



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

***MODELAÇÃO DE CENÁRIOS DE
EXPLORAÇÃO NO SISTEMA AQUÍFERO
LUZ-TAVIRA***

António Manuel Marques Góis

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Prof. Doutor. José Paulo P. G. Monteiro

Eng^o Luís Costa

2015

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia

***MODELAÇÃO DE CENÁRIOS DE
EXPLORAÇÃO NO SISTEMA AQUÍFERO
LUZ-TAVIRA***

António Manuel Marques Góis

Dissertação

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Prof. Doutor. José Paulo P. G. Monteiro

Eng^o Luís Costa

2015

MODELAÇÃO DE CENÁRIOS DE EXPLORAÇÃO NO SISTEMA AQUÍFERO LUZ-TAVIRA

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DE TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

António Manuel Marques Góis

Copyright©2015 António Góis - A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Professor José Paulo Monteiro, ao investigador Luís Costa, por essa mesma orientação, pelo apoio e disponibilidade, que sempre demonstraram. Bem como, ao investigador Rui Hugman pelo apoio técnico prestado e disponibilidade. Ainda, pela inserção numa equipa dinâmica e proactiva, que em muito me ajudou na realização do trabalho e o tornou bastante aliciante. Um grande obrigado também ao meu colega e amigo João Viegas que sempre esteve disponível a ajudar-me.

Agradeço também à *DHI* pela disponibilização de uma licença do *software FE-FLOW* para realizar este trabalho.

Um obrigado também à *Agência Portuguesa do Ambiente IP-ARH Algarve*, especialmente à Eng^a Edite Reis, à Eng^a Paula Vaz, ao Eng.^o Pedro Coelho, ao Eng.^o Paulo Cruz e à Dra. Sandra Correia, pelo apoio técnico prestado, disponibilidade e amabilidade.

Da mesma forma agradeço também à direção de curso e docentes pela disponibilidade e partilha de conhecimentos, que contribuíram na minha formação e desenvolvimento de competências técnicas.

Um grande obrigado aos meus amigos mais próximos: Mariana Vaz; Filipe Santos; Marco Ferreira; Sara Carvalho; Filipa Rocha; Ana Teresa Barão; Soraia Ramos; Elisa Brás; Ruben Borges; Nuno Catarino; João Cascalheira; Ana Marta Freixo; João Teixeira; Soraia Pratas, que de longe ou de perto sempre me apoiaram e apoiam nesta ou noutras etapas, e me conferiram ânimo e força para chegar aqui.

Um obrigado também aos meus colegas de curso e amigos: Cristina Santiago; Maria Silva; Cláudia Nunes; Melanie Sousa; Adriana Pires; Verónica Rodrigues; Mónica Ferreira; Alexandra Silva; Claudia Corniciuc; Liliana Espírito Santo; Diogo Cavaco; Henrique Carvalho; Tomás Carvalho; Márcio Martins; Luís Silva; Ruben Simão; Sónia Alves; Rodrigo Castro; Anabela Filipe; entre outros, que durante o curso, seja no Núcleo de Estudantes de Engenharia do Ambiente (NAmb-AAUAlg) ou em qualquer outra situação académica, se cruzaram no meu trajeto e de alguma forma o marcaram e me ajudaram.

Por fim, o mais importante um enorme obrigado à minha família, em especial à minha mãe por me ter ajudado emocionalmente e financeiramente a prosseguir estudos.

RESUMO

O controlo de fenómenos de intrusão salina é um dos principais desafios na gestão de aquíferos costeiros. Este fenómeno natural consiste no avanço da interface água doce-salgada provocando a infiltração de água salgada nos aquíferos costeiros. Este acontecimento pode inviabilizar o uso dos recursos hídricos subterrâneos para abastecimento humano, agrícola e industrial. A intrusão salina pode agravar-se por fatores como a sobre-exploração de aquíferos e alterações climáticas.

O Algarve apresenta aquíferos com zonas suscetíveis à ocorrência de fenómenos de intrusão salina. Essas zonas foram catalogadas como “Área Crítica” por parte da *Agência Portuguesa do Ambiente IP – Administração da Região Hidrográfica do Algarve*.

Esta dissertação tem como objetivo principal estudar a intrusão salina perante vários cenários de exploração de água subterrânea no Sistema Aquífero Luz-Tavira, entre os quais se incluíram o cenário atual e cenários de aumento de extração com base no aumento da área regada, com ou sem apoio de fontes de água superficial.

Como principal ferramenta de análise, desenvolveu-se e calibrou-se um modelo numérico de escoamento subterrâneo, no qual se simularam diferentes cenários de exploração. O modelo desenvolvido representa uma aproximação do comportamento real do aquífero face aos cenários estudados. Verifica-se que, para as condições de gestão atuais (na qual ocorre um contributo de água superficial para rega) o aquífero não se encontra em risco acentuado de ocorrência de fenómenos de intrusão salina, mesmo para cenários mais exigentes em termos de rega. Por outro lado, o mesmo não ocorre para cenários em que a rega é sustentada exclusivamente por fontes de água subterrânea, como sucedia no século passado.

Pretende-se que os resultados obtidos contribuam para um Plano Específico de Gestão da Água, em desenvolvimento pela entidade reguladora, com o qual se espera poder contribuir para uma melhor gestão do recurso e para a redefinição dos limites da “Área Crítica”.

Palavras-chave: Sistema aquífero Luz-Tavira; intrusão salina; cenários de exploração de água; modelos numéricos de escoamento subterrâneo; gestão de recursos hídricos.

ABSTRACT

Seawater intrusion control in coastal aquifers is one of the principal challenges to the management of coastal aquifers. This natural phenomenon consists in the progress of the fresh-salt water interface, occurring saltwater infiltration into coastal aquifers. This event may preclude the use of groundwater resources for human consumption, agriculture and industry. Seawater intrusion can be aggravated by factors such as over-exploitation of aquifers and climate change.

The Algarve presents aquifers with areas susceptible to the occurrence of seawater intrusion. These zones have been identified and labelled as "Critical Area" by the regional water authority of the Algarve.

The main objective of this dissertation is to study seawater intrusion and its effects based on several groundwater exploitation scenarios in the Aquifer System Luz-Tavira, among which, current and increased extraction scenarios based on the increase of the irrigated area, with or without the support of a surface source of water.

As main analysis tool, a numerical groundwater flow model of the aquifer was developed and calibrated, which was used to simulate the different exploitation scenarios. The developed numerical model represents an approximation to the real behaviour of the aquifer towards the studied scenarios. For current management conditions (which consider a surface water contribution to irrigation) results show the aquifer is not at high risk of seawater intrusion occurrence, even for the most demanding scenarios in terms of irrigation. On the other side, the same doesn't happen in scenarios where irrigation is fully supported by groundwater, as it happened the 20th century.

It is intended that the results contribute to a Specific Plan Water Management under development by the regional water authority of the Algarve, with which it is expected to contribute to a better management of water resources and to redefine the boundaries of the "Critical Area".

Keywords: *Luz-Tavira Aquifer System; salt intrusion; exploitation scenarios; flow numerical models; water resources management.*

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Área Crítica;
APA IP-ARH Algarve	Agência Portuguesa do Ambiente IP-Administração da Região Hidrográfica do Algarve;
DQA	Diretiva Quadro da Água
FE-FLOW	Finite Elements Flow;
PEST	Parameter Estimation;
PGBH	Plano de Gestão de Bacias Hidrográficas;
PRS	Perímetro de Rega do Sotavento Algarvio;
RAN	Reserva Agrícola Nacional;
SALT	Sistema Aquífero Luz-Tavira;
SMAS	Sistema Municipal de Abastecimento e Saneamento;
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos;
UE	União Europeia.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	IV
<i>ABSTRACT</i>	V
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	XIV
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO GERAL.....	1
1.2 ENQUADRAMENTO INSTITUCIONAL	3
1.3 OBJETIVO.....	4
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2 CONCEITOS GERAIS	6
2.1 PROBLEMAS ASSOCIADOS À GESTÃO DE AQUÍFEROS COSTEIROS	6
2.1.1 <i>Intrusão Salina</i>	7
2.1.2 <i>Determinação da Interface Água Doce-Salgada</i>	9
3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	11
3.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	11
3.2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO.....	13
3.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	14
3.3.1 <i>Transmissividade</i>	16
3.3.2 <i>Precipitação</i>	14
3.3.3 <i>Balanço Hídrico</i>	15
3.3.4 <i>Evolução do Uso da água</i>	16
3.3.5 <i>Análise Piezométrica</i>	17
4 MODELAÇÃO.....	30
4.1 MODELOS NUMÉRICOS	31
4.1.1 <i>Princípios Físicos simulados pelo Modelo – Regime Permanente</i>	31
4.1.2 <i>Condições Fronteira</i>	32
4.1.3 <i>Ferramenta de Modelação: FE-FLOW</i>	32
4.1.4 <i>Calibração e Validação do Modelo Numérico</i>	33
5 METODOLOGIA.....	35
5.1 CENÁRIOS E CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO.....	35

5.1.1	<i>Cálculo da Extração em cada Cenário de Exploração</i>	40
5.2	MODELO NUMÉRICO DE FLUXO 3-DIMENSIONAL	40
5.2.1	<i>Criação da malha</i>	40
5.2.2	<i>Parâmetros de Modelação</i>	42
5.2.3	<i>Malha multicamada</i>	43
5.2.4	<i>Retorno ao Modelo 3D de uma Única Camada</i>	47
5.2.5	<i>Saída de Campo</i>	47
5.2.6	<i>Condições Fronteira</i>	49
5.2.7	<i>Calibração e Validação do Modelo Numérico</i>	50
5.2.8	<i>Finalização do Modelo</i>	62
5.3	APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DE GHYBEN-HERZBERG	62
6	ANÁLISE DE RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	63
6.1	ANÁLISE GERAL	63
6.2	ANÁLISE INDIVIDUAL	65
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
8	REFERÊNCIAS	79
	ANEXO 1	82
	ANEXO 2	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Classificação de aquíferos (Fetter, 2001)	6
Figura 2.2- Características que afetam aquíferos costeiros. Adaptado de Oude Essink (2001)	7
Figura 2.3- Avanço da cunha salina para o interior do aquífero	8
Figura 2.4- Relação entre o topo do nível da água doce subterrânea e a profundidade da interface com a água salgada, adaptado de (Fetter, 2001).....	10
Figura 3.1- Localização Geográfica	11
Figura 3.2- Conformação geológica do sistema	13
Figura 3.3- Polígonos de Precipitação do Sistema Aquífero Luz-Tavira.....	15
Figura 3.4 - Aquíferos e Sistemas Aquífero do Algarve	17
Figura 3.5- Conexão entre aquíferos por falhas geológicas	18
Figura 3.6- Localização dos piezómetros	19
Figura 3.7 - Evolução piezométrica do sistema (dados do SNIRH).....	19
Figura 3.8 - Evolução piezométrica do sistema (dados de Stigter & Carvalho Dill, 2001)	21
Figura 3.9 - Mapa hidrogeológico da campina da luz, adaptado de (Stigter 2005).....	21
Figura 3.10 - Corte geológico da Campina da Luz (ver a figura 3.9 para saber localização do corte), adaptado de (Stigter 2005)	22
Figura 3.11- Níveis Piezométricos máximos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento	23
Figura 3.12 - Cota da interface para os níveis piezométricos Máximos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento.....	23
Figura 3.13 - Mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento	24
Figura 3.14 - Cota da interface para a mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pré- Perímetro de Rega do Sotavento.....	24
Figura 3.15- Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento	25
Figura 3.16 - Cota da interface dos Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento.....	25
Figura 3.17 - Níveis Piezométricos máximos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento	26

Figura 3.18 - Cota da interface para os níveis piezométricos Máximos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento	26
Figura 3.19- Mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento	27
Figura 3.20 - Cota da interface para a mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pós- Perímetro de Rega do Sotavento	27
Figura 3.21 - Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento	28
Figura 3.22 - Cota da interface dos Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento	28
Figura 3.23- Zonas de descarga e recarga no sistema	29
Figura 5.1 - Representação da AC e RAN no interior do sistema.....	35
Figura 5.2 - Cenário de exploração atual (cenário 1)	36
Figura 5.3 - Cenário hipotético de exploração 2	36
Figura 5.4 - Cenário hipotético de exploração 3	37
Figura 5.5- Cenário hipotético de exploração 4	37
Figura 5.6 - Cenário hipotético de exploração 5	38
Figura 5.7- Malha 3D do sistema, em que o topo é o valor do MDT.....	41
Figura 5.8- Malha 3D do sistema, em que o topo é o valor do nível piezométrico máximo registado	42
Figura 5.9 - Malha 2D do sistema	42
Figura 5.10 - Recarga no sistema	43
Figura 5.11- Pontos utilizados para a criação do modelo em perfil	44
Figura 5.12 - Equações polinomiais para criação das camadas do Cretácico e Jurássico (neste caso, o y representa a cota (normalmente designada por z).....	45
Figura 5.13 – Perfil multicamada do sistema (versão 1).....	46
Figura 5.14- Perfil multicamada do sistema (versão 2).....	47
Figura 5.15 -Localização dos pontos de Amostragem da saída de campo de dia 2 de Agosto de 2015	48
Figura 5.16 - Mapa piezométrico obtido a partir da amostragem de dia 2 de Agosto de 2015	49
Figura 5.17 – Zonamento para a hipótese de calibração nº1	51
Figura 5.18 - Linha de tendência da hipótese 1 de calibração.....	52
Figura 5.19 - Função objetiva da calibração nº1	52

