento de água para produção de sal cujo fluxo tem de ser artificialmente controlado. Nesta perspectiva as referidas comportas, que em situações normais se destinam a impedir a entrada de água da Ria Formosa para o sistema, podem ser manualmente manejadas para transportar água para os tanques quando necessário.

A comporta n.º 2 destina-se exclusivamente a este fim (transportar água para os tanques) não se observando movimentos de abertura ou fecho das comportas em função da variação da maré como acontece nas outras duas. Esta comporta comunica com uma pequena bacia limitada por comportas próprias dos tanques (cf. Figura 6) e deve encontrar-se estar em mau estado de conservação já que este foi o único caso onde o nível no interior mostrou variações significativas ao longo da maré, tendo-se observado na comporta do tanque imediatamente a montante desníveis de água superiores a 1 m na situação de preia-mar.



Figura 2 – Aspecto das comportas abertas em situação de vazante. Passagem hidráulica identificada como n.º 1 na Figura anterior



Figura 3 – Aspecto das comportas n.º 1 fechadas em situação de enchente



Figura 4 – Aspecto das comportas n.º 3 abertas em situação de vazante



Figura 5 – Aspecto do lado de montante da comporta n.º 3



Figura 6 – Aspecto de uma comporta de controlo de escoamento à entrada dos tanques e imediatamente a montante da comporta n.º 2

Outro aspecto relevante é o facto do sistema se apresentar completamente separado em dois subsistemas sem ligação directa (pelo menos significativa) controlados respectivamente pelas comportas 1 e 3. Este facto é suportado tanto pelas medidas de salinidade efectuadas no local (como se verá mais à frente) como pela inexistência de qualquer ponto de passagem de caudal visível na zona identificada na Figura 6.

Isto implica desde logo que do ponto de vista dos processos hidráulicos as obras propostas terão impacte nulo no subsistema da esquerda da Figura 7.

Para além disso, imediatamente a montante do limite superior da Figura 7, a ribeira é interrompida por uma estrada de acesso às salinas dando origem a uma espécie de pequena barragem de terra que condicionará o normal fluxo dos caudais pluviais. Embora se saiba que o sistema é complementado por um complexo sistema de valas que permitirão eventualmente drenar uma parte dos caudais afluentes não é evidente a forma como e onde esta drenagem se processa. O facto é que no dia em que foi efectuada a campanha o desnível da água no local (entre as zonas a montante e jusante da estrada) deveria ser superior a 2 metros o que demonstra uma capacidade de retenção ainda apreciável.



Figura 7 – Identificação da zona de separação dos subsistemas

Para além disso, imediatamente a montante do limite superior da Figura 7, a ribeira é interrompida por uma estrada de acesso às salinas, dando origem a uma espécie de pequena barragem de terra, que condicionará o normal fluxo dos caudais pluviais. Embora se saiba que o sistema é complementado por um complexo sistema de valas que permitirão, eventualmente, drenar uma parte dos caudais afluentes, não é evidente a forma como e onde esta drenagem se processa. O facto é que, no dia em que foi efectuada a campanha de campo, o desnível da água no local (entre as zonas a montante e jusante da estrada) deveria ser superior a 2 metros, o que demonstra uma capacidade de retenção ainda apreciável.

Uma limitação adicional que, em função das restrições nas trocas de água entre a zona do Ludo e da Ria Formosa, apresenta um impacte de consequências menores na avaliação do sistema, decorre da falta de informação que também se coloca do lado do corpo principal da Ria Formosa. A dinâmica da zona a montante da ponte de acesso à praia de Faro é condicionada pela posição da barra do Ancão e pela capacidade de renovação da água por esta barra que, sendo móvel, apresenta uma variabilidade muito grande ao longo do tempo. Este factor condiciona a definição das condições de referência no que respeita à qualidade da água local.

No que respeita à modelação, o presente trabalho recorreu à utilização do modelo geral da Ria Formosa e à utilização de um modelo confinado da zona do Ludo já que as trocas entre esta zona e a Ria se fazem de forma controlada através de comportas.

Como já evidenciado, a avaliação das condições hidrodinâmicas locais na zona envolvente do aeroporto está fortemente dependente das condições em que se faz o escoamento pela barra do Ancão.

A dinâmica da zona a montante da ponte de acesso à praia de Faro é condicionada pela posição desta barra e pela respectiva capacidade de renovação da água que, sendo móvel, apresenta uma variabilidade muito grande ao longo do tempo. Este factor condiciona a definição das condições de referência no que respeita à qualidade da água local.

Em 1999 a barra foi recolocada artificialmente mais a Oeste da posição actual e melhorou consideravelmente a capacidade de renovação da água nesta zona da Ria. No entanto, dessa altura para cá, o sistema retomou a dinâmica natural e a barra iniciou o percurso de migração para Este. Actualmente a barra apresenta novamente uma fraca capacidade de renovação da água mas, tanto quanto é do nosso conhecimento, não existem levantamentos actualizados que permitam simular de forma realista as trocas de água que se fazem por esta barra.

Para além disso, não parece ser uma tarefa simples (se possível) efectuar uma avaliação realista das cargas actualmente vertidas para a Ria associadas aos movimentos do Aeroporto (bem como da forma como elas são distribuídas no espaço e no tempo) e das cargas que, depois de instalado o novo sistema de drenagem e de caixas de separação de hidrocarbonetos previsto, continuarão ainda a entrar no sistema.

Ainda assim, e apesar de ser necessário ter em consideração dois problemas ao nível específico da modelação deste tipo de processos (a hidrodinâmica e as cargas a considerar nas soluções de referência e de projecto), foi possível fazer uma análise qualitativa dos processos de transporte na zona envolvente.

Concluiu-se que, na situação mais desfavorável, com a barra na localização mais a Este (com menor taxa de renovação de água pela barra do Ancão), o transporte de substâncias emitidas na zona envolvente do aeroporto tende ou a ter tempos de residência elevados (com especial relevância para as emissões na zona caracterizada pela emissão a verde), a encaminhar-se para a zona da barra do Ancão (emissões a amarelo) ou a subir ainda para a zona da ponte da praia de Faro donde, com alguma demora, também tenderá a sair pela barra do Ancão (ver Figura seguinte).

Em qualquer dos casos, não sendo previsível que as descargas afectem de alguma forma a hidrodinâmica, o facto de se alterar a maneira como se fazem as descargas não deverá

alterar de forma sensível a forma como são transportadas ao longo da Ria. Se para além disso, se considerar que a instalação de novos e eficientes sistemas de separação poderá reduzir significativamente as cargas, poder-se-ia concluir numa primeira avaliação que a qualidade da água, no que respeita aos parâmetros a tratar, só poderá melhorar.

A única coisa que se poderá eventualmente contrapor, é que existem pontos de descarga potencialmente mais favoráveis que outros e que portanto as descargas poderiam (deveriam) ser canalizadas para esses pontos, em vez de serem descarregadas junto às caixas colectoras. Por exemplo, o ponto de emissão amarelo parece ser mais eficiente que o verde ou o vermelho. Esta possibilidade continua, no entanto, a enfermar de dois problemas importantes para uma definição correcta desses pontos de descarga: a forma efectiva como se faz o transporte (em função da batimetria local) e o tipo de carga (se é dissolvida, particulada, flutuante, etc.). Estas duas incógnitas, para a qual não se vê solução num projecto desta natureza, põem em causa a capacidade de definição correcta dos tais pontos preferenciais para a descarga dos efluentes.

Por outro lado, a rectificação do sistema de drenagem do AFR prevê a localização de 7 novas caixas de separação de hidrocarbonetos que se encontram distribuídas em função das respectivas superfícies drenantes do AFR, o que se afigura correcto. De facto, parece muito difícil (senão impossível e indesejável) fazer a descarga pluvial num único ponto ou em pontos restritos, com enormes colectores e caudais de descarga.

A título de exemplo, e para se ter uma ideia da diferença que a posição da barra pode fazer nas trocas de água (e logo na respectiva qualidade) apresentam-se na **Error! Reference source not found.** resultados da simulação do percurso de diferentes massas de água. Como se pode observar, na situação com a barra mais a Oeste a água emitida nos pontos assinalados na figura apresenta uma renovação muito mais intensa do que no caso (provavelmente mais similar ao actual) em que a barra do Ancão se apresenta mais assoreada e com fraca capacidade de trocas de água com o mar. Neste último caso, a água vinda do canal do Ramalhete tende efectivamente a subir para o lado da Ponte de Faro, enquanto que, no outro caso, tende a sair pela barra.

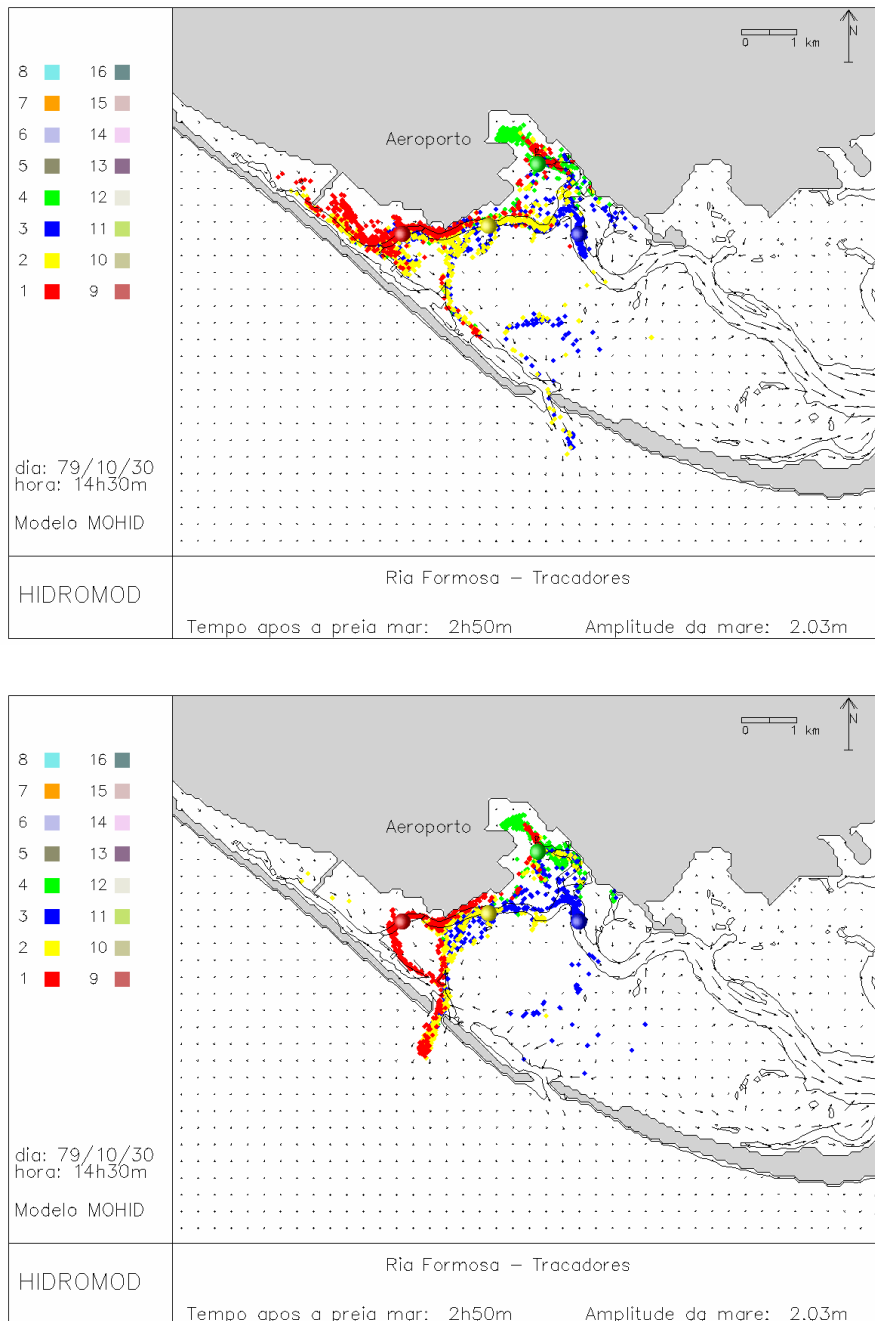


Figura 8 – Simulação do movimento de traçadores com a barra do Ancão em duas localizações diferentes

3. METODOLOGIA

A metodologia para concretizar os objectivos de caracterizar o estado actual do sistema e avaliar os potenciais impactes na dinâmica dos processos de escoamento locais das soluções de projecto passou pela implementação de um sistema integrado de análise que envolveu a disponibilização da informação e a implementação de um sistema de modelos que permitiu integrar e interpretar as medidas efectuadas no local.

A localização do projecto coloca no entanto um conjunto de questões relacionadas com as deficiências do conhecimento da topohidrografia que terão ser tidas em consideração nas análises que serão efectuadas sobre os impactes locais. Nos parágrafos seguintes, far-se-á uma descrição das metodologias implementadas e será apresentada uma reflexão sobre as implicações que as limitações no conhecimento terão sobre análise do problema.

3.1 EXECUÇÃO DE CAMPANHAS DE RECOLHA DE DADOS

Tendo em consideração as limitações de informação sobre a zona de interesse do projecto foi realizada uma campanha de recolha de dados que permitiu caracterizar os caudais que passam actualmente nas passagens hidráulicas, os desníveis observados ao longo do ciclo de maré entre a Ria Formosa e os canais da zona de interesse do estudo e os níveis de salinidade nas mesmas zonas.

3.2 AVALIAÇÃO DOS IMPACTES AO NÍVEL DA HIDROLOGIA

A avaliação dos impactes da obra ao nível do escoamento superficial envolveu uma análise das condições de escoamento do *runoff* para se obter uma ordem de grandeza dos caudais pluviais que poderão potencialmente ser drenados para a zona do Ludo. Por falta de dados não é de todo possível estabelecer um modelo, nem que seja meramente conceptual, que permita descrever o escoamento dos caudais pluviais a jusante da “barragem” de terra constituída pela estrada de acesso às salinas referida anteriormente. No entanto o conhecimento dos caudais potencialmente gerados pela bacia deverá permitir, pelo menos, determinar a probabilidade da “barragem de terra” constituir um factor efectivo de amortecimento dos caudais e portanto ser um factor minimizador dos impactes do projecto no que respeita ao escoamento dos referidos caudais. Nesta perspectiva foi implementado um modelo para a bacia baseado no modelo SWAT para cálculo do *Runoff*.

3.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Os processos ecológicos, como seja o caso da produção primária, ocorrem quando se verificam as adequadas condições de luz, nutrientes e temperatura e se o tempo de residência da água for suficiente para que os processos tenham tempo para se desenvolver.

A hipótese de implementação de um modelo de qualidade da água detalhado para esta zona, em face do que ficou dito atrás, não faria grande sentido já que não há nem conhecimento de base para sustentar um modelo conceptual nem dados para validar os resultados, mesmo que do ponto de vista qualitativo.

Nesta perspectiva optou-se por efectuar uma avaliação suportada por parâmetros físicos que podem potencialmente afectar os habitats (e.g. salinidade) e que desta forma poderão fornecer pistas para sustentar um modelo conceptual do sistema que permita efectuar uma avaliação qualitativa de possíveis impactes do projecto na teia trófica actual. Esta análise teve por base as observações efectuadas no local e um modelo simplificado da zona do Ludo.

4. CAMPANHA DE RECOLHA DE DADOS

Tendo por objectivo esclarecer alguns aspectos críticos no que respeita à dinâmica do sistema, nomeadamente no que respeita à magnitude das trocas de água entre a Ria Formosa e a zona do Ludo, foi levada a efeito uma campanha de medidas no local no dia 21 de Novembro de 2006 nos pontos identificados na Figura 9.



Figura 9 – Localização dos pontos de amostragem

A campanha compreendeu a medição de variações de nível ao longo do ciclo de maré com base numa régua graduada nos pontos P1, P2, P3, P5, P7 e P8 (cf. Figura 9), a medição de caudais junto às comportas 1 e 3 nos pontos P1 e P6 e a medição de parâmetros de qualidade com base numa sonda multi-parâmetro nos pontos P1 a P9.

A medição dos parâmetros de qualidade no local foi efectuada com a sonda YSI 6600 EDS (cf. Figura 10) que incorpora sensores para medição de Condutividade, Temperatura, Oxigénio, pH, Clorofila-*a* e Turvação. A precisão dos parâmetros medidos com a sonda é apresentada no Quadro 1.



Figura 10 – Sonda YSI 6600 EDS utilizada na campanha de Novembro de 2006

Quadro 1 – Precisão da leitura dos parâmetros medidos com a sonda

Parâmetro	Escala	Resolução	Precisão
Temperatura	-5 a 45° C	0,01°C	15,0±°C
Condutividade	0 a 100 mS/cm	0,1 mS/cm	± 0,5% da leitura ou ±0,001 mS/cm
Oxigénio dissolvido	0 a 50 mg/l	0,01 mg/l	± 2% da leitura ou 0,2 mg/l
PH	0 a 14	0,01	±0,2
Turvação	0 a 1000 NTU	0,1 NTU	± 5% da leitura ou ±2 NTU
Clorofila- <i>a</i>	0 a 400 µg/l	0,1 µg/l	

Os caudais foram medidos com base num ADCP dotado de *bottom tracking* que permite a medição directa de caudais por integração da velocidade na secção. O ADCP encontra-se montado em cima de um pequeno flutuador que permite fazê-lo viajar ao longo da secção (cf. Figura 11).

As variações de nível foram medidas com recurso a uma simples régua graduada (cf. Figura 12). Embora com base neste método não seja possível obter uma medida do nível por não haver uma referência relativamente ao Zero Hidrográfico, é possível obter uma curva de variação de nível que permite determinara a amplitude da maré por exemplo. As régua foram colocadas no local no início da campanha e recolhidas no final tendo permanecido durante todo o período no mesmo local.



Figura 11 – ADCP utilizado na medição dos caudais



Figura 12 – Régua graduada utilizada na mediação das variações de nível

Tal como referido anteriormente uma outra equipa procedeu no local à recolha de amostras de água e sedimentos para análise em laboratório nos pontos identificados na Figura 13. As amostras relativas aos pontos A1, A3, A5 e A7 foram recolhidas em baixa-mar e as amostras relativas aos pontos A2, A4, A6 e A8 foram recolhidas em preia-mar.

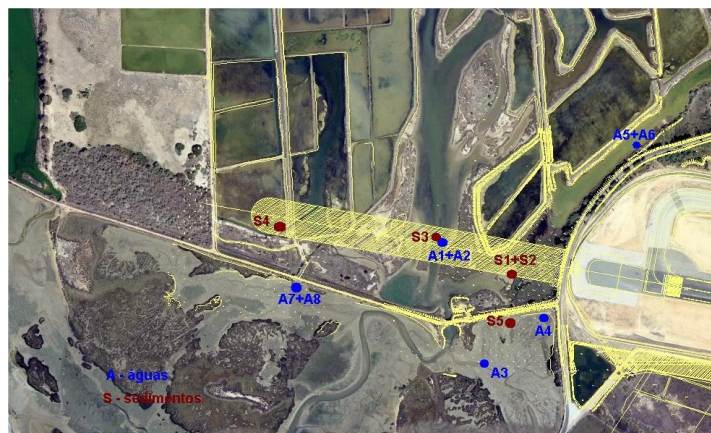


Figura 13 – Localização dos pontos de recolha de amostras de água e sedimentos para análise em laboratório

4.1 MEDIDAS DE VARIAÇÃO DE NÍVEL

Tal como referido foram medidas variações de nível nos pontos P1, P2, P3, P5, P7 e P8 (cf. Figura 9) com recurso a réguas graduadas. Os resultados obtidos mostraram uma variação do nível de maré no exterior, nos Pontos P1, P3 e P5 com uma amplitude da ordem dos 2 metros (cf. Figura 14) enquanto que no interior (Pontos P2, P7 e P8) a variação foi da ordem dos 10 cm.

Significa isto que as comportas estão a cumprir o propósito para que foram colocadas no local e a limitar fortemente as trocas de caudais entre o interior e o exterior. Deve no entanto notar-se que, apesar de teoricamente as comportas encerrarem durante a enchente elas não são estanques e permitem a entrada de algum caudal responsável pelas pequenas variações observadas no interior. A análise dos valores de salinidade irá pôr em evidência que, apesar destes caudais serem limitados, apresentam uma importância significativa em termos da qualidade da água no interior.

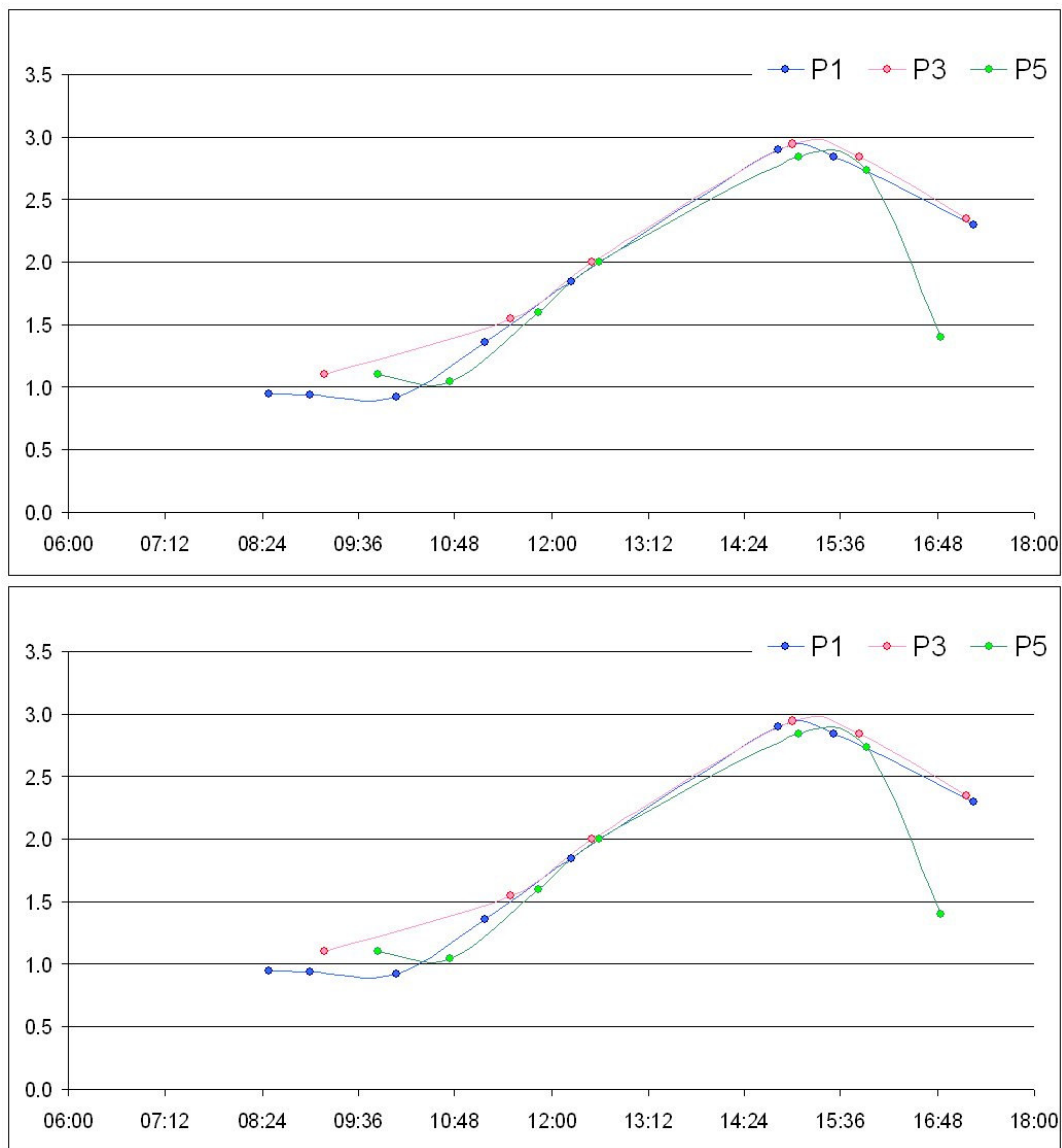


Figura 14 – Variação do nível nos pontos P1, P3 e P5

4.2 MEDIDAS DE CAUDAL

As medidas de caudal efectuadas permitiram caracterizar a magnitude dos caudais que são trocados nas comportas 1 e 3. Não foram efectuadas medidas junto à comporta 2 já que a bacia interior é extremamente reduzida e completamente confinada pelas comportas de acesso aos tanques.

No caso da comporta 1, por impossibilidade de acesso à margem direita, não foi possível efectuar as medidas de caudal do lado de montante como seria desejável pelo que, devido à forte corrente que se verificava do lado de jusante, as medidas efectuadas na fase de vazante merecem alguma reserva. Em qualquer dos casos, uma vez que as medidas foram sempre objecto de repetição em cada secção, pode dizer-se que os valores obtidos devem representar os valores reais pelo menos em termos de ordem de grandeza. Em situação de enchente, como as velocidades observadas eram substancialmente menores este problema já não se pôs.

No Quadro 2 apresenta-se um resumo dos valores medidos. Como se pode observar na comporta 1 os valores máximos medidos em vazante são significativos embora o escoamento só se processe neste sentido durante um período reduzido de tempo. Em situação de enchente os caudais não ultrapassam os 0,3 m³/s. Na comporta 3 os caudais são em regra quase uma ordem de grandeza inferiores (o que está em consonância com a respectiva área de influência).

Estes valores, como se verá mais à frente, quando associados aos dados das variações de nível apresentados anteriormente e aos de salinidade que serão apresentados de seguida apresentam uma relevância significativa na interpretação da dinâmica do sistema.

Quadro 2 – Valores medidos de caudal nos pontos 1 e 6

P1		P6	
Hora	Caudal* (m3/s)	Hora	Caudal* (m3/s)
8:30	4.15	9:50	1.50
9:00	1.43	10:45	0.41
10:05	-0.16	11:50	-0.05
12:15	-0.24	15:05	-0.05
14:50	-0.29	16:50	-0.06
15:30	-0.17		

* os valores positivos referem-se a situação de vazante

4.3 MEDIDAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Como se referiu anteriormente foram efectuadas medidas de parâmetros com influência na definição da qualidade da água com base num sensor multi-parâmetro. Em termos gerais os resultados obtidos mostram um elevado nível de oxigenação da água (as taxas de saturação de Oxigénio são sempre superiores a 100%) e elevados níveis de clorofila. No entanto o

parâmetro que para a análise que se segue apresenta maior relevância é o relativo à variação da salinidade.

Antes de mais deve referir-se que nas semanas que precederam a presente campanha ocorreram fortes chuvadas pelo que seria de esperar um aporte elevado de água doce ao sistema. Como se pode observar pela leitura do Quadro 3 a Quadro 5 e pela análise da Figura 15 e Figura 16, os valores de salinidade no interior estiveram sempre acima dos 20 psu (ou foram desta ordem de grandeza) mesmo no ponto mais afastado (P9).

Para além disso, apesar das pequenas trocas de caudal em situação de enchente, verificou-se uma evolução dos níveis de salinidade nos pontos P7 e P8 que já se encontram a distâncias significativas das comportas exteriores, o que permite suportar um modelo conceptual do sistema que será apresentado de seguida.

Quadro 3 – Valores medidos com a sonda nos pontos ao longo do sistema controlado pela comporta 1 (P1, P2, P7 e P9)

P1 - Exterior da comporta 1						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
09:01:23	16.50	25.04	87.00	7.78	6.70	52.10
10:23:30	17.42	24.44	129.70	7.87	5.20	87.20
11:20:38	17.59	24.61	110.50	7.87	5.20	61.30
12:26:18	17.83	27.40	140.00	7.94	5.90	57.80
14:39:06	18.30	32.94	126.60	7.95	6.80	58.70
15:41:27	18.30	34.12	140.90	8.02	8.70	57.20
17:23:09	18.41	31.95	124.40	8.03	19.60	46.10

P2 - Interior da comporta 1						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
10:05:30	17.36	24.57	110.30	7.85	6.10	39.80
12:11:30	17.78	26.64	124.90	7.92	5.20	60.20
14:43:56	18.16	30.30	124.30	7.95	3.90	49.40
15:46:09	18.30	34.17	124.40	8.00	3.30	52.10
17:26:33	18.32	33.18	122.60	8.02	4.90	46.90

P7 - Sistema 1 junto à estrada da salina						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
10:54:11	18.91	23.97	140.20	7.99	1.60	66.90
12:53:03	18.89	27.35	142.50	8.03	-0.70	59.80
15:27:19	19.43	28.64	144.10	8.08	6.90	66.40

P9 - Sistema 1 junto à estrada de acesso						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
14:20:40	19.81	19.54	107.90	7.66	4.30	70.70

De forma geral os resultados anteriores foram confirmados pelos valores obtidos através das análises laboratoriais. O ponto P3 da campanha de medição com sensor estará a caracterizar uma massa de água correspondente à que também será caracterizada pelos pontos A1/A2. Como se viu anteriormente foram medidos com o sensor valores de

salinidade da ordem de 25 psu em baixa-mar e 34 psu em preia-mar enquanto que as análises laboratoriais das amostras recolhidas nos pontos A1/A2 foram respectivamente de 26 psu e 30 psu. Deve ter-se em atenção que os pontos A1/A2 se encontram mais afastados da comporta que o ponto P2.

Um outro dado interessante que se pode retirar das análises laboratoriais refere-se às amostras relativas aos pontos A5/A6 uma vez que caracterizam um canal para o qual não foram efectuadas leituras com o sensor. Os valores de salinidade obtidos para as amostras recolhidas foram neste caso de 20 psu em baixa-mar e 22 psu em preia-mar. Estes valores, como se verá mais à frente, estão de acordo com o modelo conceptual que explica o funcionamento do sistema, suportando assim a respectiva validação.

Quadro 4 – Valores medidos com a sonda nos pontos ao longo do sistema controlado pela comporta 3 (P5, P6 e P8)

P5 - Exterior da comporta 3						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
9:49:27	16.29	18.92	140.50	8.12	7.20	63.40
10:44:26	16.81	19.20	153.10	8.17	5.30	83.70
12:01:37	17.50	20.65	161.60	8.21	11.40	90.40
12:45:28	17.76	31.99	138.60	8.01	6.00	62.60
15:16:41	18.01	33.33	127.70	7.99	4.00	53.40
16:03:00	18.18	33.01	130.40	8.04	2.80	56.00
17:03:11	18.15	33.91	130.90	8.08	3.90	42.40

P6 - Interior da comporta 3						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
9:43:34	16.22	18.79	134.40	8.12	2.90	64.10
10:41:28	16.73	18.89	162.70	8.17	2.90	85.70
11:58:00	17.40	20.29	165.10	8.18	5.90	55.80
12:41:43	17.68	27.66	135.40	8.07	6.20	66.20
15:13:55	18.10	28.72	143.70	8.04	7.10	56.30
16:00:56	18.16	30.13	143.00	8.08	8.80	67.10
17:01:04	18.19	30.57	132.40	8.09	6.00	59.10

P8 - Sistema 2 junto à estrada da salina						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
10:57:09	17.05	18.50	148.70	8.22	12.90	83.00
12:55:11	18.14	18.91	167.10	8.30	5.10	86.50
15:24:36	19.28	19.20	166.10	8.35	18.30	57.20

Quadro 5 – Valores medidos com a sonda nos pontos ao longo do sistema controlado pela comporta 2 (P3 e P4)

P3 - Exterior da comporta 2						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
9:16:39	16.24	34.33	96.30	7.63	4.70	43.40
11:41:44	18.55	25.34	112.30	7.91	11.90	58.60
12:35:16	18.04	32.24	122.30	7.96	5.30	56.70
15:02:40	18.38	34.78	122.50	8.00	2.90	51.50
15:54:44	18.40	35.10	120.20	8.01	3.00	52.60
17:11:13	18.39	34.43	126.80	8.05	7.40	47.30

P4 - Interior da comporta 2						
Hora	T (°C)	Sal (ppm)	DO (%)	pH	Turb (NTU)	Chl (µg/l)
9:12:17	16.96	34.04	89.80	7.70	55.60	53.80
11:45:11	18.64	28.85	112.90	7.89	10.50	60.70
12:33:58	17.94	32.49	121.50	7.95	4.90	52.40
15:00:48	18.36	34.70	126.00	8.00	4.90	59.30
15:52:49	18.45	33.69	138.40	8.04	1.90	57.30
17:12:13	18.37	34.54	119.70	8.04	1.90	42.30

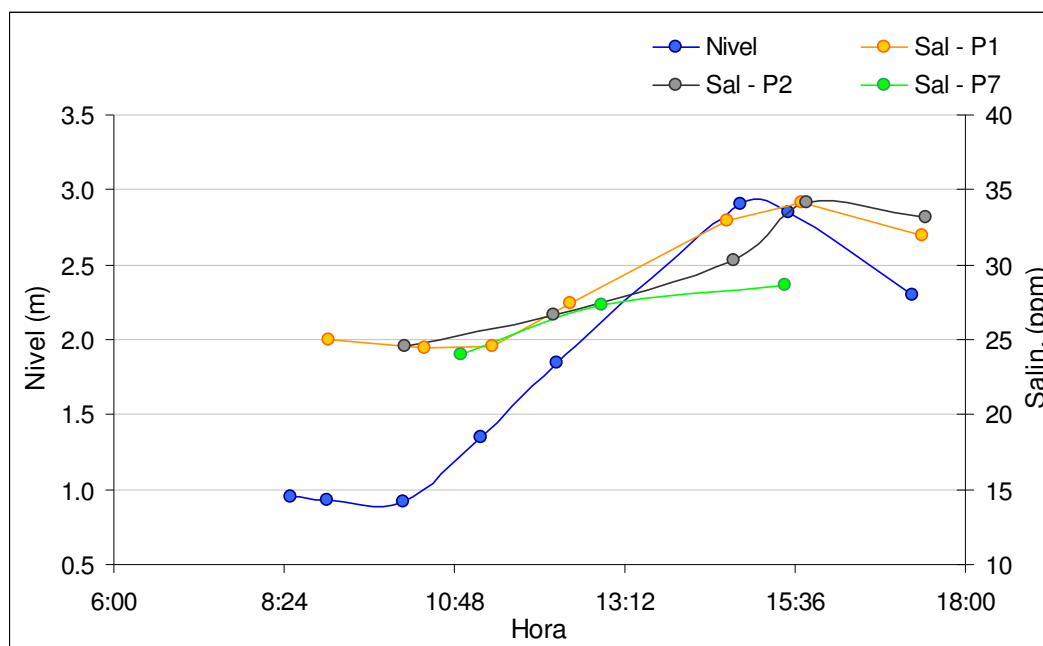


Figura 15 – Evolução dos valores de salinidade ao longo do ciclo de maré no sistema controlado pela comporta 1