Figura 5.20 - Zonamento para a hipótese de calibração nº2.....	54
Figura 5.21 - Linha de tendência da hipótese 2 de calibração.....	55
Figura 5.22 - Função objetiva da calibração nº2	55
Figura 5.23 - Zonamento para a hipótese de calibração nº3.....	56
Figura 5.24 - Linha de tendência da hipótese 3de calibração.....	58
Figura 5.25- Função objetiva da calibração nº3	58
Figura 5.26 - Zonamento para a hipótese de calibração nº4.....	59
Figura 5.27 - Linha de tendência da hipótese 4 de calibração.....	60
Figura 5.28 - Função objetiva da calibração nº4	61
Figura 5.29 - Condutividade nas várias zonas do sistema.....	62
Figura 6.1 - Balanço Hídrico para cada cenário de exploração.....	63
Figura 6.2 - Nível piezométrico no cenário 1, condição I (rega apenas com água subterrânea, século XX)	65
Figura 6.3 - Cota da interface (m) para o cenário 1, condição I.....	65
Figura 6.4 - Nível piezométrico no cenário 1, condição II (rega com água subterrânea e maioritariamente água superficial, atualidade).....	66
Figura 6.5 - Cota da interface (m) para o cenário 1, condição II.....	67
Figura 6.6 - Nível piezométrico no cenário 2, condição I (rega apenas com água subterrânea)	68
Figura 6.7 - Cota da interface (m) para o cenário 2, condição I.....	68
Figura 6.8 -Nível piezométrico no cenário 2, condição II (rega com água subterrânea e superficial).....	69
Figura 6.9 - Cota da interface para o cenário 2, condição II.	69
Figura 6.10 - Nível piezométrico no cenário 3, condição I (rega apenas com água subterrânea)	70
Figura 6.11 - Cota da interface (m) para o cenário 3, condição I.....	70
Figura 6.12 - Nível piezométrico no cenário 3, condição II (regas com água subterrânea e superficial).....	71
Figura 6.13- Cota da interface (m) para o cenário 3, condição II.	71
Figura 6.14 - Nível piezométrico no cenário 4, condição I (rega apenas com água subterrânea)	72
Figura 6.15 - Cota da interface (m) para o cenário 4, condição I.....	72
Figura 6.16 - Nível piezométrico no cenário 4, condição II (rega com água subterrânea e superficial).....	73

Figura 6.17 - Cota da interface para o cenário 4, condição II.	73
Figura 6.18 - Nível piezométrico no cenário 5, condição I (rega apenas com água subterrânea)	74
Figura 6.19 - Cota da interface (m) para o cenário 5, condição I.....	74
Figura 6.20 - Nível piezométrico no cenário 5, condição II (rega com água subterrânea e superficial).....	75
Figura 6.21 - Cota da interface para o cenário 5, condição II.	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1-Valores de Precipitação registados pelos pluviómetros mais próximos	14
Tabela 5.1 – Tabela de necessidades de água e razões por cenário (condição II).....	40
Tabela 5.2- Valor de água necessária à rega e da razão “Água subterrânea / Total Água Necessária”	40
Tabela 5.3 - Cota (Z) correspondente ao valor de distância de cada ponto (X) ao ponto x=0 (litoral).....	45
Tabela 5.4- Dados recolhidos na saída de campo de 2 de Agosto de 2015.....	48
Tabela 5.5 – Parâmetros para o cálculo das condições fronteiras do M15 com os sistemas aquíferos vizinhos.....	50
Tabela 5.6- Tabela de resíduos (calibração 1).....	53
Tabela 5.7 - Tabela de resíduos (calibração 2).....	55
Tabela 5.8 - Tabela de resíduos (calibração 3).....	58
Tabela 5.9 - Tabela de resíduos (calibração 3).....	61
Tabela 6.1 - Contributos do Peral-Moncarapacho e Malhão para o Sistema Aquífero Luz-Tavira.....	64
Tabela 6.2 - Erro Relativo (%) para os cenários em que o limite de transferência do Malhão para o Luz-Tavira é excedido	64

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 2.1- Equação hidrológica	6
Equação 2.2 - Princípio de Ghyben-Herzberg.....	9
Equação 4.1- Equação de fluxo em regime transitório.....	31
Equação 4.2 - Equação de fluxo em regime permanente	31
Equação 4.3 - Cálculo do coeficiente de Correlação.....	34
Equação 5.1- Cálculo da condição fronteira de Cauchy.....	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

A exploração indevida de recursos hídricos subterrâneos juntamente com as alterações climáticas pode originar problemas de qualidade e quantidade nas massas de água subterrânea. Os aquíferos são afetados tanto pela sua subexploração como pela sobre-exploração. A procura pela sustentabilidade e integridade das reservas de água subterrânea, que tendem a escassear com o aquecimento global, é cada vez mais uma preocupação para a sociedade (Stigter et al., 2014).

O Algarve é um dos destinos turísticos mais procurados da Europa principalmente nos meses de verão. Nesta época, que se caracteriza como a mais seca na região, ocorre um aumento da densidade populacional devido à afluência da população flutuante, o que reduz em grande escala as reservas hídricas da região (Brito, 2009). Até à entrada do ano 2000, o Algarve era essencialmente abastecido através da água subterrânea (Brito, 2009) e, até esse período, a pressão antrópica sobre os recursos hídricos da região tornou-se elevada, o que levou a uma condição generalizada de sobre-exploração dos aquíferos. Os aquíferos eram explorados tanto para rega como para abastecimento público e, como tal, as consequências deste comportamento refletiram-se no decréscimo dos níveis freáticos (Stigter, 2005). A sobre-exploração dos aquíferos costeiros pode, em casos mais graves, levar à diminuição do nível freático e conseqüentemente à ocorrência de fenómenos de intrusão salina. Por esta razão, ocorrem conseqüências para a agricultura e para os ecossistemas dependentes de água subterrânea da região. As alterações climáticas podem também implicar problemas para a região, especialmente estando o Algarve situado geograficamente numa zona semiárida. São expectáveis alterações como a subida do nível médio da água do mar, a diminuição da pluviosidade média anual, o aumento da temperatura e conseqüente redução da recarga dos aquíferos que possivelmente também comprometem a integridade dos sistemas aquíferos do Algarve e agravam a ocorrência de fenómenos de intrusão salina. A sustentabilidade do sistema é ameaçada com um decréscimo na recarga natural dos aquíferos, tornando difícil manter o equilíbrio e sustentabilidade do sistema. Desta forma, os níveis de água subterrânea tendem a diminuir e a cunha salina (interface que identifica a fronteira entre água doce e água salgada) a avançar. O mesmo fenómeno pode suceder caso o nível médio da água do mar continue a subir, como é expectável que aconteça no caso da região Algarvia (Stigter et al., 2014).

No entanto, se a tendência se mantiver e o aquecimento global continuar a aumentar, com a maior frequência de regimes secos e de ausência de precipitação, futuramente a procura de água doce poderá aumentar para garantir a subsistência da elevada densidade populacional e agrícola dependente do recurso (Stigter et al., 2014).

No futuro, estes são alguns problemas que poderão afetar os sistemas aquíferos na região. Desta forma é importante abordar o problema de uma forma preventiva com estudos que possam contribuir para eventuais soluções e prevenções. O mesmo poderá acontecer no caso do Sistema Aquífero Luz-Tavira (SALT) que apresenta uma elevada importância para a região e poderá ter de ser alvo de alterações no que respeita à gestão da sua exploração.

Monteiro (2005) e de uma forma mais resumida Monteiro *et al.* (2002) identificaram três períodos distintos na história recente do uso dos recursos hídricos subterrâneos do Algarve: “(1) um período (passado) em que os aquíferos subterrâneos constituíam a origem quase exclusiva para todos os tipos de uso; (2) um período (atual) no qual se verifica uma importante diminuição do volume de extrações associadas ao suprimento das necessidades relacionadas com o abastecimento urbano, que foi substituído por água captada nas grandes barragens e (3) um período (futuro) em que as condições naturais prevaletentes no Algarve e a intensificação dos conflitos de interesses decorrentes da degradação da qualidade da água conduzirão à adoção de esquemas de gestão integrada mais sofisticados e eficientes que os atuais, baseados no uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas.”

Assim, é necessário analisar e retirar conclusões sobre as consequências da gestão do uso de água subterrânea, no presente e no futuro, perante diferentes cenários hipotéticos de exploração do recurso.

A exploração indevida dos recursos de água subterrânea pode levar ao fenómeno que representa o principal objeto de estudo neste trabalho, a intrusão salina. Este fenómeno consiste no avanço da cunha de água salgada para o interior do aquífero, devido à extração de elevadas quantidades de água.

Este trabalho centra-se nos efeitos da exploração de um sistema aquífero costeiro e na ocorrência de intrusão salina numa área designada como “Área Crítica de Ocorrência de Intrusão Salina”. A Área Crítica “corresponde a uma faixa junto ao litoral do Algarve, onde não é permitido o aumento do volume de água subterrânea a extrair, de modo a prevenir eventuais fenómenos de intrusão salina” Reis & Gago (2013) cujos limites são definidos pela *APA IP-ARH Algarve*.

Segundo Reis & Gago (2013), os pedidos de licenciamento de furos *APA IP-ARH Algarve* são recorrentes, por esta razão existe necessidade de avaliar o efeito de novos licenciamen-

tos nos aquíferos costeiros, inclusive no Sistema Aquífero Luz-Tavira, o caso de estudo do presente trabalho. Os autores afirmam também que perante as condições atuais verificadas neste sistema a largura da Área Crítica poderá ser diminuída, uma vez, que este se encontra subexplorado. Stigter et al., (2006) refere inclusive problemas detetados nas culturas de citrinos que derivam da subida dos níveis piezométricos no aquífero.

Atualmente a simulação do fluxo da água e transporte com recurso a modelos numéricos é uma das metodologias mais evoluídas que permite representar o funcionamento hidráulico do sistema aquífero a que corresponde o modelo numa realidade aproximada (Scanlon *et al.*, 2003). A modelação numérica do escoamento subterrâneo de aquíferos assume-se como uma das mais importantes e fomentadas ferramentas para a gestão dos recursos de águas subterrâneas (Monteiro, 2005).

O caso de estudo específico do presente trabalho consiste no SALT. O projeto em Engenharia do Ambiente, previamente realizado, com o tema “Análise de Cenários de Exploração no Sistema Aquífero Luz-Tavira” (em que foram modelados os mesmos cenários, de forma bidimensional e com menos rigor quanto à distribuição da extração, da recarga e das condições fronteiras), serviu como primeira análise a esta dissertação. No presente trabalho e com vista a uma análise focada nos fenómenos de intrusão salina, desenvolveu-se e calibraram-se um novo modelo numérico, e otimizaram-se os cenários de extração com a atribuição de diferentes cotações de rega a diferentes tipos de cultura a regar. No que respeita ao modelo numérico procedeu-se à construção de uma malha tridimensional do aquífero e ao zonamento e calibração dos parâmetros hidráulicos que regem o escoamento subterrâneo e a recarga do aquífero e à redefinição das condições de fronteira do modelo. Por fim, realizou-se uma análise ao aquífero segundo a estrutura tridimensional definida para os diferentes cenários por forma a aprofundar o conhecimento sobre o sistema.

1.2 ENQUADRAMENTO INSTITUCIONAL

A Diretiva Europeia 2006/118 de 12 de Dezembro estipula que as águas subterrâneas “são um valioso recurso que deverá ser protegido da deterioração, sendo estas, as fontes de água doce mais sensíveis e importantes da União Europeia (UE), abastecendo muitas regiões com água potável”. A mesma dita também que todos os estados membros da UE devem impor normas de qualidade, novas metodologias e medidas de prevenção/identificação de tendências significativas para as suas massas de água subterrânea (Kristensen, 2012).

À *APA IP-ARH Algarve* cabe o licenciamento de furos e essencialmente da gestão de toda a água nesta região de Portugal, cumprindo a Diretiva Europeia 2006/118 de 12 de De-

zembro e a Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, vulgarmente conhecida como “Diretiva Quadro da Água” ou “DQA”. Esta agência classifica uma área onde não é possível aumentar a extração de forma a prevenir a intrusão salina denominada de “Área Crítica”. Como tal, esta enfrenta atualmente, apesar da imposição de limites de extração, dificuldades em solucionar problemas encontrados no Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica da Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (PGBH-RH8) (Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, 2011) elaborado de acordo com a “DQA”, tais como, o licenciamento de novos furos e captações (se efetivamente se podem licenciar novos furos, onde e quantos possível, e com que caudal de extração) sem agravar o problema da intrusão salina. Estes pedidos de licenciamento têm sido recorrentes e apresentaram-se em elevado número (Reis & Gago, 2013).

Assim, é esta a problemática a abordar no Plano Específico de Gestão da Água (PEGA) para o qual se pretende que esta dissertação contribua.