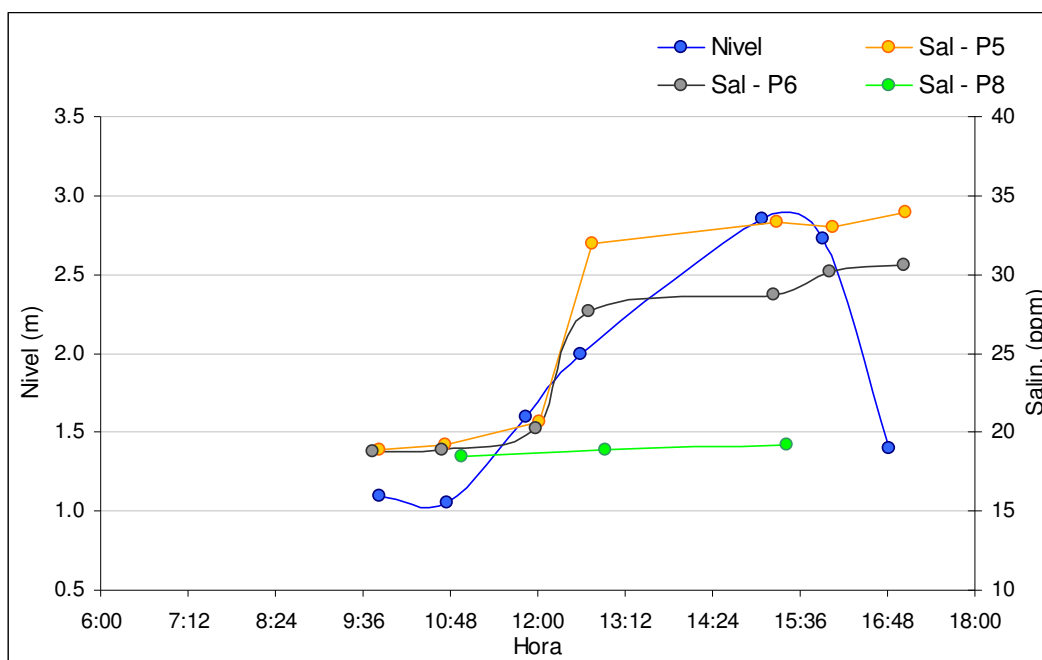


Figura 16 – Evolução dos valores de salinidade ao longo do ciclo de maré no sistema controlado pela comporta 3

4.4 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS. MODELO CONCEPTUAL

Para facilitar a apresentação da interpretação dos resultados, imaginem-se dois sistemas que comunicam entre si por uma comporta com as características das existentes entre o corpo da Ria Formosa e a zona do Ludo, tal como representado na Figura 17. Admitindo a hipótese de iniciar o sistema com um nível elevado de água do lado do Ludo (resultante, por exemplo, da drenagem da água da chuva) irá existir um fluxo de água da zona do Ludo para a zona da Ria Formosa, enquanto o nível da água no interior for superior ao exterior (uma vez que as comportas funcionam graviticamente). Atendendo a que esta situação só acontecerá algumas horas por dia, o escoamento da água do Ludo para a Ria Formosa, mesmo se se considerasse a comporta completamente estanque no que respeita à passagem de água para o interior, demoraria alguns ciclos de maré. No caso de não haver outras fontes de caudal, o nível mínimo que seria possível atingir na zona do Ludo, seria assim, correspondente ao nível de baixa-mar de águas vivas do lado da Ria Formosa.

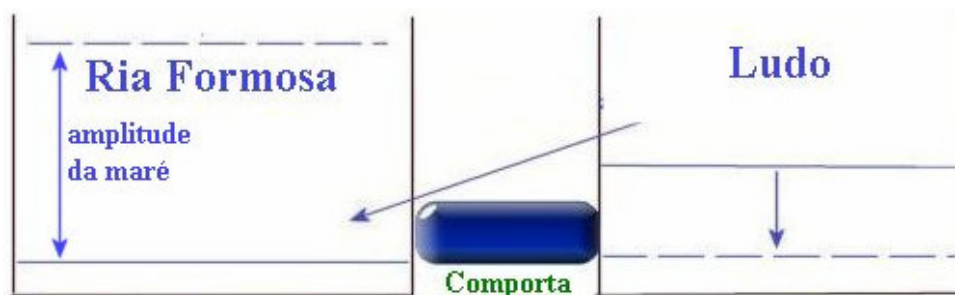


Figura 17 – Interpretação esquemática do funcionamento do sistema para situações em que o nível no interior ainda é superior ao nível de baixa-mar no exterior

Verifica-se no entanto, que existe efectivamente entrada de caudal através das comportas, verificando-se que estas não são completamente estanques. Apesar dos caudais de enchente serem baixos (como se pode constatar pelas medidas apresentadas anteriormente) eles permanecem durante muito mais tempo do ciclo de maré sendo responsáveis pelas pequenas variações de nível medidas no interior (da ordem de 10 cm no período em que foram efectuadas as medidas).

A consequência prática de um sistema deste tipo, numa zona com longos períodos sem chuva, é que o nível de salinidade no interior tenderá a baixar imediatamente após as chuvas mas, após estes eventos, tenderá sempre a aumentar até à próxima chuvada (já que a água com menor salinidade no interior tenderá em cada ciclo a misturar-se com água mais salgada vinda do exterior).

Em termos extremos, se se pensar numa situação com um longo período sem chuva, o nível no interior poderia atingir, no limite, níveis próximos do nível de baixa-mar de águas vivas. Como se seguirão períodos em que o nível da baixa-mar no exterior tenderá sempre a ser mais elevado (até à próxima maré morta) não haverá condições para a saída de qualquer caudal até esta altura tendendo o sistema a receber em cada maré mais água salgada (cf. Figura 18).

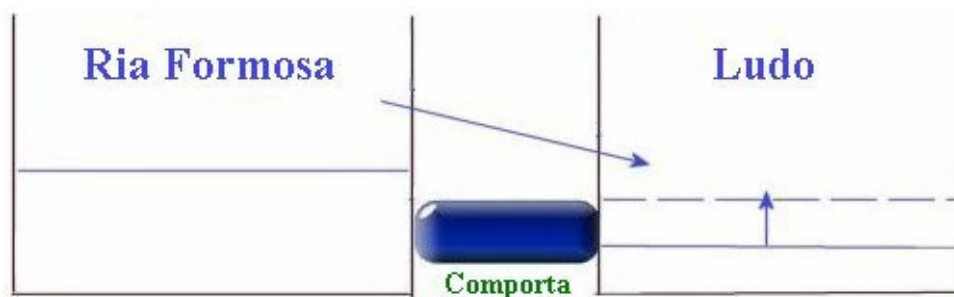


Figura 18 – Interpretação esquemática do funcionamento do sistema para situações em que o nível no interior é inferior ao nível de baixa-mar no exterior

Do ponto de vista prático, a consequência para o presente projecto de assumir como razoável este modelo de funcionamento, é a de reduzir significativamente o potencial impacte de qualquer obra que venha a ser feita no interior. As trocas de água são limitadas e os gradientes observados no interior, no que respeita às variações de nível e às velocidades das correntes potencialmente responsáveis por processos de transporte, são reduzidos e portanto menos passíveis de sofrerem alterações radicais.

A análise anterior não contempla, em qualquer dos casos, uma avaliação, que poderia ser importante, sobre a forma de escoamento dos caudais de cheia produzidos pela bacia que drena para esta zona. Este é um dos aspectos para o qual não foi possível encontrar respostas na análise das condições locais.

Aparentemente, a estrada de acesso às salinas, que corta a linha de água totalmente (a montante do Ponto 9), não tem nenhuma comporta de ligação para jusante, actuando como uma barragem de terra simples. Nesta hipótese, o escoamento da água de montante para jusante, só se poderia fazer por percolação, pela água subterrânea e através de um conjunto de valas dispersas. O facto é que, segundo testemunhos locais, mesmo após as chuvas intensas que se verificaram no final de Setembro de 2006, nem a estrada de acesso foi galgada (o que mostra uma assinalável capacidade de retenção da “barragem” constituída pela estrada), nem o nível no interior da zona de estudo subiu de tal modo que alagasse completamente a área.

Este comportamento indicia que o sistema a montante da estrada de acesso, terá uma capacidade relevante de amortecer os picos de cheia, actuando o sistema de valas de drenagem e a “barragem” constituída pela estrada, como um elemento de controle efectivo sobre os caudais que podem atingir a zona dos tanques das salinas. Este funcionamento é,

também, o mais compatível com a produção de sal, já que garante uma protecção dos tanques contra eventos de cheia.

Admitindo este modelo de funcionamento, reduzem-se de forma significativa os potenciais impactes associados à necessidade de garantir um escoamento eficiente dos picos de cheia já que, mais uma vez, por efeito da artificialização a que o sistema foi sujeito no passado, os caudais resultantes desses picos se encontram muito amortecidos na zona de intervenção do projecto e o respectivo escoamento já é completamente controlado pelas comportas existentes. Estas constituem, assim, o ponto crítico de controlo do sistema e, garantindo que a implantação do projecto não imporá restrições ao escoamento superiores às que as comportas já impõem, não são de prever impactes significativos em relação a este aspecto.

(Página intencionalmente deixada em branco)

5. AVALIAÇÃO DOS CAUDAIS DE RUNOFF

Na área do Aeroporto de Faro existem três grandes bacias hidrográficas. De Oeste para Este elas são: i) Ribeira de São Lourenço ii) Ribeira de Marchil + Ribeira do Colmeal + Ribeira do Biogal iii) Rio Seco (Figura 19).

A bacia drenante da Ribeira de São Lourenço tem uma área de aproximadamente 46 km² e estende-se desde a zona montanhosa a Este de Loulé (Goldra de Cima, Fonte da Murta e São Romão) até à zona a Oeste do Aeroporto Internacional de Faro.

O conjunto das ribeiras de Marchil, Colmeal e Biogal representam uma área global de 58 km². Estas ribeiras drenam para uma zona a Este do aeroporto, não se prevendo que tenham qualquer influência na intervenção que vai ser feita a Oeste do aeroporto.

Finalmente, a bacia do Rio Seco tem uma área de drenagem de aproximadamente 75 km². Esta bacia já está completamente fora da área de influência do aeroporto, sendo a sua foz na parte Este da cidade de Faro. Esta bacia é aqui referida pois é a única que apresenta uma estação de monitorização de caudais (Coiro da Burra). Os valores desta estação serão usados para avaliar a qualidade das estimativas de escoamento obtidas com o modelo de bacia hidrográfica para a Bacia da Ribeira de São Lourenço.



Figura 19 – Ribeiras circundantes do Aeroporto de Faro. Bacias hidrográficas obtidas com topografia da NASA-SRTM com uma malha de aproximadamente 70 metros

5.1 PRECIPITAÇÃO

De acordo com as isoietas disponíveis no Atlas do Ambiente (www.iambiente.pt), a precipitação na bacia de S. Lourenço inclui valores médios anuais de 400 mm perto da foz da ribeira e de 700 mm anuais na zona montanhosa onde nasce esta ribeira. Foram escolhidas três estações meteorológicas: Loulé, Estói e Quelfes (cf. Figura 20). Os critérios para escolher estas estações foram: i) terem valores diários de precipitação em período contínuo com a menor possível lacuna de dados; ii) estarem posicionadas próximas das bacias; e) iii) existir pelo menos uma estação de precipitação nas áreas de isoietas mais representativas nas bacias em estudo.

Após análise dos dados diários de precipitação destas estações foram estimadas as médias anuais. Conclui-se que, para o período em que todas as estações tinham dados em comum (1980-1999), as médias anuais eram de 695 mm em Loulé, 631 mm em Estói e 596 mm em Quelfes. Estes resultados parecem indicar que as variações de precipitação na área das bacias é menor do que deixaria adivinhar as isoietas do atlas do ambiente. Estas variações ainda se esbatem mais se se analisarem Loulé e Quelfes que têm mais de 60 anos de registos (desde os anos trinta até 1999). Considerando todos esses anos a média da estação de Loulé desce para 677 mm, enquanto que a média da estação de Quelfes sobe para 612 mm.

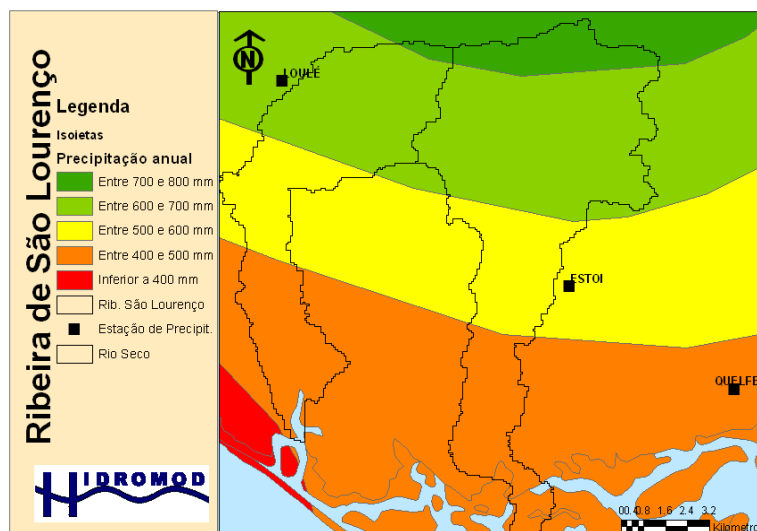


Figura 20 – Isoietas de precipitação (Atlas do ambiente) comparadas com as estações de precipitação com valores diários nas zonas das bacias hidrográficas em estudo (SNIRH)

Para a modelação dos caudais na bacia da Ribeira de São Lourenço foram usadas as três estações de precipitação. As sub-bacias dentro da área de isoietas de 400 a 500 mm estão associadas à precipitação da estação de Quelfes, as da área de isoietas de 500 a 600 mm ficaram associadas à precipitação de Estói, e, finalmente, as que estavam na área das isoietas de 600 a 700 mm ficaram associadas às estação de precipitação de Loulé.

5.2 UTILIZAÇÃO / COBERTURA DO SOLO

Para descrever a utilização/cobertura do solo, foi utilizada a carta Corine 2000. De acordo com esta carta a utilização/ocupação do solo nesta bacia é maioritariamente agrícola (76%) sendo as áreas de floresta e naturais (designadas genericamente por Floresta) cerca de 21% (cf. Figura 21). Os restantes 3% são áreas urbanas. Os usos vão determinar o *runoff*. Na prática, em termos de modelação, com base nesses usos (e no tipo de solo) foram determinados os valores das curvas CN do *Soil Conservation Service* que permitem estimar o *runoff* e a infiltração.

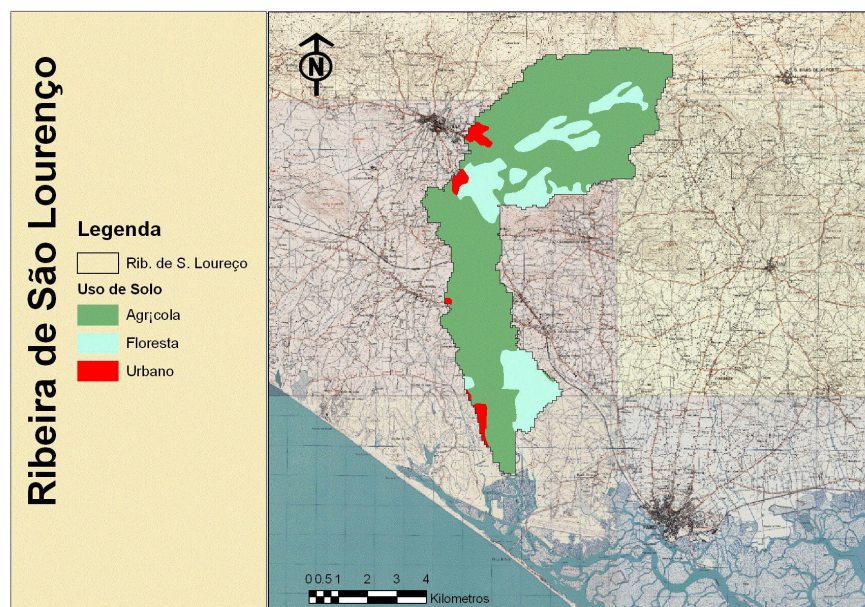


Figura 21 – Usos de Solo na bacia da Ribeira de São Lourenço (Fonte: Carta CORINE 2000)

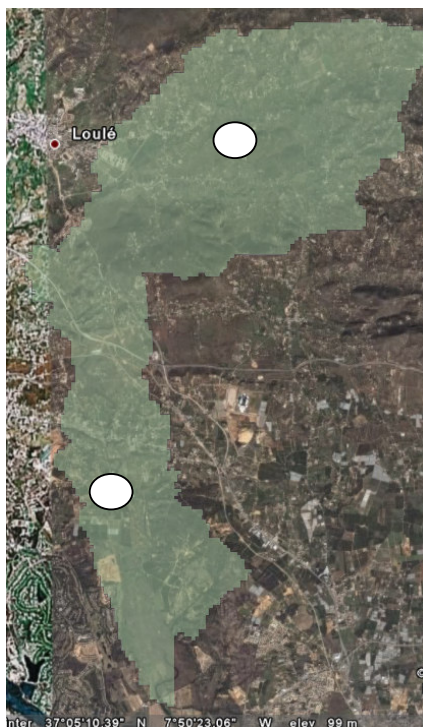
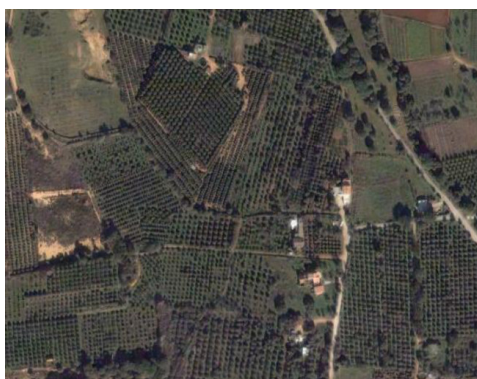


Figura 22 – Visualização da bacia sobre imagens de satélite (fonte: Google Earth). Zonas assinaladas vistas em pormenor na figura seguinte



Zona Natural na parte superior da bacia



Zona agrícola na parte inferior da bacia

Figura 23 – Pormenores das zonas assinaladas na figura anterior (fonte: Google Earth)

5.3 HIDROLOGIA

Os únicos dados de escoamento disponíveis na área estão situados na bacia do Rio Seco, onde está situada a estação hidrométrica do INAG Coiro da burra (cf. Figura 25 e Quadro 6).

Esta estação drena cerca de 37 km² da bacia do rio Seco, correspondendo a cerca de 50% dessa bacia. Estão disponíveis dados para os anos hidrológicos de 1985 a 2000 faltando o ano hidrológico de 1993. Os valores em falta nos restantes anos hidrológicos são apenas de cerca de 3%. A média de todos os valores aponta para um caudal de 0,2 m³/s.

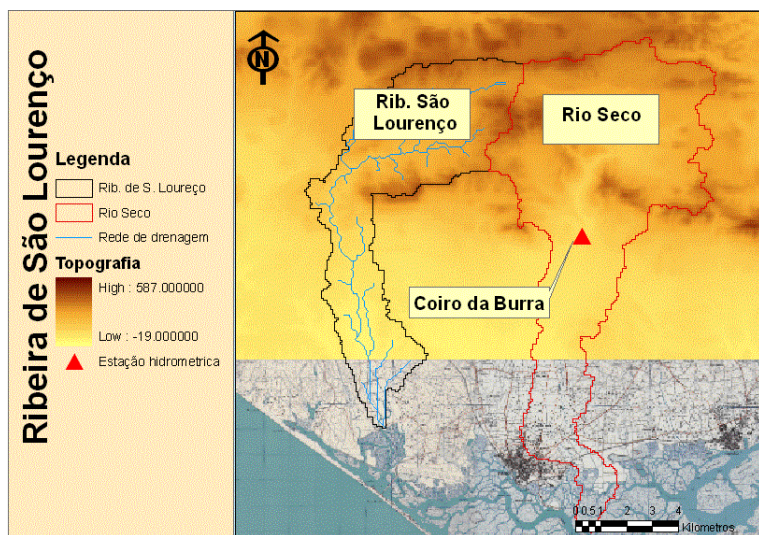


Figura 24 – Localização da estação hidrométrica do INAG situada no Rio Seco

Quadro 6 – Área drenada pelo ponto de monitorização existente no interior da bacia de drenagem do Rio Seco

Estação hidrométrica	Área drenada [km ²]
Coiro da Burra	37

Os caudais do Rio Seco serão sempre diferentes dos caudais da Ribeira de São Lourenço devido às diferenças de topografia, uso de solo, tipo de solo e clima. Contudo, a proximidade destas bacias torna-as parecidas. Nesta perspectiva compararam-se os resultados de modelação com esta estação de caudal. Na Figura 25 mostra-se que a área de drenagem da estação de caudal está maioritariamente dentro da influência das isoietas de 600 a 700 mm de chuva anuais, ao passo que a bacia da Ribeira de São Lourenço é influenciada pelas isoietas de 400 a 700 mm. Para além disso, a área de drenagem desta bacia é de 46 km² ao passo que a área do Rio Seco que drena para o Coiro da Burra é de cerca de 20% menor. Portanto, se por um lado o caudal medido no Rio Seco deveria ser maior do que o da Ribeira de São Lourenço, por esta estar em zona de maior pluviosidade, por outro devia ser menor por drenar uma menor área. Desta forma, optou-se por comparar directamente o caudal modelado na Ribeira de São Lourenço com o medido no Rio Seco.

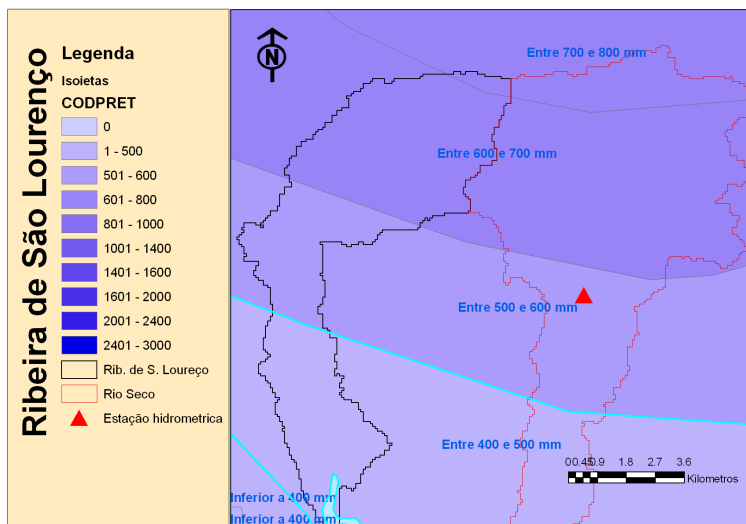


Figura 25 – Comparação das isoietas com as áreas de drenagem da Ribeira de São Lourenço e do Rio Seco

5.4 CALIBRAÇÃO DOS CAUDAIS MODELADOS PARA A RIBEIRA DE S. LOURENÇO

Embora se refira neste relatório que os caudais são medidos, na prática o que é medido é o nível, sendo convertido em caudal com base numa curva de vazão. O processo de medida dos níveis, obtenção da curva de vazão e consequente conversão de níveis em caudal está sujeito a erros. A maior parte dos erros estão relacionados com: i) perfil da secção variável ii) curva de vazão não válida para valores extremos de nível (tipicamente não são medidos caudais nos dias dos principais picos históricos de caudal) iii) curva de vazão não válida para níveis muito baixos (medição de caudal sujeita a muitos erros pois é tipicamente feita em secções naturais do rio que têm geometrias irregulares e muita vegetação ripícola). Deste modo não só as medidas ajudam a calibrar o modelo, mas também o modelo ajuda a perceber até que ponto as medições são razoáveis.

No que diz respeito ao modelo, as principais fontes de erro estão relacionadas com a falta de dados de solo para o cálculo da infiltração e também da evapotranspiração. Por isso, estes processos tiveram de ser calibrados por comparação com medidas de caudal.

5.4.1 SIMULAÇÃO INICIAL

Conforme descrito no capítulo 5.3 optou-se por comparar directamente o caudal modelado na Ribeira de São Lourenço com o medido no Rio Seco. Nas primeiras simulações verificou-se que o escoamento estava a ser sobre estimado (valor anual médio de $0,48\text{m}^3/\text{s}$ em

oposição a 0,2 m³/s das medidas). Neste sentido, o esforço de calibração foi direccionado para aumentar as perdas para o aquífero ou aumentar a evapotranspiração. De facto, estas são as únicas formas de a água sair da bacia sem ser na forma de uma caudal superficial. Uma subestimação de ambas ou de uma destas componentes é a única razão para justificar escoamentos tão baixos como os medidos no Rio Seco.

5.4.2 CALIBRAÇÃO DA RECARGA DO AQUÍFERO

No que diz respeito ao aquífero, Almeida *et al.* (2000) refere a existência de uma recarga do aquífero da Campina de Faro de cerca de 15% a 20% da precipitação. Pela análise das estações de piezometria (olhando para as que têm maiores variações de nível na Bacia da Ribeira de São Lourenço), verifica-se variações de nível de vários metros estando o aumento desses níveis (ou seja diminuição da profundidade do aquífero conforme Figura 27) associado aos meses de Outono-Inverno, onde normalmente se concentra grande parte da precipitação.

Desta forma, fixou-se que a água percolada contribuía com 80% da água para o aquífero. O resultado do modelo foi de uma recarga do aquífero de cerca de 17% da precipitação, o que está dentro dos valores referidos por Almeida *et al.* (2000). Contudo, o caudal anual médio continua cerca do dobro do que o medido.

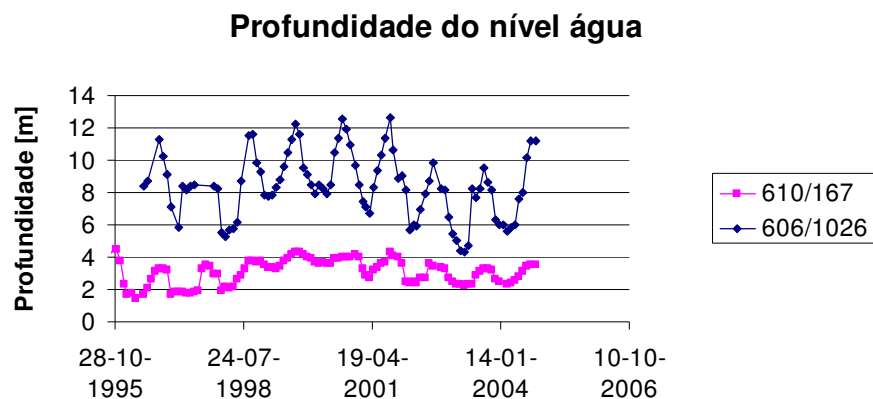


Figura 26 – Profundidade do nível do aquífero medida pelas estações de piezometria disponíveis no SNIRH

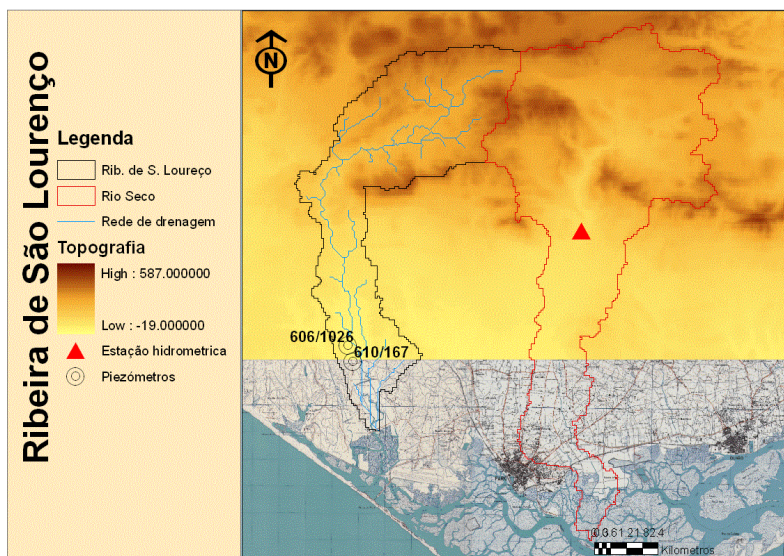


Figura 27 – Estações de piezometria na Bacia da Ribeira de S. Lourenço (Fonte: SNIRH)

5.4.3 CALIBRAÇÃO DO *RUNOFF*

Uma das principais incertezas neste estudo está associada ao tipo dos solos, pois não foi possível encontrar dados detalhados de solo para esta zona. Apenas foi possível aceder a dados de textura do solo. Com base nesses dados, e usando funções de pedotransferência, determinaram-se os parâmetros hidráulicos do solo necessários à hidrodinâmica do modelo. Com base nesta metodologia, determinaram-se valores de condutividade baixos no solo ficando os solos caracterizados como mal drenados, o que não deverá ser verdade, pelo menos não na maior parte da bacia. As elevadas percentagens de recarga do aquífero parecem confirmar esta conclusão.

Perante isto, diminui-se o potencial de *runoff* dos solos baixando o valor das curvas CN 25%. A Figura 28 mostra a dinâmica dessa alteração na forma de valores médios em milímetros (para um período de 70 anos) para mais facilmente comparar com a precipitação da bacia (valor médio de 650 mm para um período de 70 anos).

Para melhor se interpretar o gráfico deve ter-se em consideração que o que precipita é igual ao *runoff* mais o que infiltra (que no gráfico aparece dividido em duas componentes o que é percolado e o que evapotranspira). Daquilo que é percolado, uma componente vai para água subterrânea próxima da superfície (e mais tarde alimenta o rio com um escoamento de base) e outra é um aquífero profundo. Finalmente, o escoamento é o resultado da soma da água subterrânea mais o *runoff*.

Verifica-se, assim, que esta alteração levou a uma redução de cerca de 200 mm para 70 mm de *runoff*. Os 130 mm de diferença passaram a ser infiltrados. Cerca de metade deste acréscimo de infiltração foi evapotranspirado e a outra metade foi percolada. Do que foi percolado, a maior parte (80% tal como foi imposto anteriormente) foi para o aquífero profundo não contribuindo para o caudal. Desta forma, estimou-se um caudal médio de cerca de 0,26 m³/s.

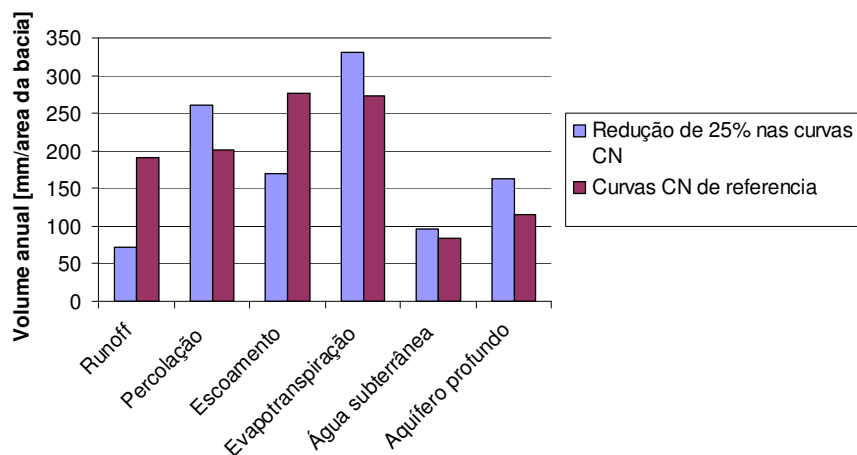


Figura 28 – Volumes anuais escoados na bacia simulados com o modelo SWAT (valores em milímetros por área da bacia, converte-se para m³ convertendo primeiro os mm em metros e multiplicando pela área da bacia em m²)

Para avaliar a precisão na previsão de fluxos, foi usado o coeficiente de Nash-Sutcliffe onde 1 é o melhor valor, zero é um resultado aceitável em média e resultados negativos são considerados maus. Em termos diários a eficiência estimada é de 0,13, mas em termos mensais, atingem-se valores de 0,52 (cf. Figura 29). O coeficiente de Pearson é de 0,26 para os resultados diários e cerca de 0,56 para os resultados mensais.

A Figura 29 mostra que as maiores divergências entre modelo e medidas ocorrem nos anos com mais baixos caudais. Nesses anos o máximo mensal atingido pelo modelo é à volta de 0,5 m³/s, enquanto nas medidas esses valores ficam abaixo dos 0,1 m³/s de máximo mensal.