1.3 OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste em caracterizar e simular o comportamento do SALT face a vários cenários de exploração, e desta forma auxiliar a Autoridade Nacional da Água, a *APA IP-ARH Algarve*, a tomar decisões quanto a novos licenciamentos de captações e à redefinição dos limites da Área Crítica. Esta caracterização baseia-se na análise de dados pré-existentes respeitantes ao uso do solo, captações e dotações de rega, de forma a definir os cenários de exploração atuais e possíveis no futuro. Este conjunto de informação foi posteriormente incluída num modelo numérico de escoamento subterrâneo desenvolvido no âmbito deste trabalho como forma de simular as respostas hidráulicas do sistema aquífero aos diferentes cenários e avaliar os respetivos perigos de degradação quantitativa e qualitativa da água do aquífero em função do avanço da cunha salina em cada um deles.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em sete capítulos principais. No capítulo 1, a Introdução, o tema do trabalho é apresentado e descrito bem como as razões da sua elaboração e o seu objetivo. Posteriormente segue-se o capítulo 2, Conceitos Gerais, onde são abordados os conceitos e noções teóricas que serviram depois para compreender as aplicações práticas e a metodologia. No capítulo 3 é apresentado o caso particular em estudo, referindo informações do ponto de vista geológico, geográfico e hidrogeológico do Sistema

Aquífero Luz-Tavira. De seguida, no capítulo 4 é descrita a principal ferramenta de análise desenvolvida no trabalho, a modelação numérica juntamente com alguns conceitos e outras informações acerca da modelação. No capítulo 5, descreve-se a metodologia e a sua aplicação na prática, por forma a obter resultados. Os resultados estão apresentados visualmente sob a forma de mapas no capítulo 6 onde são discutidos. Por fim, as considerações finais encontram-se no capítulo 7 e descrevem a evolução de conhecimento acerca do sistema que esta dissertação proporcionou e enuncia algumas conclusões retiradas.

2 CONCEITOS GERAIS

Tanto os ecossistemas terrestres como a sociedade humana consomem água doce proveniente dos rios e ribeiras (água superficial) ou em alternativa extraem a água doce de que necessitam em profundidade (água subterrânea). Neste último caso o recurso é extraído de aquíferos. Um aquífero é uma formação geológica que permite a acumulação de reservas de água e possibilita a sua exploração (Fetter, 2001).

Existem vários tipos de reservatórios de água subterrânea e são as características geológicas do aquífero que definem o comportamento hidrológico no mesmo. Segundo Fetter (2001), podemos então classificar os aquíferos de acordo com o esquema da figura 2.1.

Permeabilidade	Porosidade
<ul style="list-style-type: none">• Confinado ou cativo - Se a camada porosa estiver limitada tanto superior (não na totalidade) como inferiormente por uma camada impermeável.• Não confinado ou livre - A camada superior ao aquífero é permeável.	<ul style="list-style-type: none">• Porosos - a água circula através de poros. As formações geológicas podem ser detríticas (ex. areias limpas), por vezes consolidadas por um cimento (ex. arenitos, conglomerados, etc.)• Fratuados - a água circula através de fraturas ou pequenas fissuras. As formações podem ser granitos ou gabros.• Cársicos - a água circula em condutas que resultaram do alargamento de diáclases (são fraturas que dividem as rochas em blocos e em relação às quais não se produziu deslocamento ou o deslocamento foi mínimo) por dissolução. As formações são os diversos tipos de calcários.

Figura 2.1- Classificação de aquíferos (Fetter, 2001)

Como ciência, a hidrogeologia tende a estudar o ciclo hidrológico e quantificar a água presente em cada fase do mesmo. A equação hidrológica consiste na aplicação da lei da conservação de massas expressa pela equação 2.1, tal como descrito por Fetter (2001):

Equação 2.1- Equação hidrológica

$$\textit{Recarga} = \textit{Descarga} \pm \textit{Alterações nas reservas de água}$$

Quando a recarga do aquífero é inferior à sua descarga (inclui as extração) o aquífero é sobre-explorado, caso contrário o aquífero é subexplorado.

2.1 PROBLEMAS ASSOCIADOS À GESTÃO DE AQUÍFEROS COSTEIROS

A exploração sustentável de um aquífero é muitas vezes praticada com base num valor calculado através da sua recarga média a longo prazo, ou com valores anuais. No entanto,

estas escalas temporais podem ser demasiado grandes para os sistemas a que estão a ser aplicadas e pode levar a uma sub ou sobre-exploração das águas subterrâneas (Hugman *et al.*, 2012).

No esquema da figura 2.2 são apresentados processos e atividades naturais ou de origem humana que resultam no agravamento da intrusão salina e noutros problemas.

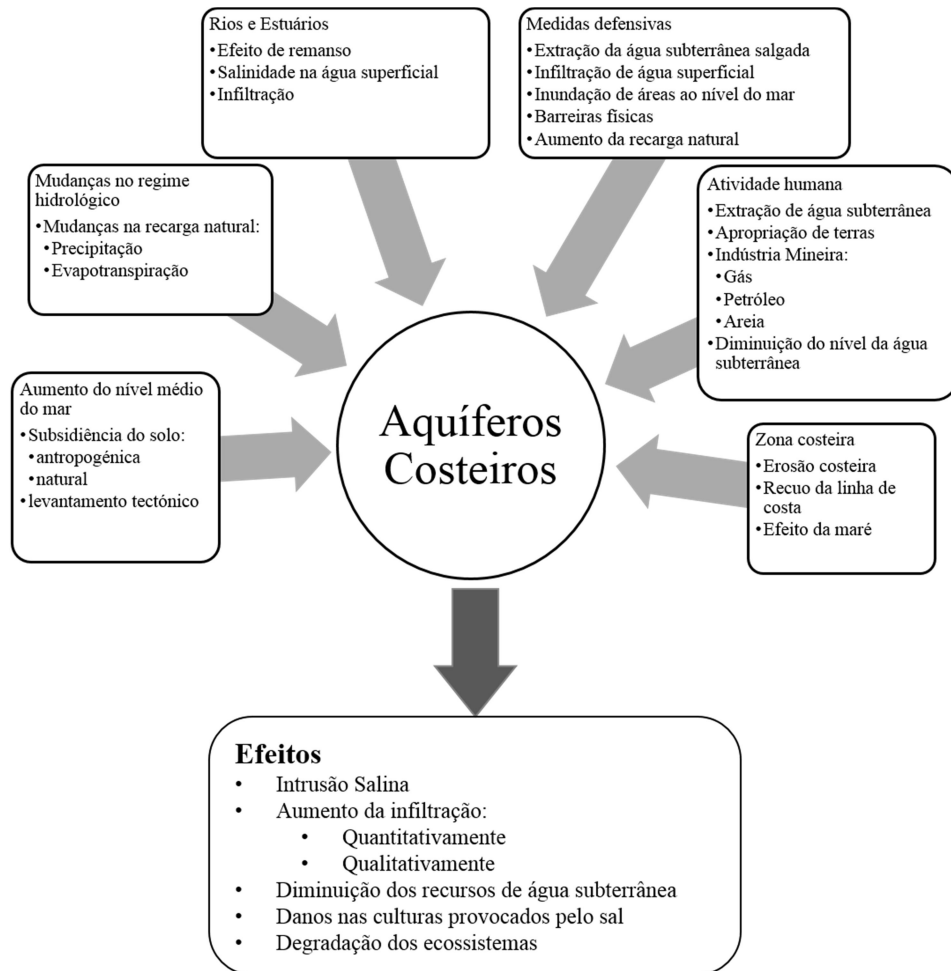


Figura 2.2- Características que afetam aquíferos costeiros. Adaptado de Oude Essink (2001)

2.1.1 Intrusão Salina

A intrusão salina é um problema que afeta não só o abastecimento público, como a agricultura e os ecossistemas dependentes de água subterrânea. Este é um fenómeno natural que consiste na entrada de água do mar no aquífero (rica em sais, como cloretos). No entanto, a mesma sofre um aumento gradual com a extração de água doce do aquífero (Werner *et al.*, 2013).

Devido a fatores como a sobre-exploração dos aquíferos (aliada à perda de fertilidade do solo); à degradação de ecossistemas; ao aumento gradual do nível médio do mar (consequência do aquecimento global, com um avanço de 50 cm previsto para o próximo século); prevê-se um agravamento da intrusão salina em aquíferos costeiros. Uma vez que esse aumento do nível do mar e a diminuição da pluviosidade média anual são uma tendência, amplia-se a necessidade de uma gestão cuidada desta água com recurso a várias ferramentas (Werner *et al.*, 2013).

Fenómenos como a intrusão salina são suficientes para frequentemente aumentar a concentração de cloro a níveis prejudiciais à fauna, flora e agricultura. Como tal, o Decreto-Lei nº306/2007, relativo à qualidade da água destinada ao consumo humano, estabelece no anexo I uma concentração máxima de cloretos na água subterrânea de 250 mg/l de Cl. Tendo em conta que a água do mar possui 19000 mg/l de Cloreto (Barlow *et al.*, 2003), o valor que consta no Decreto-lei não vai além de aproximadamente 1,3 % da concentração presente na água do mar. Como tal, basta que se infiltre uma reduzida quantidade de água salgada numa reserva de água doce para que facilmente se exceda o limite imposto pelo decreto-lei. Este fenómeno sucede com frequência em aquíferos costeiros sujeitos a elevados índices de exploração, culminando numa salinização do recurso e consequentemente na impossibilidade da sua utilização.

A figura 2.3 representa a ocorrência de intrusão salina num aquífero costeiro em que a água salgada, devido à sua maior densidade, se encontra num nível mais profundo. Por outro lado, a água doce sobrepõe-se a esta como consequência da sua menor densidade. Quando ocorre extração no aquífero a pressão gravítica da água doce sobre a água salgada diminuí e a água salgada tende a avançar para o interior do aquífero de forma a compensar esta perda. Este avanço da cunha salina é tanto maior quanto menor a cota piezométrica.

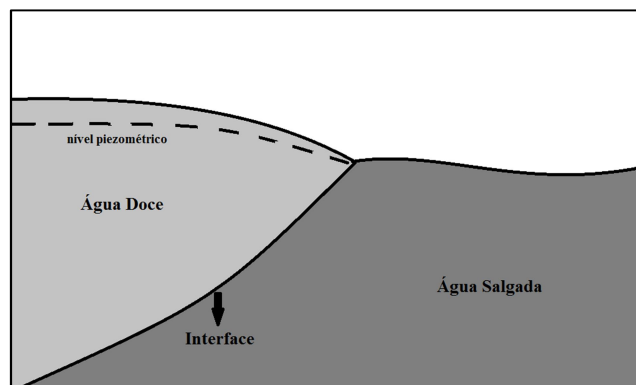


Figura 2.3-Avanço da cunha salina para o interior do aquífero

2.1.2 Determinação da Interface Água Doce-Salgada

Para a representação do avanço da cunha salina (interface água doce-salgada) pode recorrer-se a modelos numéricos. Existem atualmente três aproximações principais para representar o fluxo orientado pela densidade (*density-driven flow*): (i) ignorar; (ii) usar uma interface nítida (*Sharp-interface*) ou (iii) aplicar uma aproximação à dispersividade da interface. Esta última permite obter os resultados mais precisos, requer maior detalhe e exige uma rede de elementos finitos mais densa tanto para minimizar a dispersão numérica, como para representar padrões de fluxo convectivo. Por vezes esta conduz a um tempo excessivo para o modelo processar, o que pode impedir o seu uso para modelos à escala regional. Dausman *et al.*, (2010) mostrou que, para certas condições, os modelos de interface nítida (*Sharp-interface*) podem produzir resultados razoáveis em muito menos tempo de processamento do modelo. A escolha da aproximação a aplicar depende do objetivo e da escala do problema a modelar.

Alguns contributos significativos para o estudo da interface água doce-salgada são os de W. Badon-Ghyben (1888-1889) e A. Herzberg (1901), que após o reconhecimento destes estudos e a sua ampla citação deram origem ao **Princípio Ghyben-Herzberg**. As observações destes autores sugerem que, em aquíferos costeiros livres, a profundidade da interface água doce – água salgada abaixo do nível do mar é aproximadamente 40 vezes a altura do nível freático que está acima do nível médio do mar (Fetter, 2001).

O **Princípio de Ghyben-Herzberg (figura 2.4)** traduz-se pela equação 2.2, apresentada de seguida:

Equação 2.2 - Princípio de Ghyben-Herzberg

$$z = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} h$$

Em que z [L] indica a profundidade da interface água doce-salgada, abaixo do nível do mar. A elevação do nível freático, acima do nível do mar, é dada por h [L]. ρ_w e ρ_s , [M.L⁻³] representam a densidade da água doce (1 000 kg.m⁻³) e salgada (1 025 kg.m⁻³) respetivamente (Fetter, 2001).

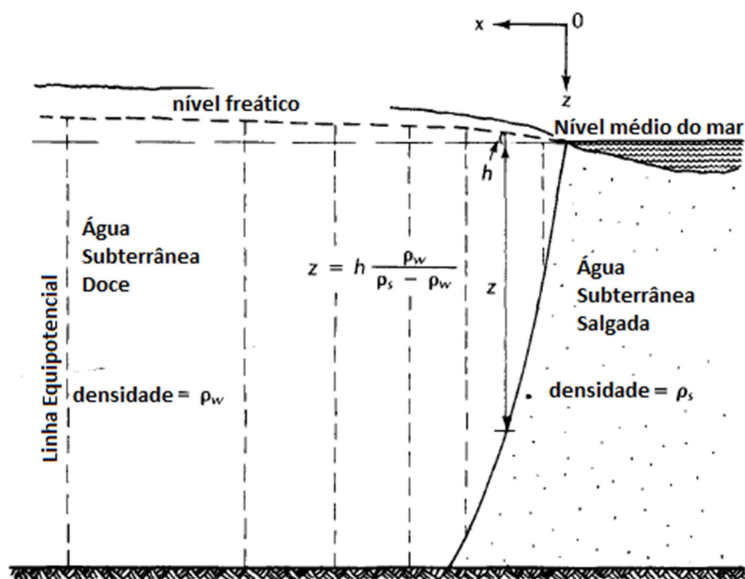


Figura 2.4-Relação entre o topo do nível da água doce subterrânea e a profundidade da interface com a água salgada, adaptado de (Fetter, 2001)

Segundo Oude Essink (2001), este princípio possui algumas limitações e só deveria ser aplicado sob as seguintes condições: (i) o aquífero é homogêneo; (ii) a dispersão hidrodinâmica é desprezada; (iii) o fluxo horizontal e vertical do aquífero são desprezados e (iv) não existe fluxo de água subterrânea salgada.

Na presente dissertação determinou-se a existência de problemas de intrusão salina no Sistema Aquífero Luz-Tavira, assumindo uma interface nítida entre a água doce e salgada, em que a profundidade desta interface foi calculada analiticamente através do **Princípio Ghyben-Herzberg**.

De futuro a abordagem deste problema com modelos que aplicam uma aproximação à dispersividade da interface será algo a atingir. No entanto, é necessário mais tempo e financiamento para uma análise desse tipo.

3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Como caso de estudo para a realização desta dissertação de mestrado optou-se pela modelação numérica de cenários de exploração do Sistema Aquífero Luz-Tavira.

Este exercício de modelação visa simular o comportamento hidráulico do sistema face a explorações dos recursos de água subterrânea em vários cenários, entre eles, o estado atual e outros de exploração hipotéticos, considerando o aumento da área regada e consequentemente o aumento da extração de água do aquífero.

3.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

Na figura 3.1 representa-se o enquadramento geográfico do caso de estudo.

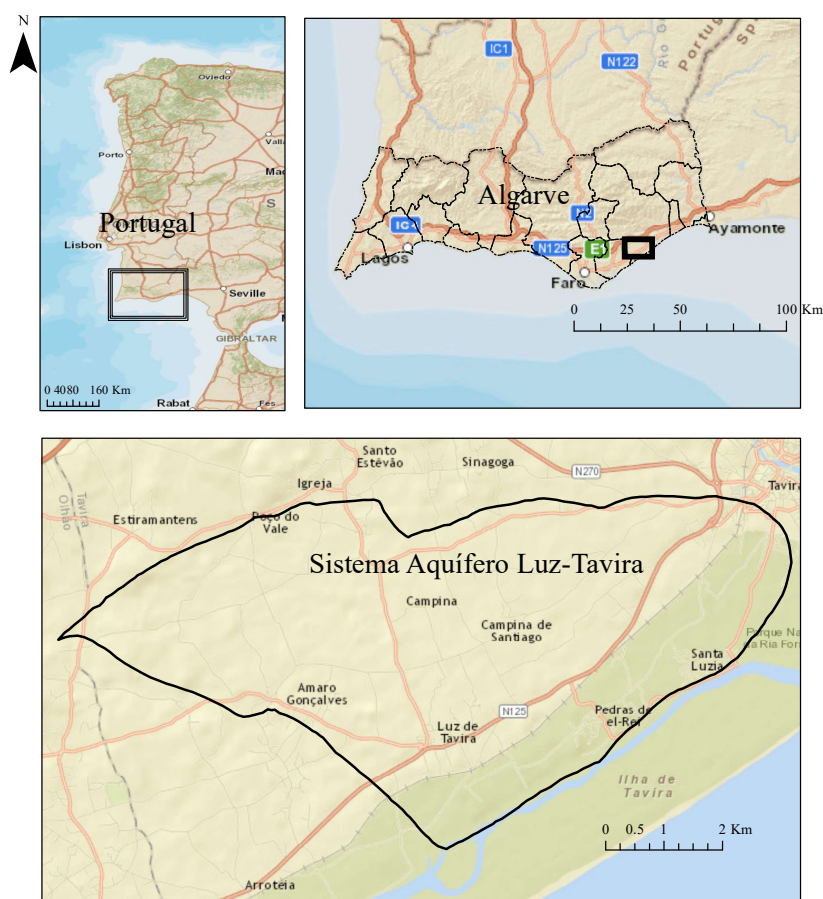


Figura 3.1-Localização Geográfica do SALT

Segundo Almeida *et al.*, (2000), o SALT tem uma área total de 28 Km² e é limitado a norte por calcários margosos, a sul pela Ria Formosa/ Oceano Atlântico e a oeste por afloramentos de formações pouco permeáveis do Cretácico. Esta proximidade ao sistema lagunar permite que existam trocas de água naturais entre o SALT e a Ria Formosa. Situa-se na

Unidade da Orla Meridional, pertencendo à bacia hidrográfica das Ribeiras do Sotavento (Almeida *et al.*, 2000). Do ponto de vista cartográfico o sistema insere-se na folha 608 da Carta Topográfica a uma escala de 1:25000 do IGeoE e na folha 53-B do Mapa Corográfico de Portugal numa escala 1:50000 do IPCC (Costa, 2011). Parte da área abrangida por este sistema aquífero é atualmente definida pela *APA IP-ARH Algarve* como “Área Crítica” (definida no Capítulo 1), devido à sua proximidade com a Ria Formosa e Oceano Atlântico, onde há risco de intrusão salina.

3.2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Do ponto de vista hidrogeológico o SALT é formado por um conjunto de dois aquíferos: um cársico livre a confinado, suportado por calcários do Cerro da Cabeça, do Jurássico (compactados com cor cinzenta e rosada, com algumas falhas e espessura total entre 50 a 70 metros) e do Escarpão (compactados e argilosos do Jurássico Superior com cerca de 500 metros de espessura); e outro poroso livre e confinado, suportado por formações detrítico-carbonatadas terciárias (Miocénico) (Almeida *et al.* 2000). Os dois aquíferos estão em conexão hidráulica em alguns locais, chegando a ser possível verificar-se a conectividade em alguns poços artesianos implementados nos níveis do Miocénico (calcário arenoso) (Silva, 1984). A formação geológica do aquífero está representada na figura 3.2.

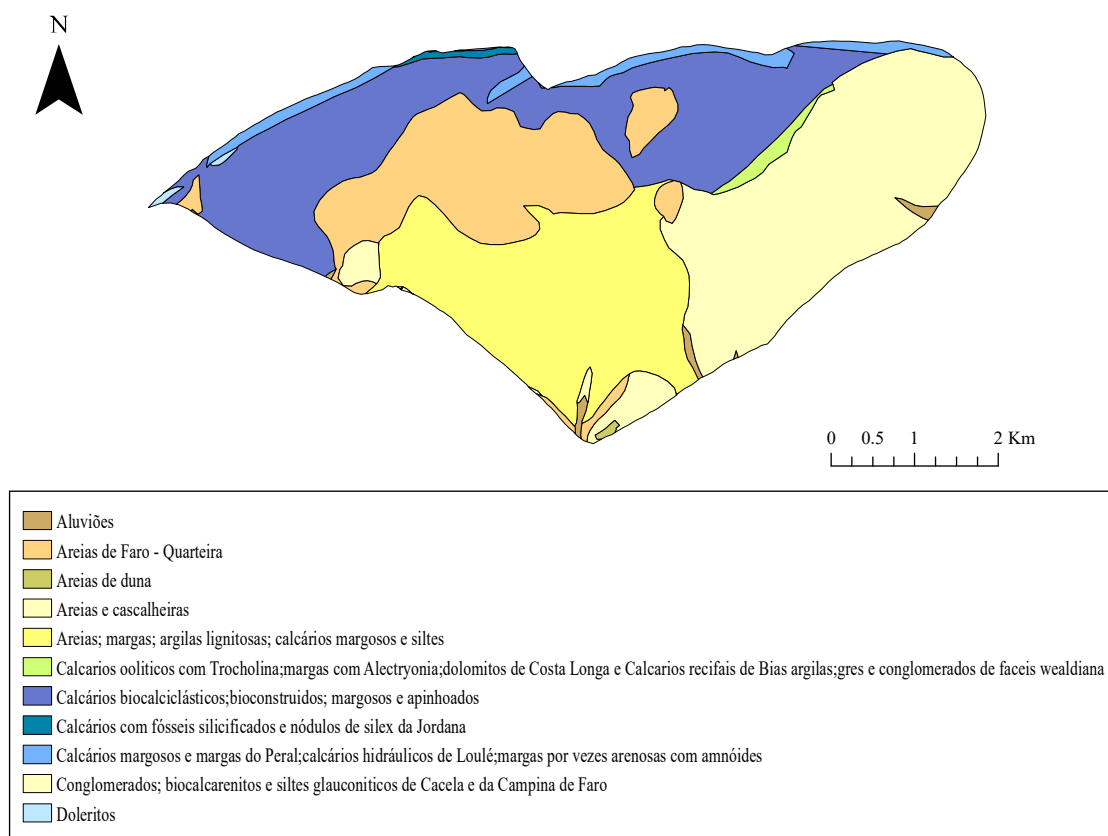


Figura 3.2-Conformação geológica do sistema

Em quase toda a sua extensão o sistema é formado por calcários, exceto no limite sul, onde podem ser encontradas afloramentos de rochas evaporíticas (Almeida *et al.*, 2000).

Uma anomalia gravimétrica evidencia a existência de um diapiro de orientação N53°E, situado a NE de Moncarapacho. Esta formação, juntamente com as características litológicas dos calcários entre o Cerro da Cabeça e a cidade de Tavira, favorecem um fluxo subter-

râneo com direção sensivelmente este-oeste (Silva, 1984). Almeida *et al.*, (2000) refere a existência de transferência de água entre o sistema de Luz-Tavira e o de Peral-Moncarapacho com a conexão entre os dois sistemas a efetuar-se por uma falha no local de contato dos aquíferos. Bonte (1999) e Costa (2011) com base em valores piezométricos elevados a norte do aquífero sugerem a existência de uma recarga adicional neste mesmo limite proveniente do aquífero do Malhão. Os mesmos autores admitem ainda que esta transferência se faz através de uma falha geológica de direção N-S. Bonte (1999) sustenta essa possibilidade citando que De Vries *et al.*, (1999) referiram que estas falhas são uma das mais importantes fontes de recarga dos aquíferos do Algarve. Costa (2011) enuncia que essa transferência a norte tem origem no aquífero Malhão.

3.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

3.3.1 Precipitação

O Algarve, região em que se insere o SALT caracteriza-se por um clima Mediterrânico. Esta região apresenta uma temperatura média anual de 16.6°C e de 17.3°C nas estações meteorológicas de São Brás de Alportel e da Picota respetivamente (SNIRH, 2015).

Tabela 3.1-Valores de Precipitação registados pelos pluviómetros mais próximos

Estação	Nº de Valores	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Intervalo Temporal
Arábia	5	186.5	365.2	362.3	563.7	01/10/1980 - 01/10/1984
Estoi	26	218.5	617.0	615.6	1371.0	01/10/1980 - 01/10/2007
Fuseta	5	229.6	361.0	362.7	508.8	01/10/1980 - 01/10/1984
Olhão	5	332.3	498.3	528.6	700.3	01/10/1980 - 01/10/1984
Picota	69	180.8	608.6	594.5	1353.9	01/10/1934 - 01/10/2006
Quelfes	20	188.0	606.7	592.7	1240.5	01/10/1981 - 01/10/2005
Sta. Catarina	42	296.6	721.4	709.8	1502.7	01/10/1960 - 01/10/2001
S.B. de Alportel	99	145.2	827.3	769.3	1614.6	01/10/1901 - 01/10/2011

Também relativamente à precipitação a nível nacional, Nicolau (2002) recorreu a métodos de interpolação geoestatística, com séries de precipitação para o período de tempo entre 1959/60 e 1990/91 para determinar valores de precipitação média mensal e anual com uma resolução de 1 Km². No que diz respeito ao Algarve a autora concluiu, que a precipitação média anual oscila entre os 414 mm/ano e os 1847 mm/ano, calculando uma média de 605.30 mm/ano. Segundo a mesma autora, para os limites do aquífero a precipitação média

corresponde a 605.04 mm/ano. A figura 3.3 apresenta os polígonos de precipitação definidos pela autora para o aquífero Luz-Tavira.