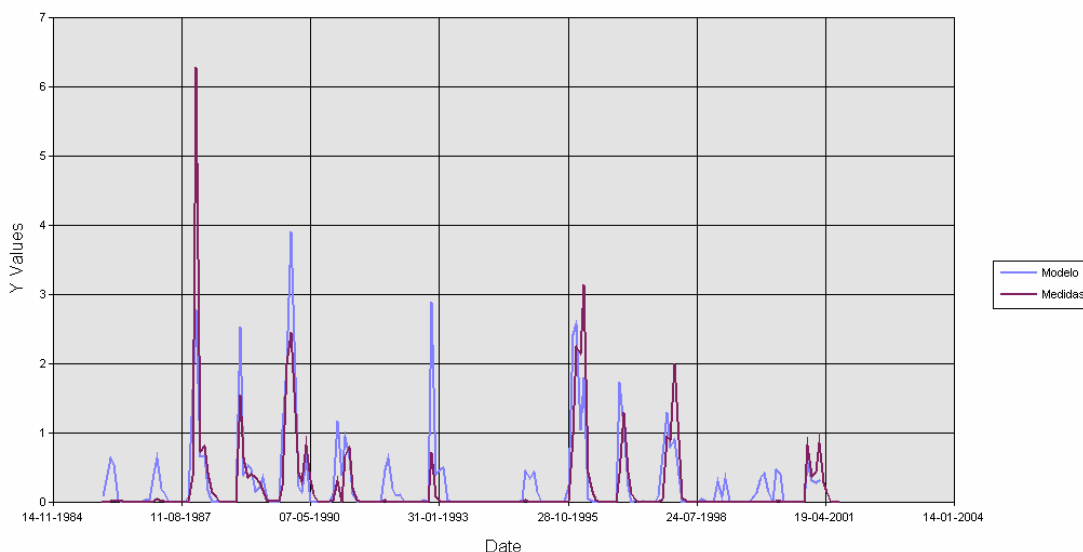


Figura 29 – Caudais (médias mensais) medidos (Rio Seco) e simulados (Ribeira de S. Lourenço)

5.5 CAUDAIS MEDIDOS / CAUDAIS SIMULADOS

Analisando a Figura 30 verifica-se que, de uma forma geral, os picos simulados pelo modelo são superiores aos detectados pelas medidas. De notar ainda que, por exemplo no dia 15-12-1987, apresenta-se um caudal de cerca de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ que foge desta tendência (este valor é aliás o valor histórico mais alto de acordo com os níveis medidos e curva de vazão estimada pelo INAG). Contudo, convertendo este valor médio diário num volume de água e dividindo pela área da bacia da estação de monitorização, conclui-se que era necessária uma precipitação de 167 mm para atingir esse caudal médio diário.

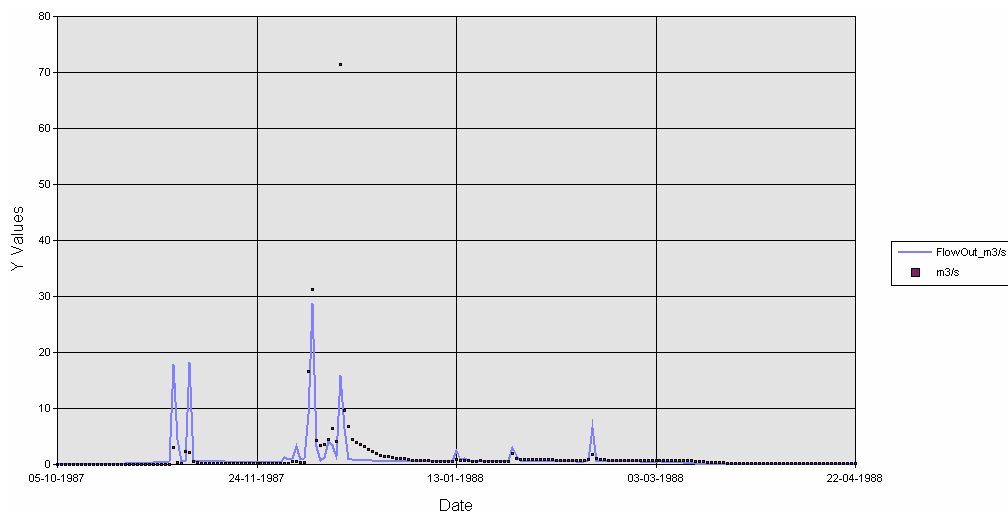


Figura 30 – Comparação dos caudais simulados na Ribeira de São Lourenço (linha azul) e medidos pelo INAG (quadrados) no Rio Seco (fonte: SNIRH)

As estações de precipitação próximas (Loulé, Estói e Quelfes) mostram para esse dia precipitações inferiores a 60 mm e nos dias anteriores inferiores a 20 mm. Este comportamento pode ser explicado pelas limitações das curvas de vazão. De facto, constata-se que nesse dia foi medido o nível mais elevado dessa estação (cf. Figura 31), o que pode indicar que a curva de vazão sobre-estima o caudal para os valores extremos de altura de água. De notar que, por exemplo, no ano hidrológico seguinte se atingem valores máximos diários de precipitação superiores aos desse ano (Loulé – 118 mm, Estói - 93 mm e Quelfes - 76 mm), mas os caudais estimados com a curva de vazão foram inferiores a 20 m³/s. Esta tendência repete-se para vários anos hidrológicos.

Constata-se, ainda, que não existe um nível de base mínimo (que corresponde às épocas onde não há escoamento ou existe apenas um escoamento de base proveniente do solo ou do aquífero), variando este de ano para ano. Isto parece mostrar que não existe um nível de referência tornando, deste modo, a aplicabilidade da curva de vazão (com a qual se obtém o caudal com base no nível), mais limitada e sujeita a erros.

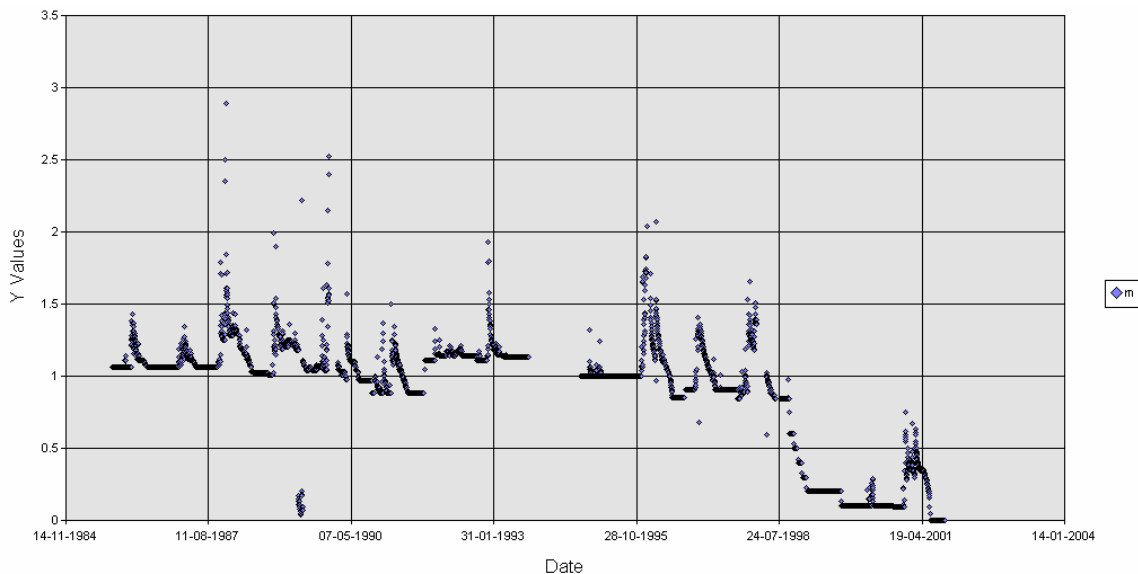


Figura 31 – Níveis medidos pela estação de caudais do INAG (fonte: SNIRH)

5.6 CAUDAIS MÁXIMOS ESPERADOS

Numa série de precipitações de 1931 até 2000 (Loulé), o valor máximo diário registado foi de 130 mm (30-11-1949). Considerando este máximo histórico, pode dizer-se que se toda

essa precipitação fosse transformada em caudal, daria um caudal médio diário máximo de 69.2 m³/s (considerando que nada se infiltrava).

Mesmo assim este valor fica ligeiramente abaixo do caudal máximo histórico medido no Rio Seco. Isto reforça a ideia de que esse valor está provavelmente sobrestimado. No Quadro 7 é apresentada comparação entre os valores modelados e os medidos dos caudais diários máximos possíveis na Ribeira de São Lourenço. De notar que, os máximos anuais apresentados nas medidas e no modelo, podem não ser no mesmo dia. Quer no caso do modelo, quer no caso das medidas (se se ignorar o valor de 71,4 m³/s) esse máximo parece ser da ordem dos 40 m³/s.

Quadro 7 – Média diária máxima por ano hidrológico no ponto de monitorização existente no interior da bacia de drenagem do Rio Seco (Máximo estimado com dados do SNIRH). Apresenta-se ainda resultados de modelação para a Ribeira de São Lourenço, para efeitos de comparação (no caso do modelo foram sempre simulados todos os dias do ano)

Ano Hidrológico	Média diária máxima [m ³ /s]	Número de dias com medidas	Caudal máximo estimado com o modelo SWAT para Ribeira de São Lourenço
1985	0.2	359	5.4
1986	0.3	365	1.9
1987	71.4	366	27.9
1988	13.7	365	21.5
1989	19.8	305	37.6
1990	8.9	365	11.8
1991	1.0	366	8.2
1992	4.9	365	35.1
1993	-	-	21.4
1994	0.8	365	5.9
1995	39.4	341	16.0
1996	2.8	352	10.7
1997	7.4	299	7.7
1998	0.0	365	4.1
1999	0.3	366	2.9

6. MODELAÇÃO DOS PROCESSOS HIDRODINÂMICOS

A implementação de um modelo numérico, teve como objectivos principais descrever os processos de transporte que condicionam o tempo de residência da água na zona do Ludo e confirmar e aprofundar o modelo conceptual resultante da análise dos dados de campo.

No capítulo anterior foi feita uma descrição das escorrências associadas à bacia hidrográfica da Ribeira de São Lourenço localizada a montante da zona de estudo (*cf.* Figura 32 - *polígono azul claro*). A caracterização dos processos hidrodinâmicos centrou-se na zona do Ludo (*cf.* Figura 33).



Figura 32 – Bacias hidrográficas que contribuem directamente com água doce para a zona de estudo. Polígonos a azul claro e a castanho representam as bacias



Figura 33 – Zona de aplicação do modelo hidrodinâmico e de transporte

6.1 PASSAGEM HIDRÁULICA

Com base nos dados de campo foi possível concluir que as trocas de água entre a zona do Ludo e o estuário são condicionadas de forma dominante pela passagem hidráulica n.º 1 assinalada na Figura 1 e mostrada com maior detalhe na Figura 2. Tendo em conta este facto, foi implementado no sistema MOHID no conceito de passagem hidráulica. O caudal numa passagem hidráulica pode ser calculado aplicando a equação de Bernoulli ajustada por um parâmetro empírico C.

$$Q = C \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H} \quad (1)$$

Em que ΔH representa a diferença de nível entre as duas faces da passagem hidráulica, g a gravidade, A a área e C um coeficiente empírico.

Tendo em conta a configuração da passagem hidráulica assumiu-se uma área igual a 3 círculos de 1 m de diâmetro. A diferença de nível é obtida directamente do modelo numérico. O coeficiente C quando a água corre da zona do Ludo para o exterior assumiu-se igual a 1, na direcção contrária assumiu-se igual a 0.033. Este último coeficiente foi o resultado do processo de calibração do modelo e apresenta um menor valor porque quando a água corre do estuário para a zona do Ludo as comportas tendem a fechar com o movimento da água (*cf.* Figura 2). No entanto, como já foi tido anteriormente estas comportas não são totalmente estanques.

6.2 DOMÍNIO DO MODELO

No capítulo “Breve análise das condições actuais”, é feita uma breve descrição da zona do Ludo, podendo fazer-se uma divisão desta zona em dois subsistemas que não comunicam entre si: um situado mais a Oeste (zona A da Figura 34) e um mais a Este, adjacente ao aeroporto (zona B+C da Figura 34). Estes subsistemas encontram-se intersectados a montante por uma estrada.

Como foi dito anteriormente as trocas de água entre o estuário (zona D da Figura 34 e a zona do Ludo Este (zona B+C da Figura 34) são controladas de forma dominante pela passagem hidráulica nº 1 (*cf.* Figura 1). As zonas identificadas como B e C na Figura 34 estão divididas por um dique que intersecta a Norte a estrada que limita a zona de estudo a montante. Este dique não divide, no entanto, totalmente as duas zonas existindo perto do Aeroporto um canal de comunicação entre elas.

Assim, de uma forma simplificada pode dividir-se a área de estudo em 4 zonas:

A – subsistema Oeste da zona do Ludo;

B – pertence ao subsistema Este da zona do Ludo e troca directamente água com o estuário de forma dominante pela passagem hidráulica n.º1;

C – pertence ao subsistema Este da zona do Ludo e é adjacente ao aeroporto;

D – zona exterior ou estuário.

Optou-se por definir um domínio para o modelo que permitisse estudar de forma detalhada os processos de transporte nas zonas B+C, uma vez que estas são as que potencialmente serão mais influenciadas pela solução de projecto a implementar. Desta forma, o limite Norte do domínio do modelo coincide aproximadamente com a estrada que limita a zona de interesse a montante. A jusante foi necessário integrar a zona do estuário (D) adjacente à zona B, de forma a ser possível simular de forma dinâmica os processos que ocorrem na passagem hidráulica. Optou-se, também, por integrar a zona A de forma a ser possível no futuro também estudar esta zona.

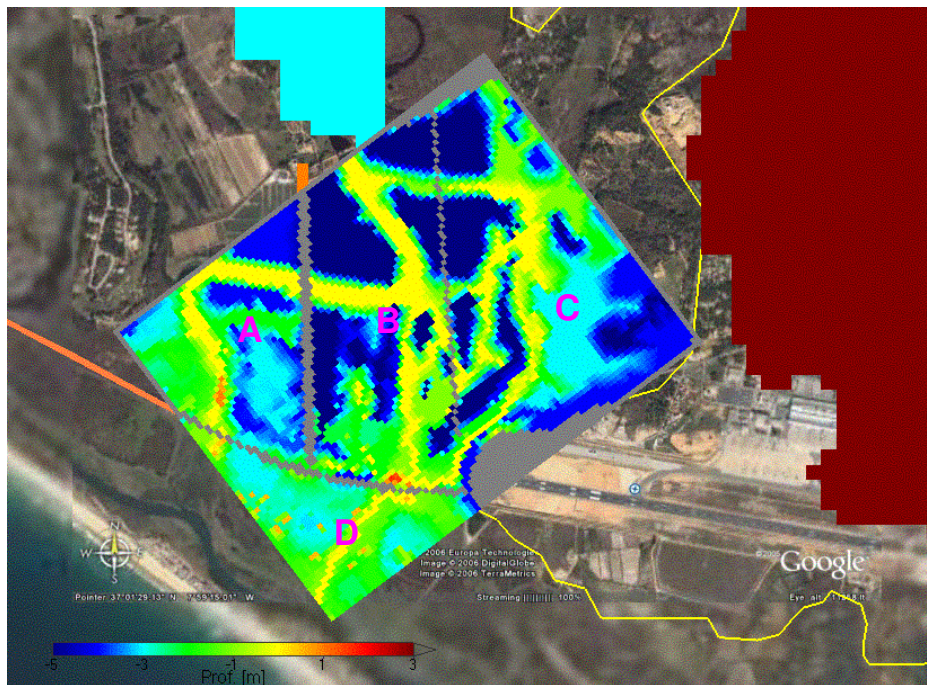


Figura 34 – Domínio do modelo numérico implementado para estudar em detalhe os processos de transporte

6.3 CENÁRIOS SIMULADOS

Optou-se por simular 2 cenários, o primeiro cenário (Cenário 1) teve por objectivo simular os processos que ocorreram no sistema nos quinze dias antes (1ª parte) e depois (2ª parte) do dia 21 de Novembro de 2006, quando foram recolhidos os dados de campo. Aproximadamente 15 dias antes do dia das medidas ocorreu precipitação intensa e residentes locais afirmaram que o nível na zona de estudo subiu de forma evidente. Como

condição inicial, admitiu-se para o nível 2 m no interior da zona (0,5 a 1 m acima do nível normal que ocorre nesta zona) e uma salinidade de 5 psu. Basicamente, estimou-se uma condição inicial que reflectisse qualitativamente, o efeito de um evento forte de precipitação.

O Cenário 2 teve como objectivo estudar a renovação de água na zona de Ludo em condições extremas de caudal.

6.4 HIDRODINÂMICA – CENÁRIO 1

Em termos hidrodinâmicos a análise dos resultados mostra que o nível na zona do Ludo não varia significativamente no espaço. Os valores de nível na estação P2 e P9 ao longo de 1 mês de simulação mostram que as duas curvas são praticamente coincidentes (*cf.* Figura 35). O nível na zona de estudo tende para níveis semelhantes aos registados em baixa-mar na zona exterior. Desta forma o nível na zona de estudo é máximo em maré morta e mínimo em maré viva. Os níveis medidos no dia da campanha de dia 21 de Novembro de 2006 confirmam os resultados do modelo numérico, uma variação de nível da ordem de 2 metros na zona exterior adjacente à passagem hidráulica e nível quase constante na zona interior (*cf.* Figura 36).