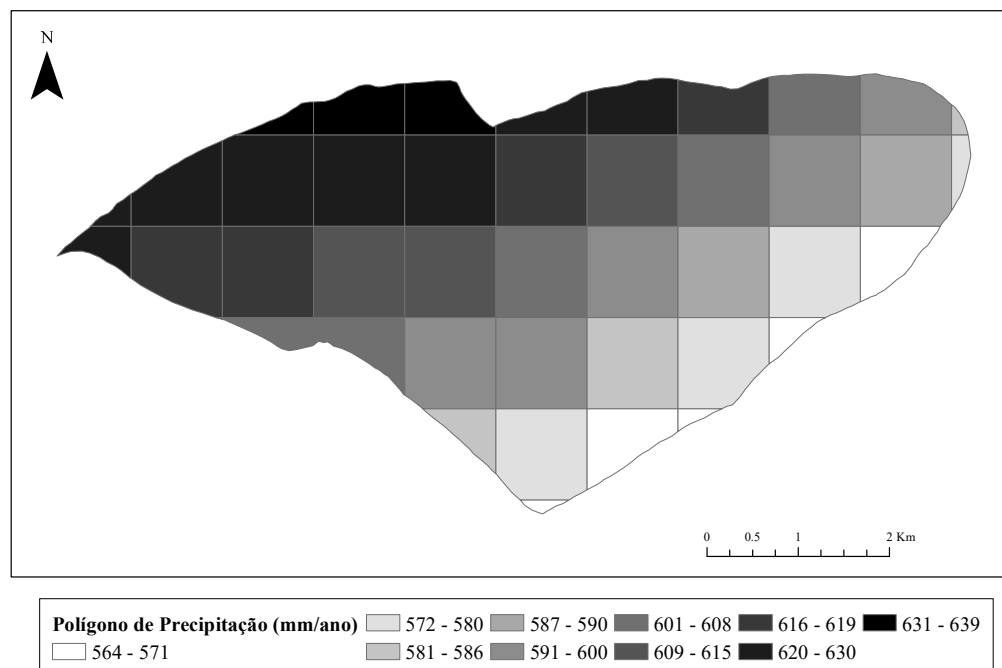


Figura 3.3- Polígonos de Precipitação do Sistema Aquífero Luz-Tavira

3.3.2 Balanço Hídrico

O SALT apresenta uma recarga por infiltração direta da água da chuva e uma recarga induzida por transferências de outros sistemas vizinhos. Desde a abertura do Sistema de Rega do Sotavento, além da recarga natural, o sistema sofre ainda recarga através do retorno da rega com água superficial.

Quanto à recarga direta no aquífero Luz-Tavira, Almeida *et al.*, (2000) assumiu que 13.5 km² são formados por depósitos detríticos e 8,5 km² por calcários. Os mesmos assumiram uma taxa de recarga de 20% nos depósitos detríticos e de 50% nos calcários sem cobertura, com uma precipitação de 600 mm. Por fim, obtiveram um valor de produtividade de 4 hm³/ano considerando 0.8 hm³/ano de extrações para abastecimento público e 3 hm³/ano para rega (Almeida *et al.*, 2000).

Monteiro *et al.*, (2003) estimou através de modelação numérica o balanço hídrico deste sistema em 6 hm³/ano, sem considerar as extrações.

Vieira & Monteiro (2003), recorrendo a uma modelação numérica em elementos finitos, obtiveram um balanço hídrico de 4.77 hm³/ano.

Santos & Miranda (2006) estimam as extrações para consumo humano em 0.001 hm³/ano e 0.4 hm³/ano para rega. Estes valores podem estar subestimados uma vez que os autores apenas centraram a sua análise nas captações licenciadas.

Reis (2007), com base em valores de Almeida *et al.*, (2000), estimou uma recarga de 4.8 hm³/ano, ao incluir a recarga artificial que o aquífero recebe por infiltração da água de rega superficial. A mesma assumiu a descarga no sistema em 3.2 hm³/ano e 0.4 hm³/ano através das captações e de nascentes naturais respetivamente, quantificando o balanço hídrico em 1.2 hm³/ano.

Costa (2011) estudou o comportamento do aquífero face a vários cenários de exploração hipotéticos e concluiu que se verificava um fenómeno de recarga induzida a partir dos sistemas aquífero Peral- Moncarapacho e Malhão, aquando da sobre-exploração do sistema.

O PGBH (2011) define o valor de recarga média anual do sistema como sendo de 5.07 hm³/ano e indica que os valores das extrações conhecidos são de 0.91 hm³/ano. No entanto, este mesmo documento indica que as extrações estimadas alcançam os 2.07 hm³/ano.

Atualmente este aquífero encontra-se numa situação inversa à que se verificava no final do século XX. Devido essencialmente à entrada em funcionamento do Perímetro de Rega do Sotavento (PRS), e também do Sistema Municipal de Abastecimento e Saneamento (SMAS), o sistema passou a registar um aumento nos níveis piezométricos. Ou seja, este encontra-se subexplorado, o que também pode potenciar alguns problemas como submersão e apodrecimento de culturas (devido à subida dos níveis piezométricos até níveis bastante próximos da superfície) (Stigter *et al.*, 2006).

3.3.3 Transmissividade

Almeida *et al.*, (2000) estimaram que para este sistema a transmissividade, com base em ensaios de caudal, é de cerca de 384 m²/dia (valor médio), apresentando uma mediana de 104 m²/dia. Os valores relativos a este estudo oscilam entre os 25 e os 1939 m²/dia. Para este mesmo parâmetro hidráulico, Silva (1984), obteve valores entre 24 a 30 m²/dia e 500 a 2000 m²/dia dependendo do local. Estes valores evidenciam a heterogeneidade existente nas formações rochosas deste sistema.

3.3.4 Evolução do Uso da água

Devido ao regime semiárido da região e à geologia da mesma, os rios e ribeiras tendem a apresentar escoamento superficial na zona xistosa (Serra do Caldeirão). No entanto, aquando da passagem pelos terrenos calcários do Barrocal, estes tendem a infiltrar-se, o

que faz com que as linhas de água não apresentem caudal durante a estação seca (Stigter, *et al.*, 2006). O sistema está sujeito a várias pressões antropogénicas nas suas proximidades, contribuindo para a degradação, e conseqüente alteração da qualidade da água. Aquando a sobre-exploração do sistema (Século XX), segundo análises feitas em anos anteriores, os valores associados aos parâmetros de qualidade, como os Cloretos, Magnésio, Sódio, Condutividade e Dureza, apresentaram números muito elevados, indicando que todo o conjunto se encontrava afetado pelo excesso de uso de fertilizantes e por possíveis fenómenos de intrusão salina (Almeida *et al.*, 2000).

A partir de 2001 existe uma aposta no abastecimento através de água superficial, no caso concreto da região de Tavira, através do uso da água armazenada no sistema de albufeiras Odeleite-Beliche. Ao usar a água do PRS para a agricultura nesta região, passou a existir uma recarga adicional, essencialmente no verão, originada pelo retorno da água da rega. Isto comprometeu o equilíbrio hidrológico do sistema e em conjunto com a sua subexploração levou à subida do nível piezométrico, culminando em problemas, como por exemplo, o alagamento e apodrecimento das culturas de citrinos na estação mais chuvosa (Stigter *et al.*, 2006).

3.3.5 Análise Piezométrica

Atualmente existem 16 aquíferos/sistemas aquíferos conhecidos no Algarve, na sua maioria cársicos e costeiros, estes encontram-se representados na figura 3.4.

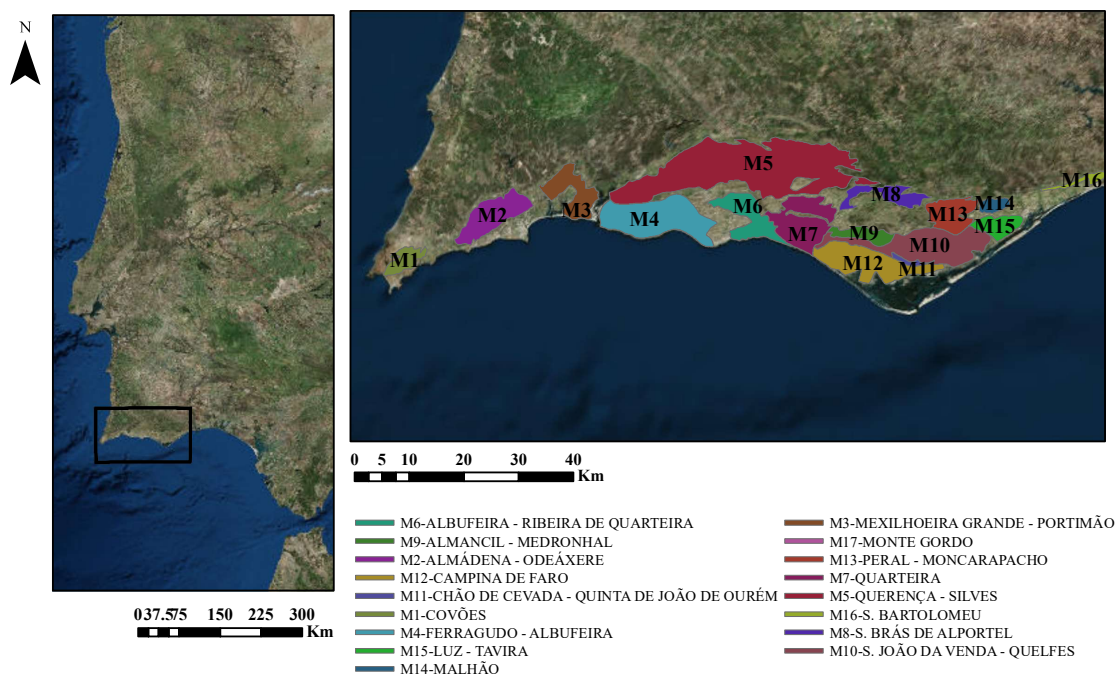


Figura 3.4 - Aquíferos e Sistemas Aquífero do Algarve

Segundo Almeida et al, (2000) existem alguns destes aquíferos que estão em conexão hidráulica com aquíferos circunjacentes, havendo por isso transferência de água entre aquíferos em alguns casos.

Estas transferências além de poderem ser diretas podem ainda ser conduzidas por falhas geológicas (De Vries *et al.*, 1999).

No Sotavento Algarvio existem aquíferos que segundo Almeida *et al.*, (2000) se encontram em conexão entre si e cuja água transferida acaba por ser descarregada na Ria Formosa. Esta zona de foco com particular interesse para o caso de estudo atual, o aquífero Luz-Tavira, encontra-se representada na figura 3.5.

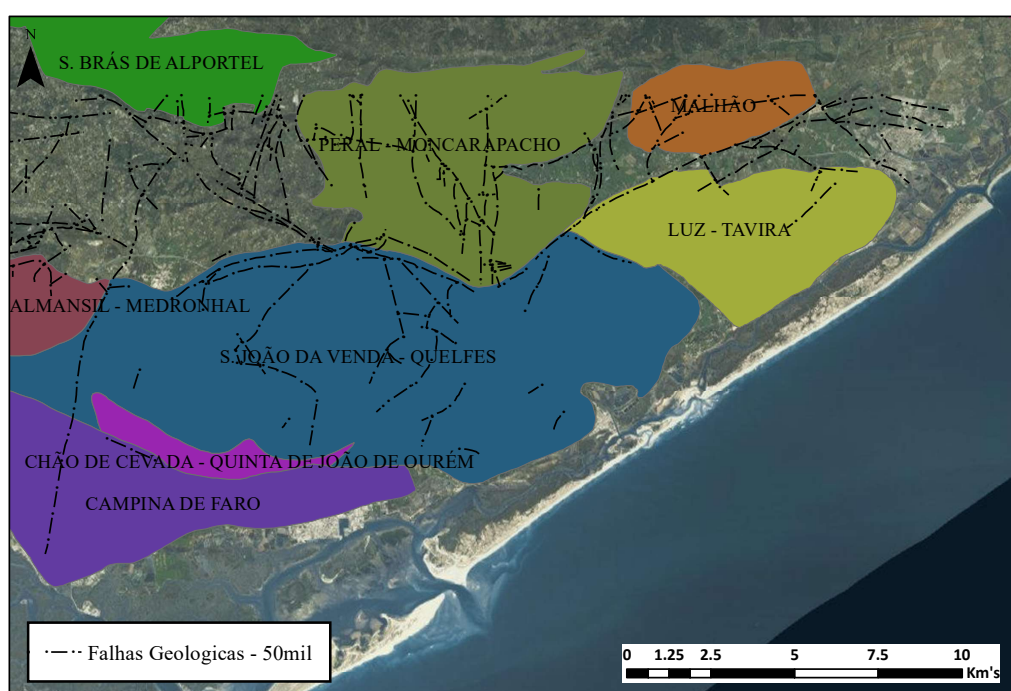


Figura 3.5-Conexão entre aquíferos por falhas geológicas

De forma a compreender o comportamento piezométrico do sistema em estudo e caracterizar o escoamento da água subterrânea no mesmo, foram analisados os dados piezométricos em dois períodos distintos: pré 2000 e pós 2000. Períodos estes que estão separados pela implementação do PRS e do SMAS.

Esta análise contribuirá posteriormente para a definição das condições fronteiras e das camadas de transferência no modelo numérico.

Neste caso os dados usados para obtenção dos mapas piezométricos foram os registados de agosto de 1997 a setembro de 1999, por Stigter & Carvalho Dill (2001), juntamente com os dados do SNIRH desde 1984 até 2000 e de 2001 até 2014. Este aquífero apresenta uma fase de sobre-exploração, no período anterior a 2001, em que o aquífero era usado para

rega e abastecimento público, e outra fase de subexploração, que se estende desde 2001, com a implementação do PRS e do SMAS, até à atualidade.

Na figura 3.6 é possível localizar os piezómetros, onde foram registados os dados obtidos através da plataforma *online* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, 2014) e os pontos de amostragem do estudo Stigter & Carvalho Dill (2001).

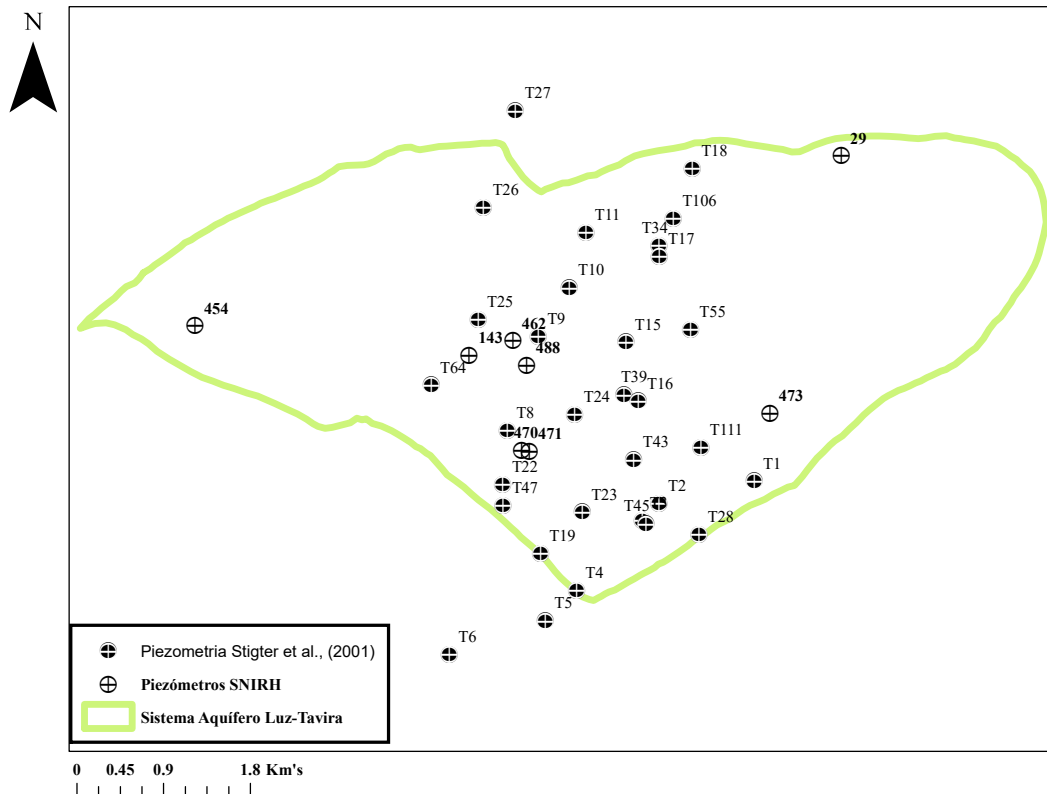


Figura 3.6-Localização dos piezómetros

Os valores históricos de piezometria do SNIRH estão representados no gráfico da figura 3.7.

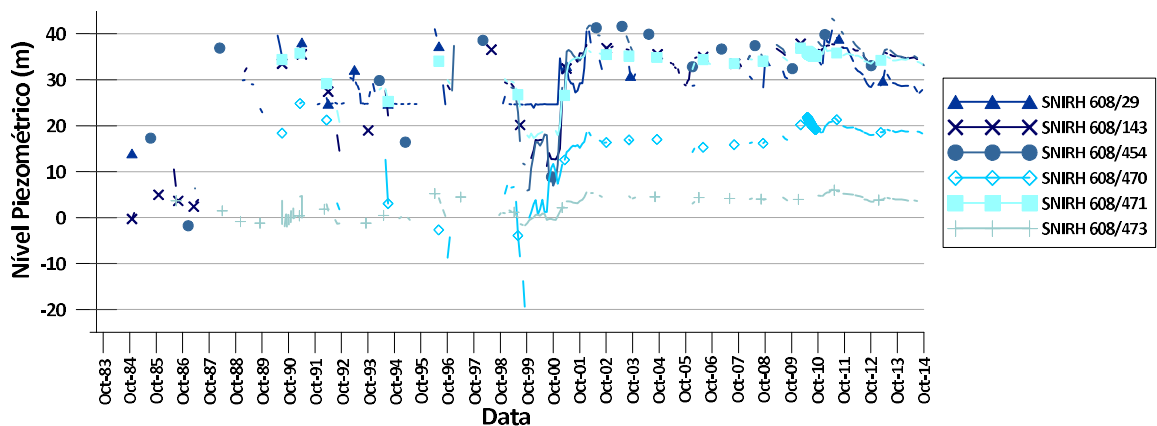


Figura 3.7 - Evolução piezométrica do sistema (dados do SNIRH)

Como pode ser visualizado no gráfico, o nível piezométrico aumentou na generalidade do aquífero desde o ano 2001, ano este que coincide com a entrada do regime de abastecimento e rega com água de superfície. Anteriormente a este período, os níveis do aquífero apresentavam maiores variações sazonais. Em outubro registavam-se os valores mais baixos de piezometria e daí até abril, no período mais chuvoso, verificava-se a subida do nível piezométrico. Verifica-se ainda que em diferentes períodos da história foram registados níveis piezométricos abaixo do nível médio do mar (negativos), pelos piezómetros 608/470, 608/454 e ainda pelos 608/473 e 608/143 (valores não muito abaixo de zero). No entanto através da figura 3.6 verifica-se que o piezómetro 608/470 e o 608/471 se encontram lado a lado, estando muito próximos geograficamente. Como tal, a discrepância de valores do piezómetro 608/470 para outros relativamente próximos, indica que este piezómetro não está a medir valores do aquífero freático. Admite-se assim que este está a medir o nível piezométrico num aquífero inferior, ou num aquífero suspenso. Desta forma, excluem-se os valores medidos no piezómetro 608/470 para a elaboração dos mapas piezométricos do sistema.

É também visível através do gráfico que, anteriormente a 2001, os valores de piezometria tinham, em alguns anos, picos semelhantes aos registados atualmente, que correspondem a períodos históricos bastante chuvosos. A partir de 2001 este perfil piezométrico do gráfico mantém-se elevado e constante devido à recarga adicional da infiltração da água de rega com água superficial (PRS). Atualmente o sistema possui uma recarga natural nos meses mais pluviosos e uma recarga adicional no verão derivada do retorno de rega com água de superfície (Reis *et al.*, 2004).

Através dos dados de Stigter & Carvalho Dill (2001) é também possível criar um gráfico que representa a evolução da piezometria de forma constante no sistema, num período de dois anos pré implementação do SMAS e PRS. Para facilitar a visualização do gráfico foram apenas escolhidos alguns piezómetros relativamente espaçados uns dos outros, de acordo com a sua localização geográfica. Esta representação apresenta-se no gráfico da figura 3.8.

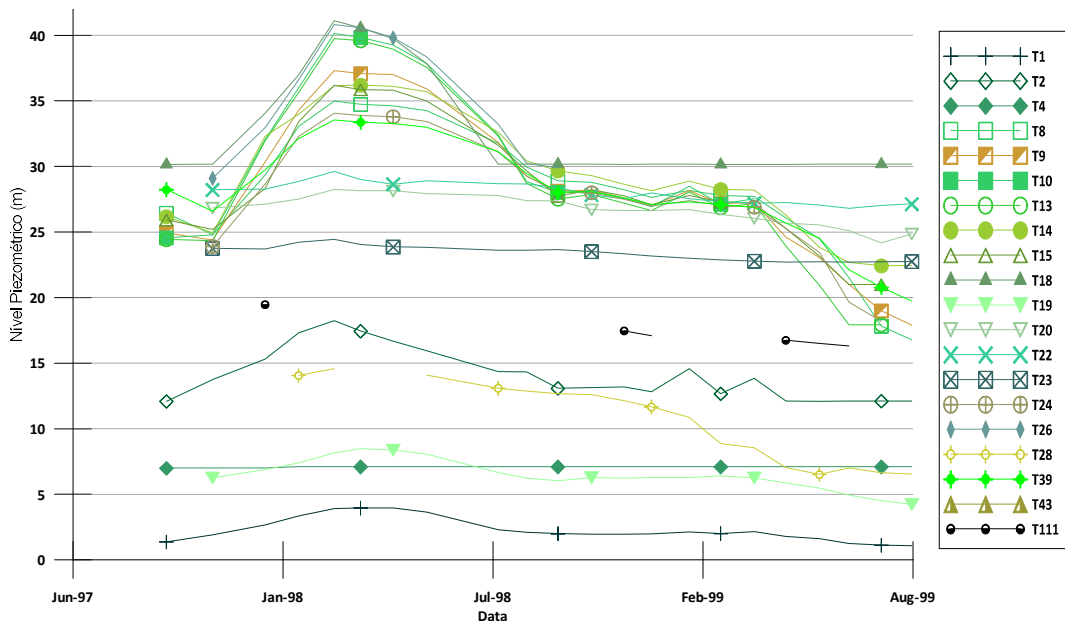


Figura 3.8 - Evolução piezométrica do sistema (dados de Stigter & Carvalho Dill, 2001)

Na generalidade dos dados verifica-se que quanto mais próximo do litoral menor o nível piezométrico, como seria de esperar. Este escoamento é alterado aquando o seu encontro com as falhas geológicas do sistema, em que falhas de orientação N-S conduzem o escoamento e falhas E-O obstruem a passagem da água (Bonte, 1999). Stigter e Carvalho Dill (2001) indicam que o escoamento no aquífero superior se faz conforme o observado na figura 3.9.

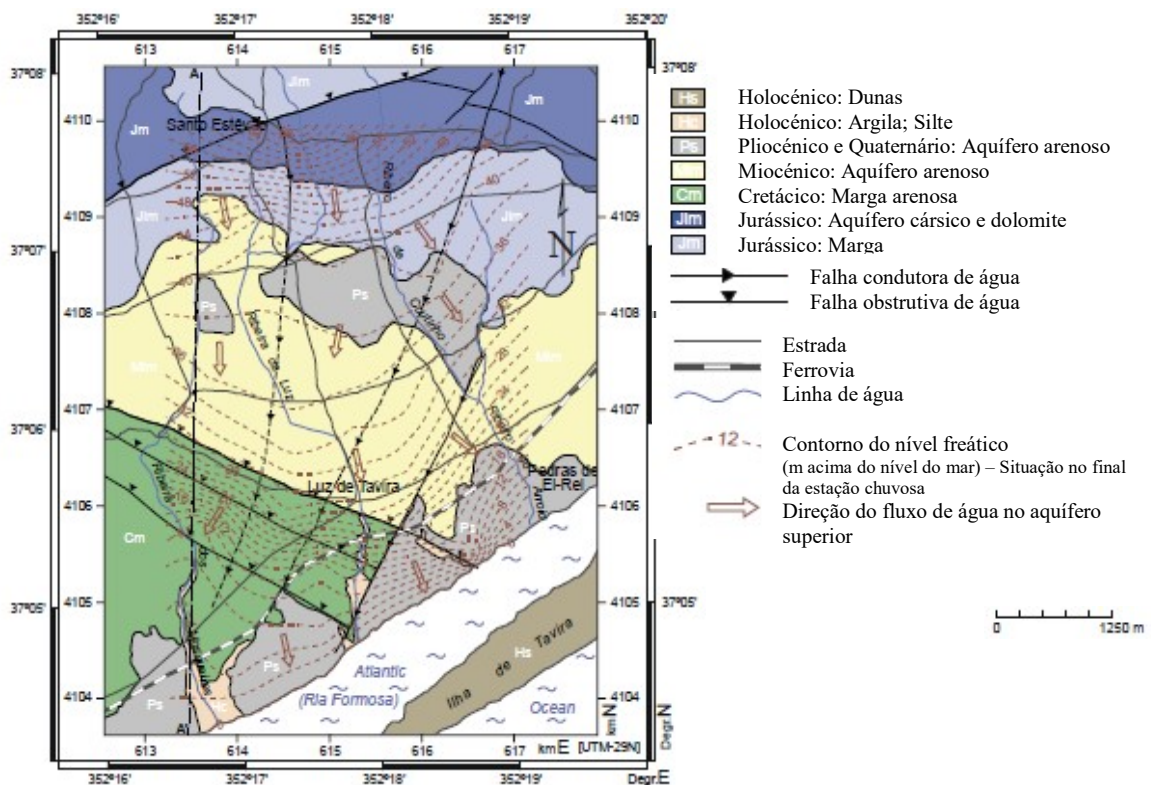


Figura 3.9 - Mapa hidrogeológico da campina da luz, adaptado de (Stigter 2005)

Na figura 3.10 encontra-se uma representação do escoamento no sistema em corte.