No caso do cenário 1 a condição inicial para o nível é de 2 m. No entanto, o nível na zona de estudo tende de forma rápida (3 dias) para valores da ordem de grandeza dos níveis registados em baixa-mar no estuário (*cf.* Figura 35).

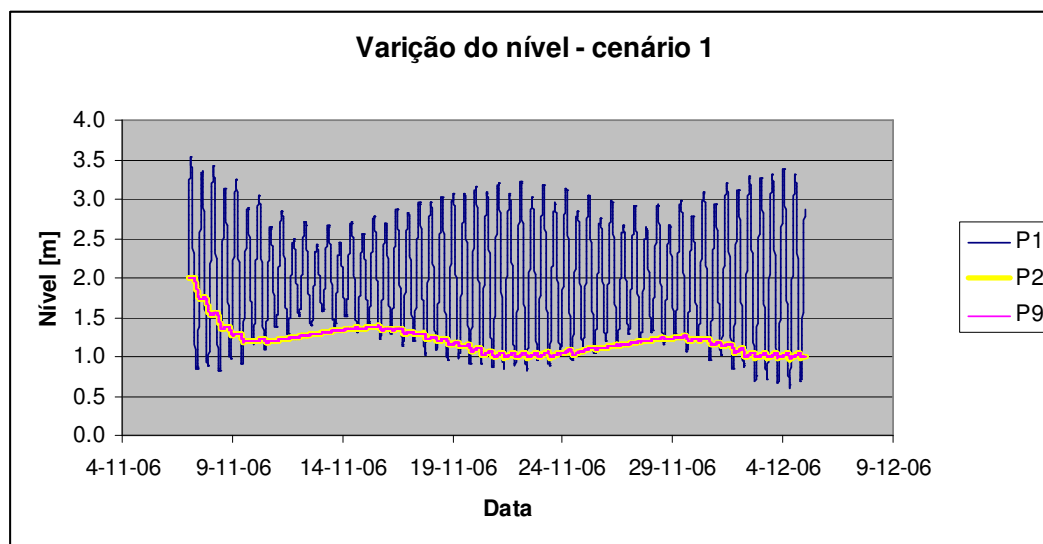


Figura 35 – Variação de nível ao longo do cenário 1 nos pontos de medida P1, P2 e P9

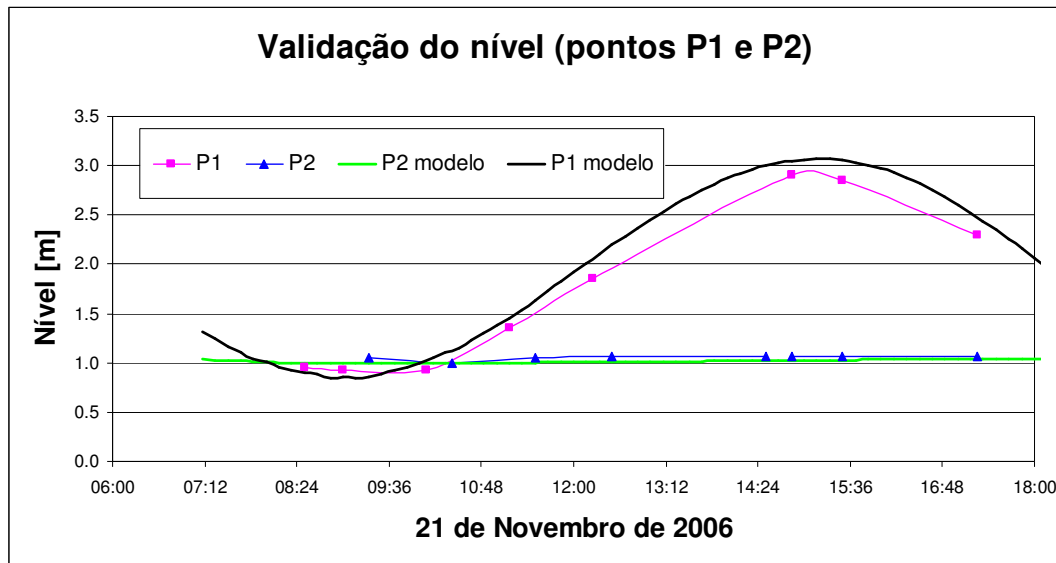


Figura 36 – Comparação dos níveis obtidos com o modelo numérico com as medidas feitas nos pontos P1 e P2

Outro parâmetro hidrodinâmico medido foi o caudal próximo da passagem hidráulica n.º1. Na Figura 37 apresenta-se a variação de caudal obtido com o modelo para a passagem hidráulica já referida. Nesta figura os caudais são positivos quando o escoamento é da zona do Ludo para o estuário e negativo no caso contrário. Inicialmente os caudais atingem valores máximos da ordem dos 10 m³/s. Estes valores devem-se ao facto de este período corresponder a uma situação de maré viva e a condição inicial de nível não se encontrar em equilíbrio. Neste período inicial o nível passou de um valor da ordem de 2 m para 1 m em 3 dias.

Nos períodos de maré viva seguintes os valores são da ordem de 4 m³/s que é valor semelhante ao medido *in situ* (cf. Quadro 1). Nos períodos de maré morta os caudais da zona interior para o estuário tendem a ser mais baixos ou então nulos. O escoamento nesta direcção tende a ser nulo porque existem ciclos de maré que a baixa-mar no exterior tende a ter um nível ao longo de todo ciclo de maré sempre mais alto que o nível interior. Por outro lado, o nível na zona exterior tem sempre períodos de maré em que o nível é maior que o nível no interior. Neste caso em todos os ciclos de maré existe escoamento do estuário para o interior. O escoamento nesta direcção tende a ser mais persistente mas menos eficaz, para o mesmo gradiente de nível a passagem hidráulica, em causa, gera um caudal uma ordem de grandeza maior numa direcção que na direcção contrária.

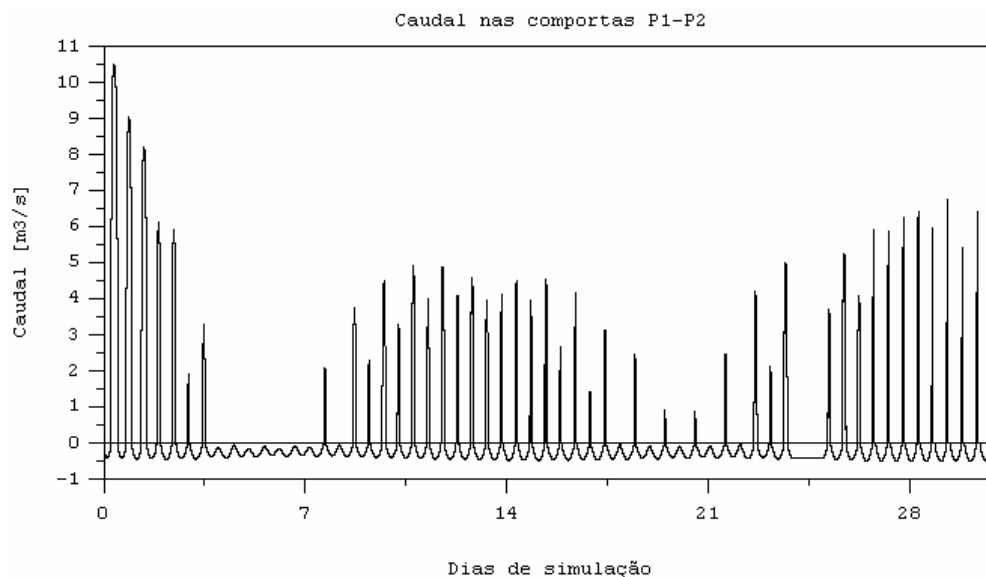


Figura 37 – Variação do caudal simulado para as comportas localizadas entre os pontos P1 e P2

A comparação da série de caudais medidos na passagem hidráulica n.º1 no dia 21 de Novembro de 2006 apresenta uma variabilidade temporal muito semelhante à obtida com o modelo (cf. Figura 38): Caudais intensos (~4 m³/s) na direcção zona do Ludo – estuário ao longo de períodos curtos (2 horas) e caudais reduzidos (0.3 m³/s) e ao longo de período mais extenso (10 horas).

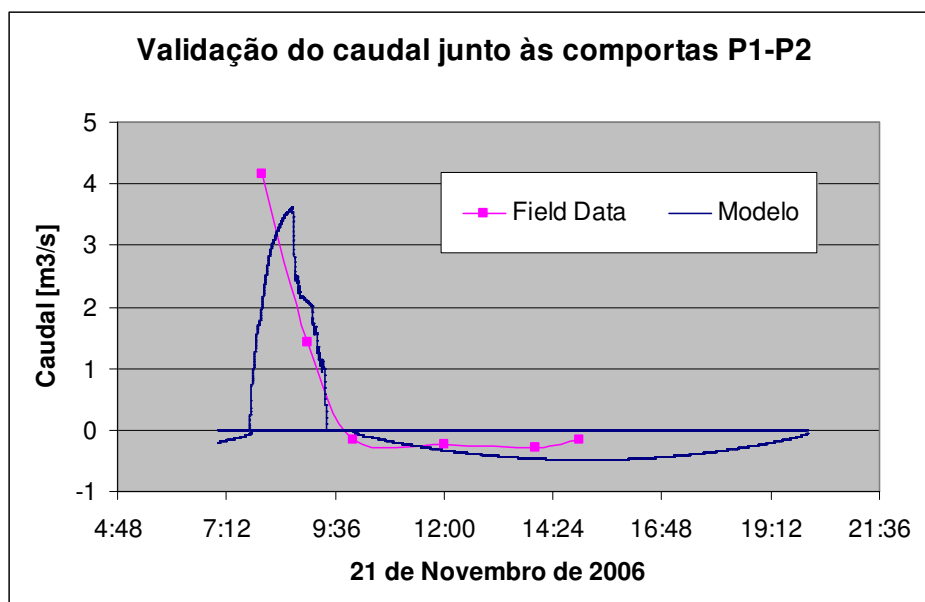


Figura 38 – Comparação do caudal simulado com medidas feitas para as comportas localizadas entre os pontos P1 e P2

6.5 SALINIDADE – CENÁRIO 1

Para o caso do cenário 1 foi simulado o transporte de salinidade admitindo como condição inicial um valor de 5 psu em todo o domínio e 36 psu como condição de fronteira do lado da Ria Formosa. Esta simulação teve por objectivo perceber se o gradiente espacial gerado pelo modelo apresentava valores semelhantes aos valores medidos. A evolução da salinidade dos pontos P2 e P9 mostra que para o dia 21 de Novembro de 2006 a diferença de salinidade entre os dois pontos foi da ordem de 10 psu. O valor médio medido em P2 foi 30 psu e em P9 foi 20 psu (Figura 39). Os valores absolutos são diferentes porque a condição inicial de 5 psu foi uma condição qualitativa que apenas pretendia iniciar o modelo com uma condição que reflectisse de forma qualitativa uma forte afluência de água doce ao sistema quinze dias antes da campanha de medidas.

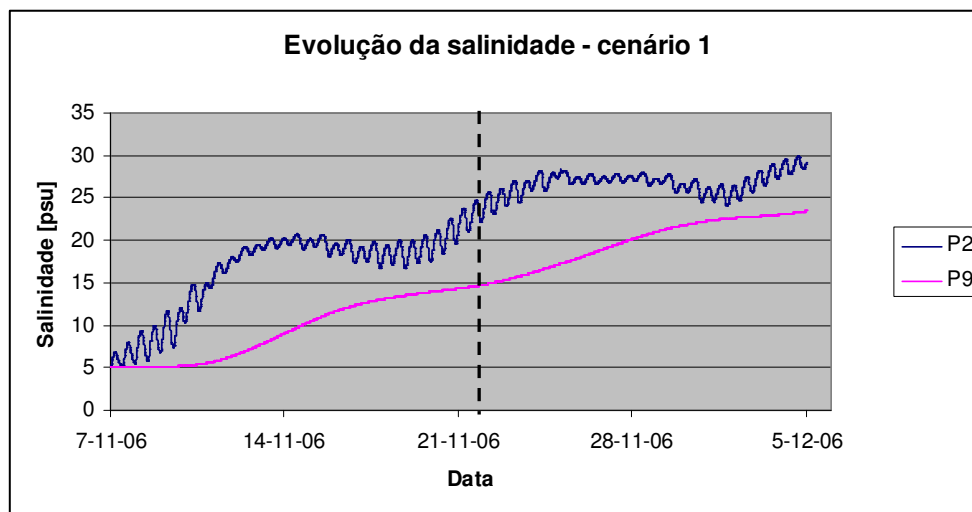


Figura 39 – Evolução da salinidade nos pontos P2 e P9 ao longo da simulação do cenário 1

6.6 RENOVAÇÃO DE ÁGUA

Em termos de qualidade da água é importante perceber, para diferentes condições, o tempo que a água na zona de estudo demora a ser renovada. Em ambos os cenários, foram obtidos resultados que ilustram a capacidade de renovação de água por parte do sistema.

6.6.1 CENÁRIO 1

No caso do cenário 1 foi feita uma simulação em que foi monitorizada a água que se encontrava no exterior da zona de estudo no instante inicial da simulação. O principal objectivo deste tipo de simulação é perceber de que forma esta água se vai misturar com a

água que inicialmente se encontrava no interior da zona de estudo. Para este cenário as simulações foram divididas em duas partes: a primeira começa a 7-11-2006 e termina a 21-11-2006; a segunda fase começa a 21-11-2006 e termina a 7-12-2006. Na realidade trata-se da mesma simulação que deu origem aos resultados de hidrodinâmica e salinidade analisados anteriormente. Na primeira parte a água que inicialmente se localiza no exterior é “marcada virtualmente” e a sua evolução é seguida ao longo de quinze dias (até 21-11-2006). No início da segunda parte a água que inicialmente se encontra no exterior é de novo “marcada virtualmente” e a sua mistura com a água do interior é monitorizada de novo ao longo de 15 dias.

O resultado obtido destas simulações é a %, ao longo do tempo, da água que no início de cada parte se encontrava fora da zona do Ludo. No instante inicial este valor na zona de estudo é 0% e 100% na zona exterior (Figura 40).

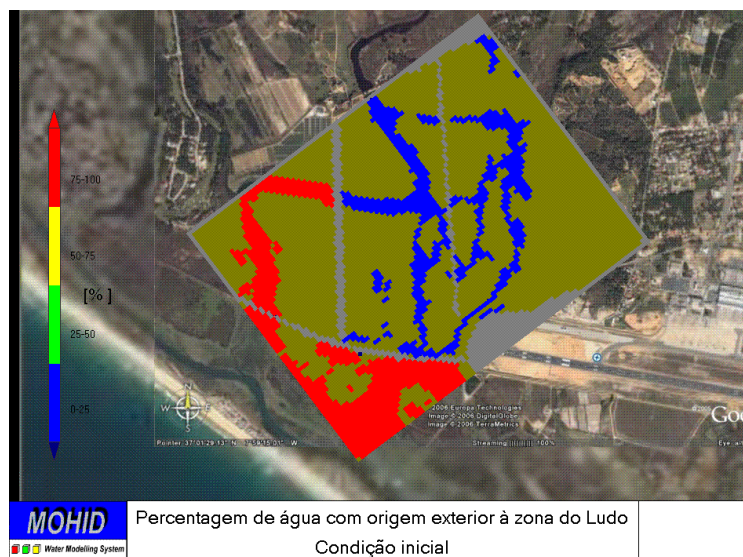


Figura 40 – Condição inicial para a percentagem de água com origem no exterior da zona de estudo

A 1.^a parte do cenário 1 visa reproduzir os processos de transporte que ocorrem depois de terminar uma intensa afluência de água doce que faz variar o nível na zona de estudo de 1 metro. Os resultados mostram que neste caso ao fim de 15 dias a zona B (cf. Figura 34) tem entre 25 e 50% de água que se encontrava no exterior da zona C (cf. Figura 34). Só a área adjacente ao aeroporto tem percentagens entre 25 e 50%. A zona mais a montante tem percentagens inferiores a 25% (cf. Figura 41)

A 2.ª parte representa uma situação em que as aflúências de água doce não influenciam a hidrodinâmica ou seja o nível. Neste caso os processos de transporte são apenas condicionados pela maré e ao fim de 15 dias a metade mais a jusante da zona B apresenta percentagens de água com origem no exterior entre 50 e 75% (cf. Figura 41). A metade mais a montante tem percentagens entre 25 e 50%. Por fim, a zona C na área adjacente ao aeroporto apresenta valores entre 50 e 75%. Na zona mais a montante as percentagens são inferiores a 25%. Nesta situação a batimetria utilizada tende a isolar as zonas mais a montante da zona C. Tendo em conta a falta de dados de base para definir com rigor a batimetria actual não é possível afirmar se esta tendência é realista ou não.