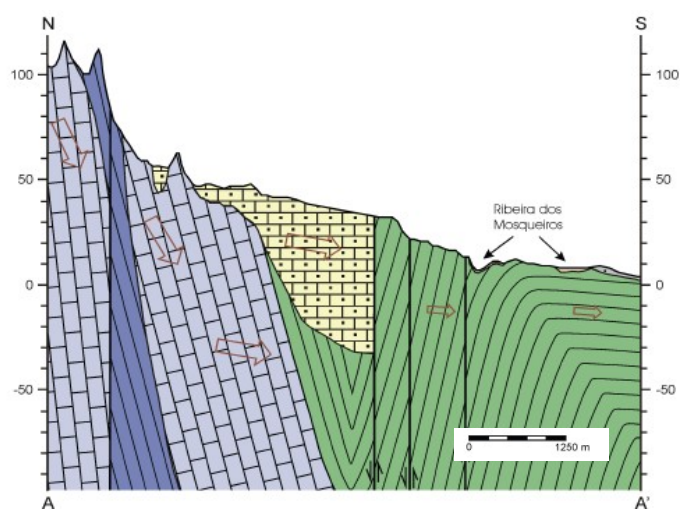
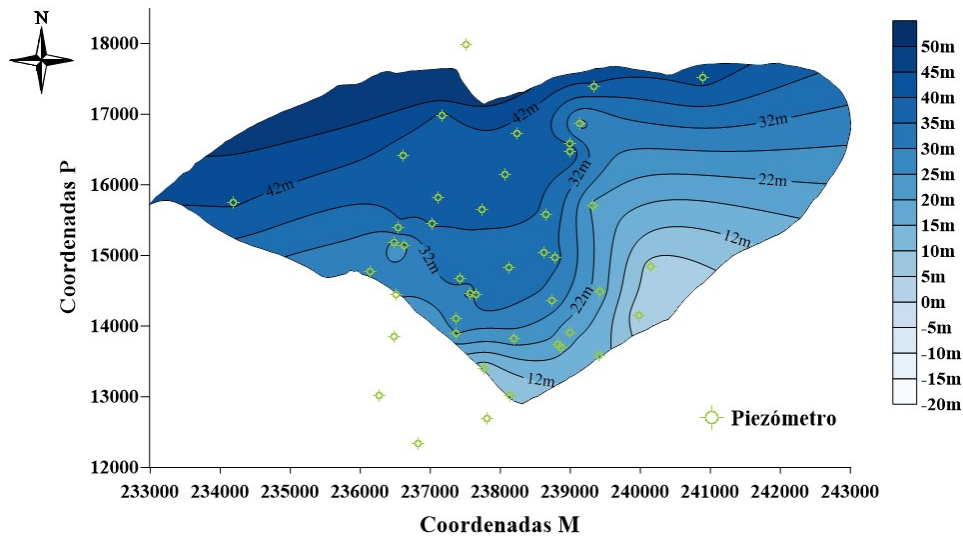


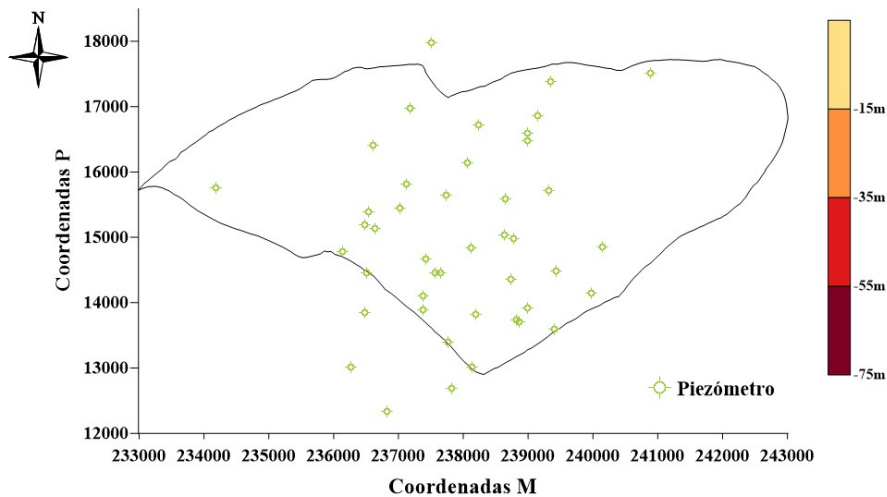
Figura 3.10 - Corte geológico da Campina da Luz (ver a figura 3.9 para saber localização do corte), adaptado de (Stigter 2005)

Para alcançar os objetivos pretendidos para este trabalho é necessária uma base de conhecimento sistema aquífero o mais completa possível. Como tal, é imprescindível conhecer o seu comportamento piezométrico. Como ferramenta de análise foram elaborados três mapas do sistema, representados na figura 3.11 (máximo), 3.13 (mediano) e 3.15 (mínimo) para o período anterior à entrada em funcionamento do PRS. A cota da localização da interface água doce-salgada no sistema, para os mesmos mapas, calculada segundo o Princípio de Ghyben-Herzberg, está representada nas figuras 3.12, 3.14 e 3.16, respetivamente.



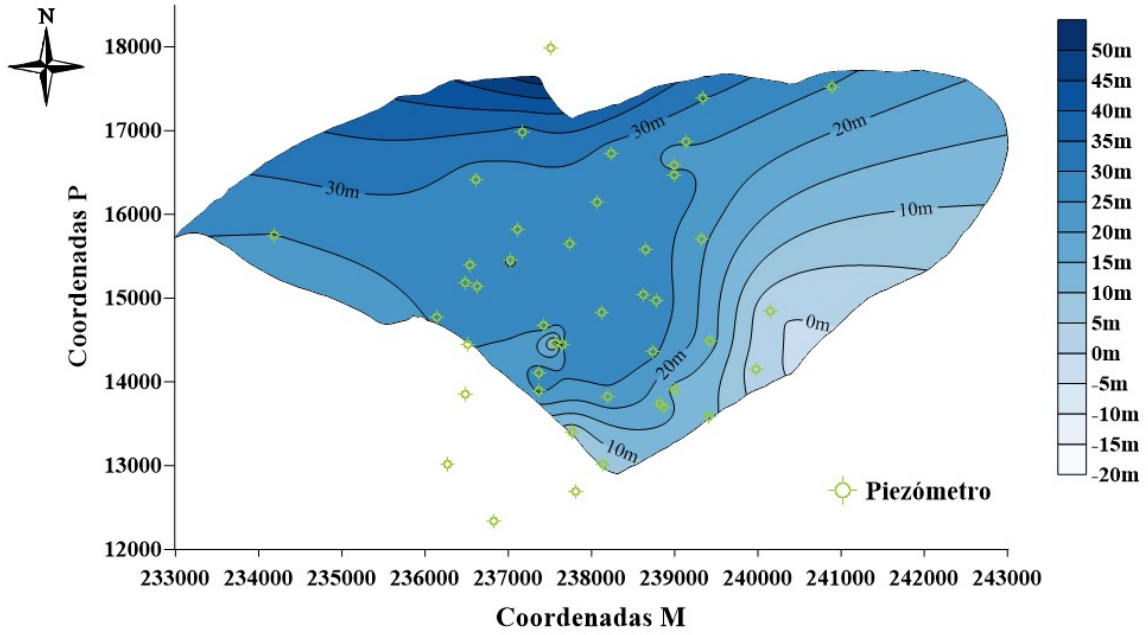
Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.11- Níveis Piezométricos máximos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento

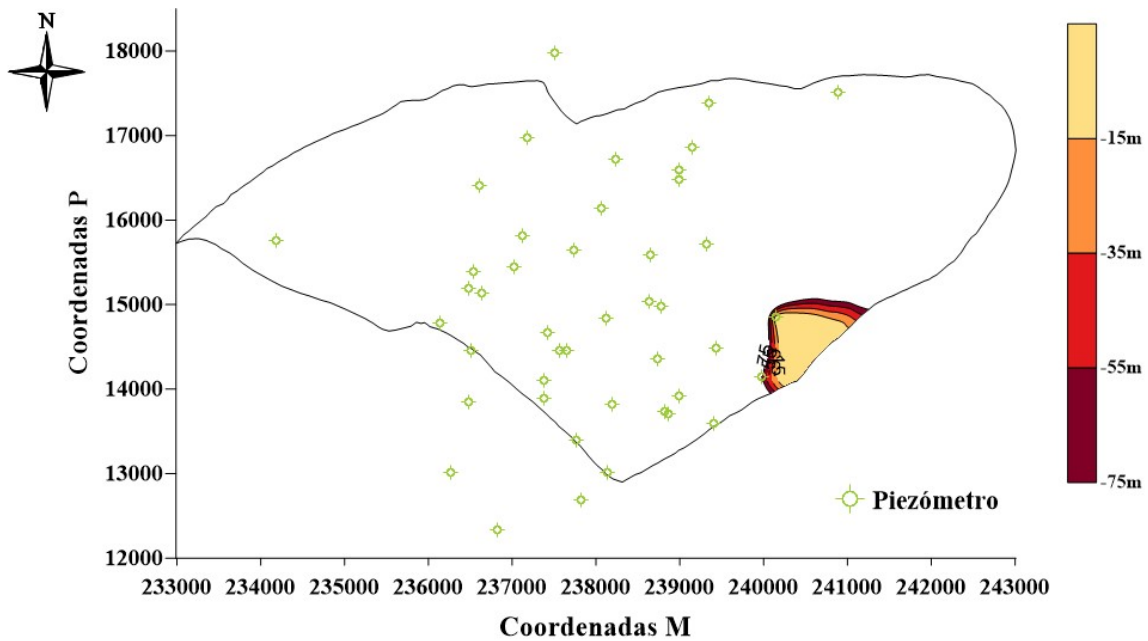


Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

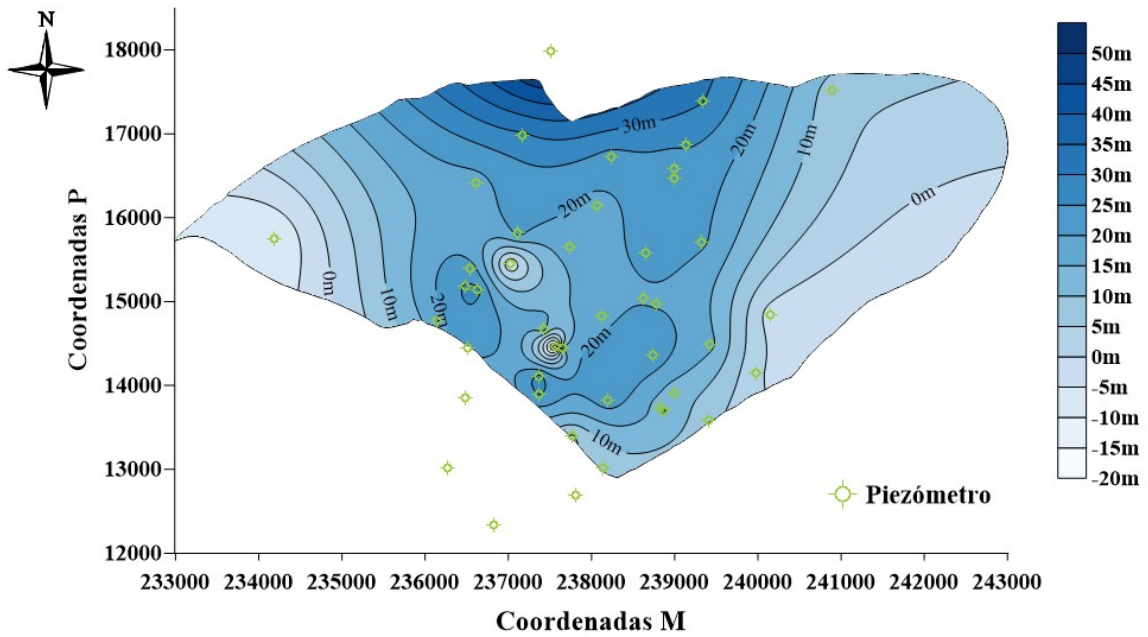
Figura 3.12 - Cota da interface para os níveis piezométricos Máximos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento



Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*
 Figura 3.13 - Mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento



Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*
 Figura 3.14 - Cota da interface para a mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pré- Perímetro de Rega do Sotavento



Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.15- Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento