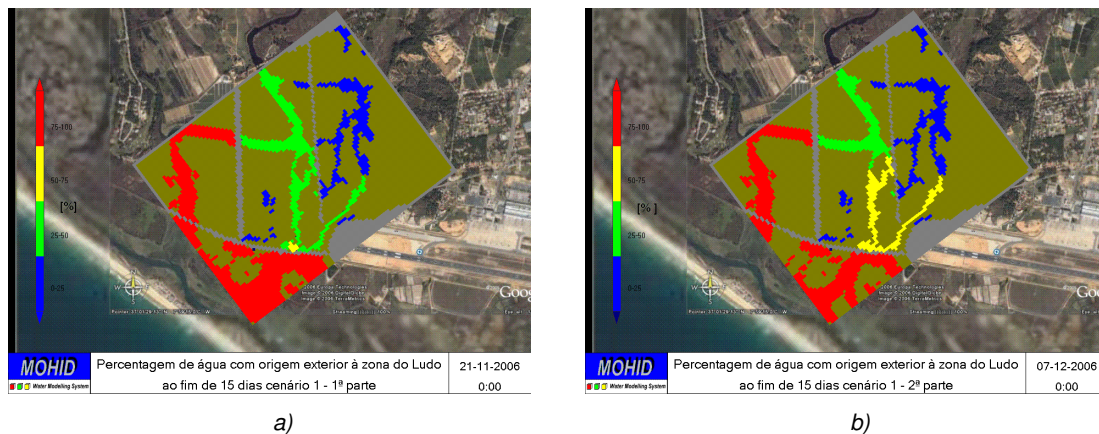


Figura 41 - Percentagem de água com origem no exterior da zona de estudo ao fim de 15 dias : a) 1ª parte; b) 2ª parte.

6.6.2 CENÁRIO 2

O cenário 2 visa quantificar o tempo que demora, numa situação extrema de aflúência de água doce, o sistema a renovar a água presente na zona de estudo. Neste caso foi “marcada virtualmente” a água que inicialmente se encontrava dentro de todo o domínio. Foi imposta uma aflúência de 10 m³/s repartida em igual proporção (2 x 5 m³/s) entre duas descargas nas zonas mais a montante da zona B e da zona C. Neste caso foi calculada ao longo do tempo a percentagem de água que inicialmente se encontrava dentro do domínio. Os resultados mostram que a água que inicialmente se localizava na zona de estudo, para este evento extremo de caudal, ao fim de 3 dias é totalmente renovada (cf. Figura 42).

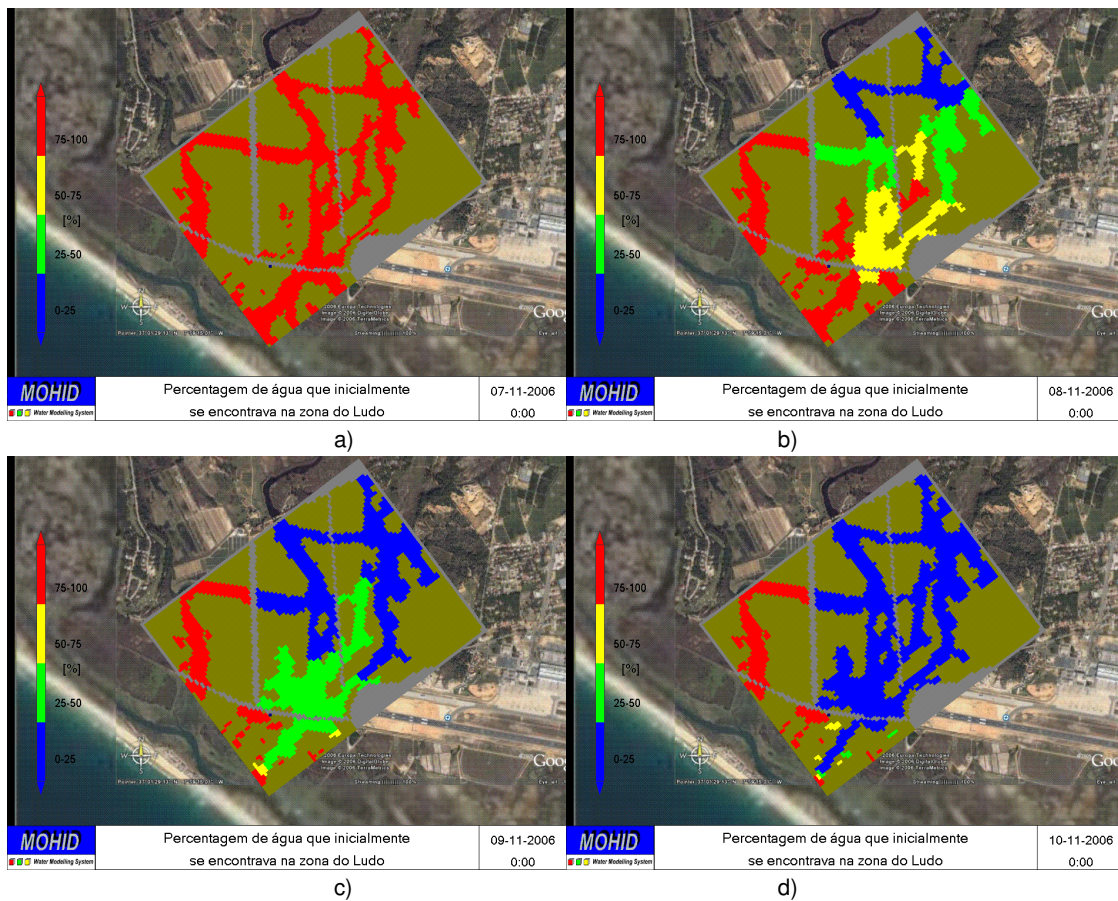


Figura 42 – Percentagem de água que no início da simulação se encontrava no interior do domínio

Concluindo, o modelo implementado para a zona, permitiu explicar de forma coerente os valores medidos, quer no que respeita às variações de nível, quer no que respeita às variações de salinidade. Verifica-se assim, que as alterações de nível e salinidade dependem, por um lado, do funcionamento da comporta, que constitui assim um elemento crítico do sistema, e, por outro lado, de eventos de precipitação intensos que contribuem, pontualmente, para um incremento do nível acompanhado da redução da salinidade. No entanto, como mostram os resultados do modelo (e os relatos recolhidos no local), após a ocorrência destes picos de precipitação, o escoamento do volume de água acumulado nestas situações faz-se de forma relativamente rápida.

A análise da solução de projecto (cf. Figura 43), mostra que as estacas ocuparão uma área bastante reduzida e somente um pequeno número será localizada em zonas que possam potencialmente interferir com o escoamento nos esteiros. Embora não exista um mapeamento detalhado da zona, de acordo com a solução de projecto apresentada, é expectável que as estacas que podem vir a estar nestas condições sejam essencialmente

as n.º 1, 6, 10, 16 e 19, sendo que estas duas últimas em qualquer caso já deverão estar localizadas nas margens do esteiro e a n.º 10, por se localizar no centro do canal de maiores dimensões, não terá condições para produzir alterações do escoamento que irá para além de uma interferência local.

A estaca n.º 6 localizar-se-á no topo de um dos esteiros pelo que a sua interferência com o escoamento também deverá ser limitada. No caso da estaca n.º 1, como se localizará na zona de um esteiro com largura reduzida, este problema poderá ser mais relevante. No caso de se verificar que efectivamente a estaca ocupará uma área do esteiro que possa ser suficiente para produzir alterações no escoamento, deverão ser tomadas medidas no sentido de o alargar de forma a garantir a permanência da secção de escoamento. Esta acção terá sempre uma expressão limitada e terá um **impacte reduzido** com um âmbito meramente local.

Pode assim concluir-se que, no que respeita à hidrodinâmica, os impactes sendo incertos (já que dependerão do grau de interferência das estacas com o escoamento), a existir, terão uma incidência directa mas serão de magnitude reduzida, pouco significativos e terão sempre uma dimensão local (restringida à área próxima das estacas).

(Página intencionalmente deixada em branco)

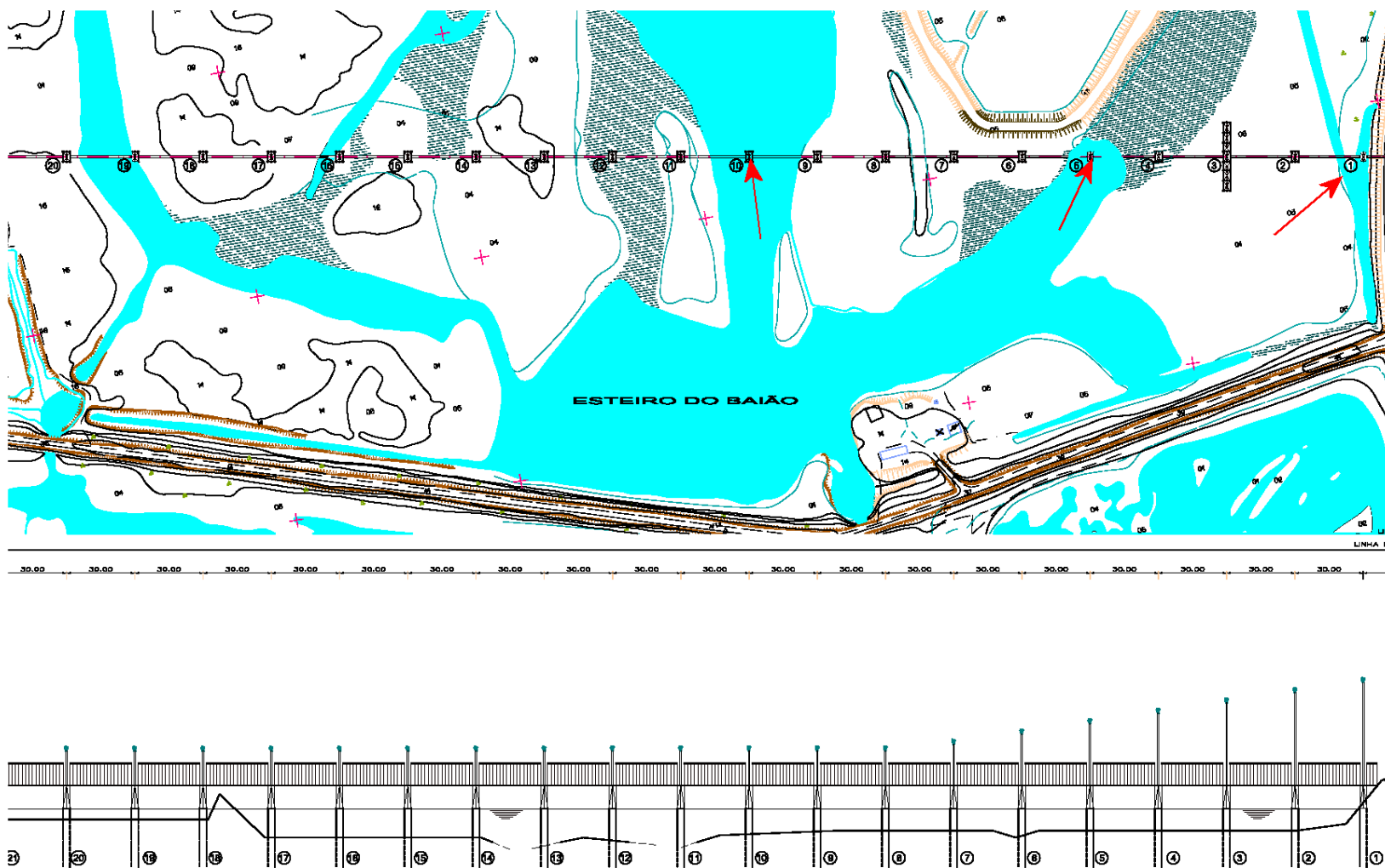


Figura 43 – Plano de alinhamento das estacas

(Página intencionalmente deixada em branco)

6.7 ANÁLISE DOS IMPACTES NA DINÂMICA SEDIMENTAR

A análise dos impactes nos processos de transporte sedimentar, por falta de uma base de conhecimento das características dos sedimentos locais e em face do conhecimento limitado da geometria dos esteiros, tanques e canais, terá de ser efectuada com base na análise e avaliação qualitativa dos processos hidrodinâmicos, apresentada anteriormente.

Em qualquer caso, tendo-se concluído que os impactes sobre a hidrodinâmica decorrentes da implementação de projecto serão reduzidos, é igualmente seguro afirmar que também serão reduzidos os impactes sobre a dinâmica sedimentar (pelo menos numa óptica de médio-longo prazo).

No que respeita aos impactes de curto prazo (incluindo nesta categoria o período de construção), em função da natureza dos sedimentos (maior ou menor percentagem de lodo e respectivo grau de compactação) e do processo de cravação das estacas (especialmente em termos de transporte e colocação do equipamento no local) poderão ocorrer processos de mobilização de sedimentos que se poderão traduzir num aumento local e temporário da turbidez.

Em qualquer dos casos, dado que o sistema apresenta sempre correntes de magnitude reduzida, não é provável que este aumento de turbidez, a acontecer, tenha condições para afectar uma zona com um carácter mais alargado do que o próprio local. Como é evidente, tal como já se referiu a propósito da análise dos processos hidrodinâmicos, este aspecto será mais relevante no caso das estacas que terão de ser cravadas em zonas com maior interferência com o escoamento. Neste caso, a estaca n.º 10 por se localizar no centro do canal de maior dimensão e é a que está sujeita a menores velocidades do escoamento, será a que apresenta maiores condições para ter uma área de influência mais alargada em termos de uma eventual dispersão de uma pluma túrbida. Deve no entanto, chamar-se a atenção mais uma vez para o facto de que a possibilidade de ocorrência da pluma depender fortemente das características dos sedimentos locais.

Assim, em relação a este aspecto, pode concluir-se que, embora incertos, existe a possibilidade de resultarem impactes directos negativos e de carácter local. Estes impactes serão em qualquer caso pouco significativos, de magnitude reduzida e reversíveis com o decorrer do tempo. Durante a fase de construção, em função das características dos sedimentos de fundo e dos métodos de construção utilizados, poderá verificar-se um

aumento de turbidez local resultante quer do processo de cravação das estacas quer da colocação no local do equipamento para a respectiva cravação. No entanto, as estacas a utilizar são ocas, e a respectiva cravação nas áreas com água (construção com a máquina sobre barcaça) não induzirá perturbações notáveis na ressuspensão de sedimentos, considerando-se que as estas perturbações serão locais e de carácter momentâneo.

Os impactes deverão ter uma expressão mais visível nas zonas de mais difícil acesso e nas estacas que serão cravadas nos esteiros (e.g. estacas n.º 1, 6, 10 e 16). Logo após a fase de construção, no caso das estacas situadas nos esteiros, com especial relevância para a estaca n.º 1 que se situará num esteiro estreito, poderão verificar-se pequenos ajustamentos na forma como se faz o escoamento caso se venha a verificar que a estaca ocupa uma parte activa do esteiro em termos de escoamento. No entanto, dada a reduzida dinâmica destes esteiros o sistema tenderá a recuperar rapidamente e adaptar-se às novas condições.

7. CONCLUSÕES

No que respeita ao descrever **Hidrodinâmica**, verificou-se que, através da análise das condições locais suportada pelas medidas efectuadas, o sistema potencialmente afectado pelas obras é completamente controlado pelas passagens hidráulicas que separam a zona do Ludo do corpo da Ria Formosa. A variação do nível de maré nesta zona é de pequena magnitude (da ordem da dezena de centímetros), fazendo-se o respectivo efeito sentir essencialmente pelo incremento gradual dos valores de salinidade na ausência de eventos de precipitação.

Para além disso, o sistema apresenta-se completamente separado em dois subsistemas sem ligação directa controlados respectivamente pelas comportas 1 e 3. Isto implica desde logo que do ponto de vista dos processos hidráulicos as obras propostas terão impacte nulo no subsistema controlado pela comporta 3.

No que respeita ao outro subsistema, controlado pela comporta 1, o modelo implementado para a zona permitiu explicar de forma coerente, os valores medidos quer no que respeita às variações de nível quer no que respeita às variações de salinidade. Verifica-se assim que as alterações de nível e salinidade dependem por um lado, do funcionamento da comporta, que constitui assim um elemento crítico do sistema, e por outro lado de eventos de precipitação intensos que contribuem pontualmente para um incremento do nível acompanhado da redução da salinidade. No entanto, como mostram os resultados do modelo (e os relatos recolhidos no local), após a ocorrência destes picos de precipitação o escoamento do volume de água acumulado nestas situações faz-se de forma relativamente rápida.

Como se demonstrou anteriormente as estacas, pelo espaçamento entre elas (30 metros), pela reduzida dimensão e pelo facto da maioria não se localizar nos esteiros não terão interferências significativas no escoamento e por consequência na dinâmica sedimentar.

Em face dos resultados obtidos e das observações efectuadas pode concluir-se que, no que respeita aos aspectos relacionados com a morfodinâmica, a médio-longo prazo não deverão ser observados impactes no sistema decorrentes da implementação da solução de projecto, já que a entrada de água salgada no sistema continuará a fazer-se de forma semelhante, garantindo a preservação dos habitats que se estabeleceram no local, e o escoamento dos caudais de cheia não sofrerá qualquer restrição adicional. A curto prazo podem ocorrer dois

tipos de impactes directos negativos que serão no entanto locais, pouco significativos, de magnitude reduzida e reversíveis com o decorrer do tempo:

- Durante a fase de construção, em função das características dos sedimentos de fundo e dos métodos de construção utilizados, poderá verificar-se um aumento de turbidez local resultante quer do processo de cravação das estacas quer da colocação no local do equipamento para a respectiva cravação. Estes impactes deverão ter uma expressão mais visível nas zonas de mais difícil acesso e nas estacas que serão cravadas nos esteiros (e.g. estacas n.º 1, 6, 10 e 16);
- Logo após a fase de construção, no caso das estacas situadas nos esteiros, com especial relevância para a estaca n.º 1 que se situará num esteiro estreito, poderão verificar-se pequenos ajustamentos na forma como se faz o escoamento caso se venha a verificar que a estaca ocupa uma parte activa do esteiro em termos de escoamento. No entanto, dada a reduzida dinâmica destes esteiros o sistema tenderá a recuperar rapidamente e adaptar-se às novas condições.

APÊNDICE I – Os Modelos Matemáticos

Em zonas ecologicamente sensíveis, como é o caso dos estuários e das lagoas costeiras, a necessidade de eventuais intervenções deve ser antecedida por um planeamento cuidado que minimize o impacto no meio. No entanto, para que se atinja este objectivo é necessário ter um conhecimento profundo do sistema, de modo a ser possível prever como este vai reagir às alterações de geometria.

Com o aparecimento dos computadores surgiu uma ferramenta capaz de processar grandes volumes de informação, que rapidamente se tornou num auxiliar essencial na integração do conhecimento. Esta “nova” ferramenta permitiu a estruturação da informação de um modo intuitivo e de fácil acesso (SIG – Sistema de Informação Geográfica), permitiu a divulgação à escala mundial dessa mesma informação (internet) e permitiu que os modelos conceptuais desenvolvidos ao longo de décadas a partir da análise experimental por biólogos, químicos, físicos pudessem ser acoplados e aplicados de uma forma generalizada a casos reais.

Nesta perspectiva, os modelos matemáticos representam actualmente uma ferramenta imprescindível na abordagem destes problemas, contribuindo decisivamente para uma melhor compreensão dos fenómenos envolvidos, permitindo tomar decisões ao nível das soluções de engenharia e efectuar uma análise dos impactes associados. O campo de aplicação dos modelos é bastante vasto, podendo simular fenómenos que vão desde a hidrodinâmica, ao transporte de sedimentos, à qualidade da água e à ecologia.

Nestes projectos, a utilização dos modelos matemáticos, como forma de avaliar o nível dos impactes associados a cada uma das intervenções, permitiu caracterizar alguns aspectos importantes. Esta metodologia conduziu a ganhos significativos na compreensão da dinâmica do sistema e, conseqüentemente, a uma perspectiva objectiva do tipo de reacção a esperar de cada uma das acções propostas, permitindo nomeadamente:

- Avaliar as alterações esperadas ao nível da hidrodinâmica local e da qualidade da água;
- Caracterizar a forma como se processa o trânsito de areias por acção combinada de ondas e correntes;
- Avaliar os impactes de diferentes opções de projecto, tanto no que respeita ao desenho, como no que respeita aos métodos de construção a utilizar;
- Avaliar zonas potencialmente afectadas por trabalhos durante a fase de construção.

O modelo MOHID

O modelo MOHID, usado para a simulação dos processos físicos, químicos e biológicos foi desenvolvido a partir de vários modelos já existentes, utilizando novas tecnologias da engenharia informática, nomeadamente a programação orientada por objectos. O modelo, já foi objecto de diversas aplicações, salientando a capacidade de simular e obtenção de respostas aos problemas propostos. O modelo foi já objecto de aplicação na generalidade dos estuários e lagoas costeiras portuguesas (eg., Silva *et al*, 2002, Martins *et al.*, 2001, Leitão *et al*, 2000) e estrangeiras (eg, Taboada *et al*, 1998, Montero, 1999, Montero *et al* 1999, Taboada *et al* 2000, Vilareal *et al* 2000, Péres-Villar 1998).

A actual filosofia do modelo (Miranda, *et al.*, 2000) permite trabalhar com qualquer número de dimensões e, além da hidrodinâmica, a simulação simples de processos de transporte e qualidade da água em vários domínios. O modelo é programado em ANSI Fortran 95, recorrendo à programação orientada por objectos (Decyk, *et al.*, 1997). A divisão do programa em módulos, tal como o fluxo de informação entre estes módulos, foi objecto de um estudo profundo. Cada módulo é responsável por gerir um tipo específico de informação, a qual é encapsulada para assegurar a fiabilidade do modelo. O encapsulamento, assegura que a informação associada a um dado módulo só é alterada dentro do mesmo, sendo assim impossível a introdução de erros por alteração indevida da informação noutros módulos.

A metodologia utilizada permite correr vários modelos encaixados em simultâneo, sendo as condições de fronteira fornecidas em cascata. O modelo geral fornece as condições de fronteira para os sub-modelos e estes por sua vez aos sub-sub-modelos. Esta filosofia permite estudar com detalhe áreas de pequenas dimensões com uma malha muito fina.

Módulo Hidrodinâmico

O módulo hidrodinâmico do modelo MOHID resolve a forma primitiva tridimensional das equações do movimento. As únicas aproximações admitidas são a de Boussinesq e a hidrostática (Santos, 1995 e Martins. 1999).

As equações de balanço da quantidade de movimento nas três direcções espaciais, e da continuidade em coordenadas cartesianas podem escrever-se:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_V \frac{\partial u}{\partial z})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (A_H \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_H \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_V \frac{\partial v}{\partial z})$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

em que t , representa o tempo; u, v, w as componentes da velocidade; f o parâmetro de Coriolis; p a pressão; ρ a densidade da água; g a aceleração da gravidade e, A_H e A_V - viscosidade cinemática turbulenta na horizontal e vertical.

As velocidades horizontais são calculadas com base nas equações do movimento, enquanto a localização da superfície livre e a velocidade vertical são calculadas por continuidade. As equações são aplicadas, explicitamente, a cada volume de controlo num referencial tridimensional.

A discretização temporal utilizada é semi-implícita do tipo ADI “*Alternate Direction Implicit*”, a qual minimiza as restrições de estabilidade. Este mesmo esquema foi utilizado na primeira versão 2D do módulo hidrodinâmico (NEVES, 1985). Os termos que introduzem maiores restrições de estabilidade foram discretizados implicitamente (pressão barotrópica, atrito, convecção e difusão vertical), enquanto para os restantes se optou por uma abordagem explícita. Foram adoptados dois tipos de discretizações semi-implícitas: uma que necessita da resolução de 6 equações em cada passo temporal, conhecido pelo esquema de Leendertse, e uma segunda baseada no esquema S21 que envolve a resolução de 4 equações.

Módulo Lagrangeano

O tempo de residência da água no interior da lagoa é um importante indicador para a compreensão global do sistema. De acordo com a descrição em ‘Technical Guidance Manual for Nutrient Criteria’ (<http://www.epa.gov/>), existem diversas formas de definir tempo de residência mas, em geral, pretende-se determinar quanto tempo a água permanece no interior do estuário, ou o seu tempo de renovação. O tempo de residência da Lagoa pode ser determinado recorrendo ao Módulo Lagrangeano (Braunschweig, 2003) do sistema MOHID, que permite utilizar o conceito de traçador lagrangeano com a finalidade de “marcar” a água no interior da lagoa.

Esta metodologia permite dividir a lagoa em caixas distintas, preenchendo cada caixa com traçadores lagrangeanos. O volume de partículas em cada caixa corresponde, no instante inicial, ao volume de água da respectiva caixa, pelo que, no total, o volume de partículas representa o volume total do estuário. Cada traçador tem associada a sua posição, ou seja, a caixa em que se encontra em cada instante, mas também a sua caixa de origem. Com este tipo de informação é possível determinar, em cada instante, o volume de traçadores que se encontram no interior do estuário e as proporções relativas das contribuições das várias origens.

Modelo SWAT

O modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é um modelo para a previsão e gestão de bacias hidrográficas desenvolvido pelo Dr. Jeff Arnold para a USDA (United States Department of Agriculture). Este modelo permite estudar o comportamento de bacias hidrográficas complexas ao longo do tempo.

Este modelo é um modelo físico que permite simular, além do ciclo hidrológico (escoamento de água - superficial e sub-superficial -, evaporação, transpiração e precipitação, etc.), o transporte de sedimentos, nutrientes e de substâncias utilizadas na agricultura (e.g. pesticidas). Como resultado é possível determinar as afluências às albufeiras em termos de caudais e de qualidade da água.

Dados de base

O modelo SWAT utiliza a divisão da bacia hidrográfica principal em sub-bacias para modelar os processos físicos. Esta subdivisão apresenta aspectos benéficos sempre que a bacia hidrográfica principal é composta por áreas muito diferentes em termos hidrológicos.

Para cada sub-bacia a informação necessária para correr o modelo SWAT pode ser agrupada nos seguintes categorias:

- dados climatológicos,
- HRU's (Hidrologic Response Units),
- lagos/albufeiras,
- água subterrânea,

- cursos de água.

Os HRU's são considerados uniformes relativamente ao uso do solo, tipo do solo, etc.

Os dados são fornecidos ao modelo através de ficheiros de texto, estando disponível uma interface gráfica que permite ligar um sistema de informação geográfica (ArcView) ao modelo. Basicamente o modelo necessita de três tipos de informação que pode ser fornecida através da interface com o ArcView:

- um modelo digital do terreno (mapa de elevações),
- um mapa com a ocupação do solo (o modelo aceita diferentes classificações),
- um mapa com o tipo de solo.

A localização dos cursos de água pode ser determinada automaticamente a partir do modelo digital do terreno (elevações) ou pode ser fornecida através de um ficheiro. Pontos de descargas ou tomadas adicionais podem igualmente ser incluídos.

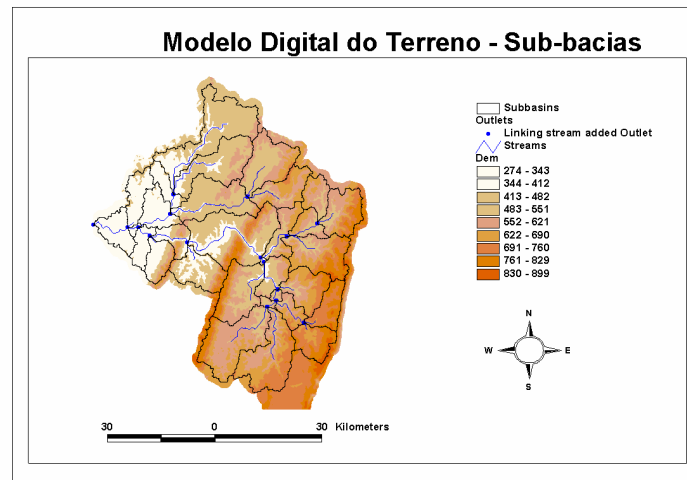
Os HRU's são gerados automaticamente a partir do cruzamento da informação entre a ocupação do solo e tipo de solo.

Outros dados

Para além dos dados base, o modelo SWAT pode utilizar registos históricos como observações de temperatura, precipitação, radiação solar, humidade relativa etc. Todos estes dados são fornecidos ao modelo através de ficheiros de texto ou a partir da interface gráfica através de ficheiros tipo dBase.

Exemplo de aplicação

A título de exemplo apresenta-se a figura seguinte que mostra a divisão da bacia hidrográfica principal em sub-bacias e as linhas de água calculados a partir do modelo digital do terreno.



Geração das linhas de água e a divisão da bacia hidrográfica em sub-bacias com o modelo SWAT

(Página intencionalmente deixada em branco)

APÊNDICE II – Modelo da Ria Formosa

A Ria Formosa estende-se desde o Ancão até Cacela numa extensão de 50 km, comunicando com o mar através de seis barras: Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuzeta, Tavira e Cacela, que individualizam cinco ilhas barreiras que a protegem da acção directa do mar. A região a Leste de Olhão é constituída, essencialmente, por um canal bastante comprido e estreito (25 km de comprimento e largura inferior a 1 km), que comunica com o mar através das 3 últimas barras acima referidas. O valor elevado da relação comprimento/largura, a existência de 3 barras e a região de baixa profundidade existente entre as barras da Fuzeta e de Tavira conferem à zona a Leste da barra da Fuzeta características próprias.

A barra de Faro-Olhão foi aberta artificialmente a partir de 1927, tendo as obras que a protegem, sido concluídas, com a configuração actual, em 1952. As barras que não estão fixadas artificialmente apresentam alguma mobilidade. No passado recente tem havido uma certa tendência para se moverem para Oeste, o que no caso da barra de Armona deverá estar ligado à evolução da Barra de Faro-Olhão. Estudos detalhados da evolução das barras podem ser encontrados em Esaguy (1984, 1985, 1986a, 1986b). Em Bettencourt (1994) é também apresentada a evolução das ilhas barreiras e dos processos que a condicionam.

O interior da Ria é constituído por uma rede complexa de canais mais ou menos profundos e geralmente estreitos, que individualizam inúmeros bancos que cobrem e descobrem com a maré. A baixa profundidade média da Ria origina uma relação entre o volume residual, em baixa-mar e o volume em preia-mar da ordem de 0,2 em maré média. Desta relação resulta um tempo de residência médio baixo, mas que em certas regiões, pode ser da ordem de uma semana (Neves e Martins, 1996).

O actual modelo hidrodinâmico da Ria Formosa resultou, numa primeira fase, de uma implementação do sistema MOHID efectuada pelo Instituto Superior Técnico, com a colaboração de técnicos da HIDROMOD. Posteriormente, este modelo já foi objecto de diversas aplicações, no âmbito de diferentes projectos, tendo por base diferentes malhas de cálculo.

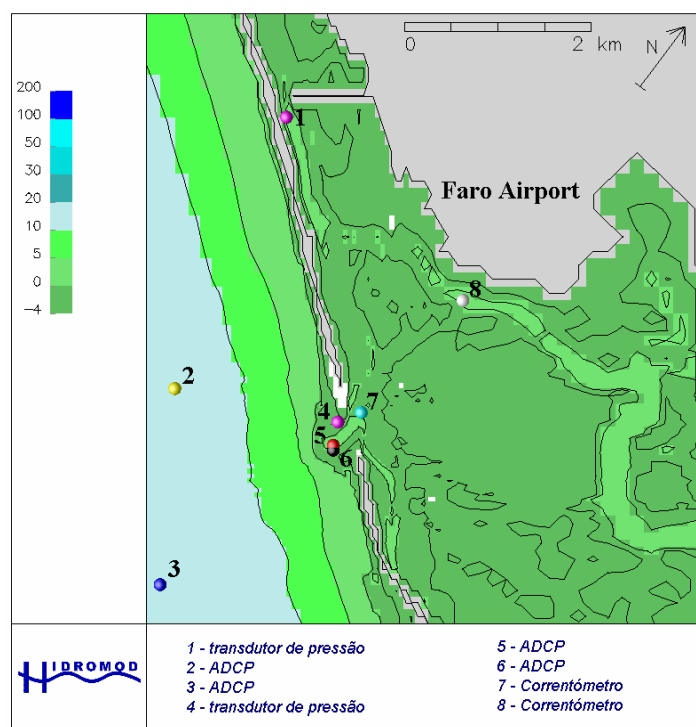
No âmbito dos projectos de investigação actualmente em curso na Ria Formosa, e em que a HIDROMOD se encontra envolvida, foi ainda implementada uma versão tridimensional do modelo hidrodinâmico que se encontra igualmente devidamente calibrada.

Por razões ligadas à optimização do cálculo, o modelo tem sido dividido em dois domínios: o domínio da região oeste que cobre toda a Ria desde o Ancão até ao limite de influência da

barra da Fuzeta e o domínio da região nascente que cobre as áreas de influência das barras de Tavira, de Cacela e da Fuzeta.

Ao longo do tempo o modelo hidrodinâmico da Ria Formosa tem sido objecto de calibrações sucessivas com base em comparações entre os resultados do modelo e medidas de campo de níveis e correntes. Uma descrição de alguns resultados da calibração e ainda de alguns aspectos importantes na hidrodinâmica da Ria Formosa constam de Leitão, *et al* (1996).

Para além de diversos conjuntos de dados disponíveis para a Ria Formosa no que respeita à caracterização da hidrodinâmica, em 1999, no âmbito de 2 projectos de investigação europeus (INDIA e F-ECTS), foram realizadas diversas campanhas de medidas de campo envolvendo, nomeadamente a medição de níveis e correntes na zona de influência da barra do Ancão (*cf. figura seguinte*) incluindo um ponto de medida de nível junto da Ponte de Faro.



Localização dos pontos de medidas de correntes efectuadas no âmbito dos projectos INDIA e F-ECTS

(Página intencionalmente deixada em branco)