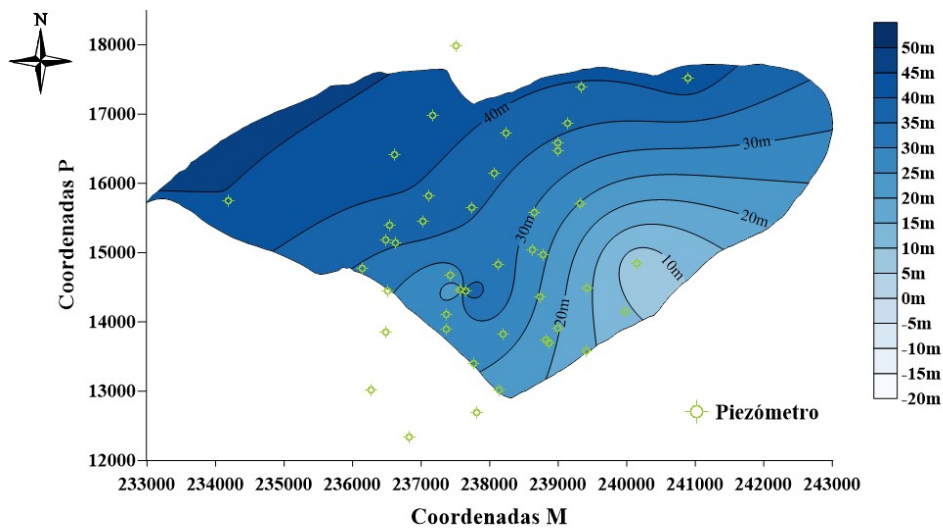


Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.16 - Cota da interface dos Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pré - Perímetro de Rega do Sotavento

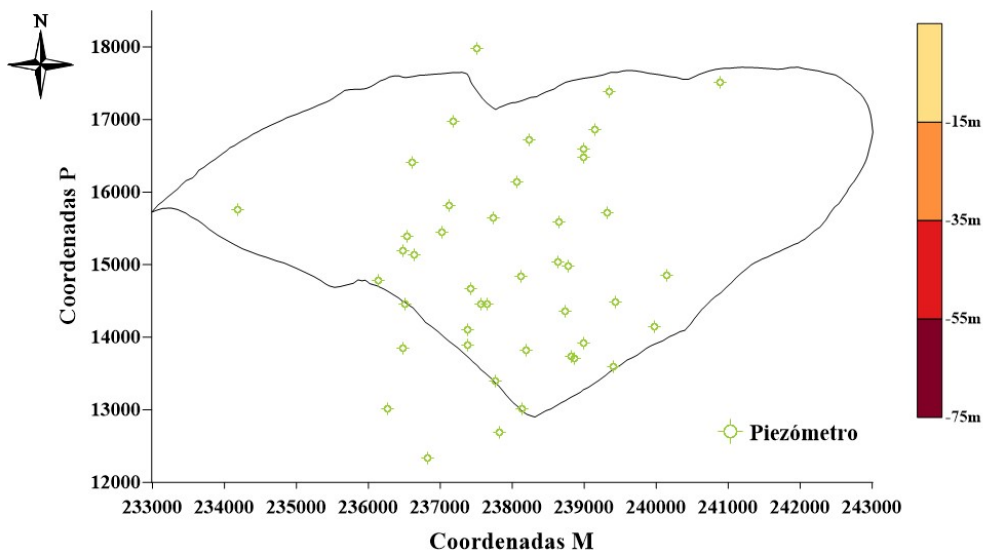
Para o período anterior à implementação do PRS e, conseqüentemente, da utilização de água superficial para esse fim, verifica-se que, segundo o princípio de Ghyben-Herzberg, o sistema aquífero estaria em risco de intrusão salina na faixa litoral que atualmente corresponde à Área Crítica. A extensão da intrusão agrava-se quando se registaram valores mínimos de piezometria, como pode ser observado na figura 3.16.

No período pós entrada em funcionamento do PRS os níveis piezométricos estão representados nas figuras 3.17 (máximo), 3.19 (mediana) e 3.21 (mínimo) e as respectivas cotas de interfaces apresentam-se nas figuras 3.18, 3.20 e 3.22.



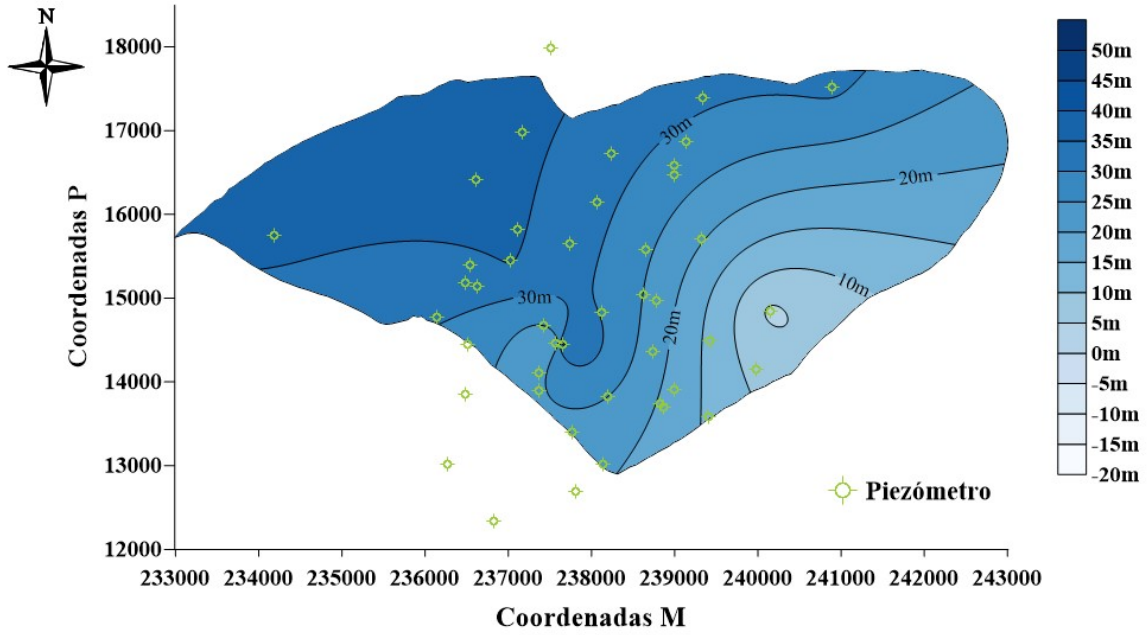
Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.17 -Níveis Piezométricos máximos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento



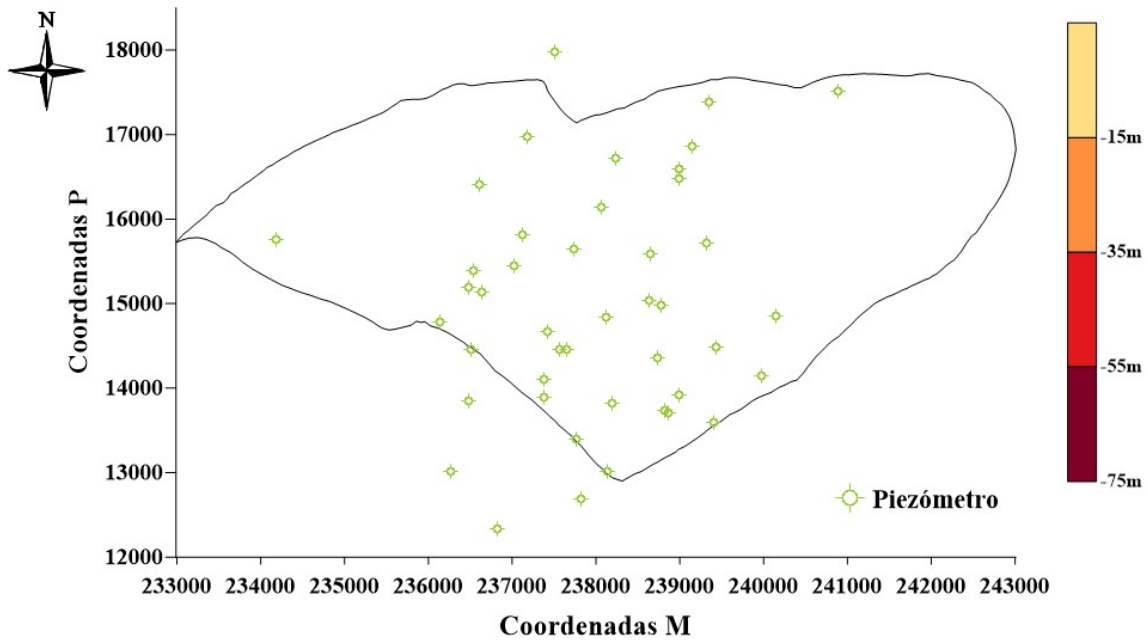
Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.18 - Cota da interface para os níveis piezométricos Máximos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento



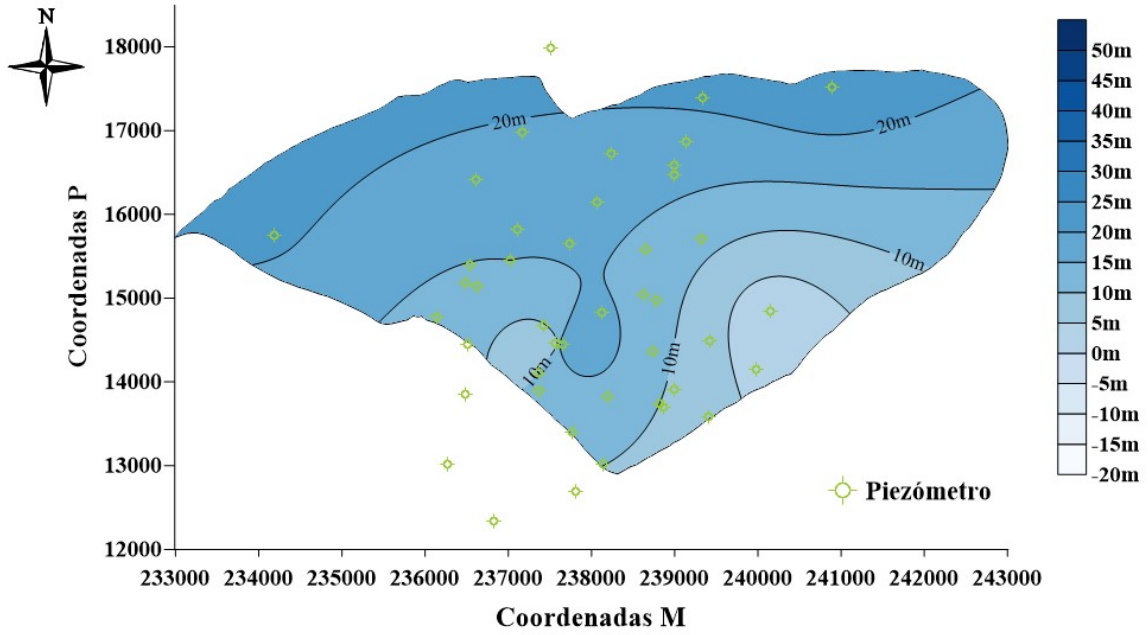
Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.19- Mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento



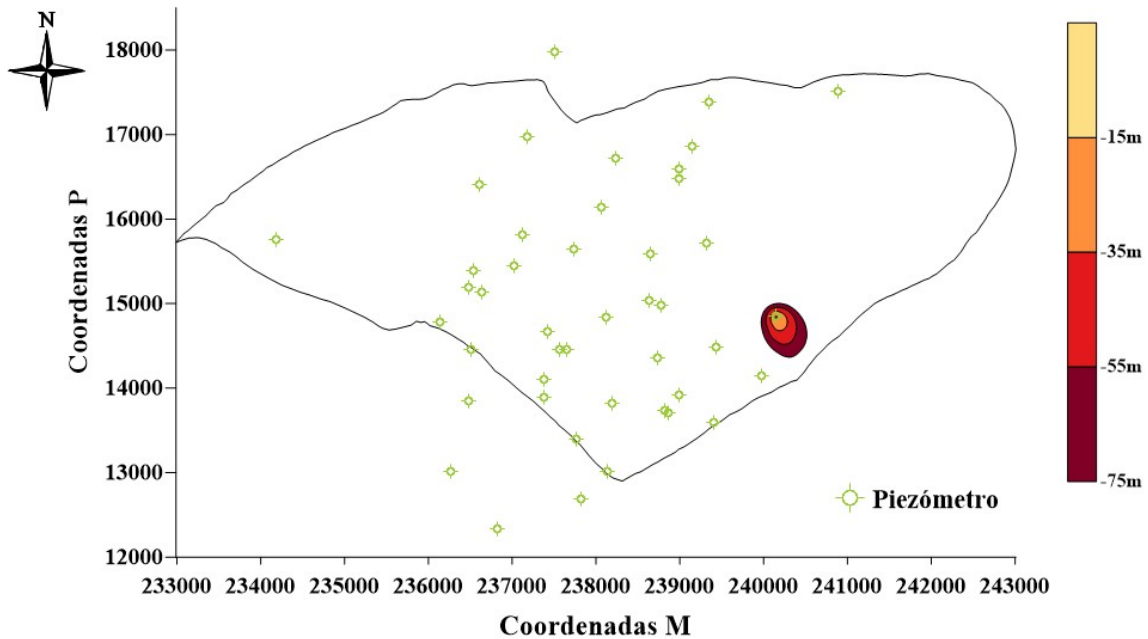
Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.20 - Cota da interface para a mediana dos Níveis Piezométricos registados no período Pós- Perímetro de Rega do Sotavento



Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.21 - Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento



Sistema de Coordenadas Cartográficas: *Universal Transverso de Mercator (UTM) -Lisbon/Portuguese National Grid*

Figura 3.22 - Cota da interface dos Níveis Piezométricos mínimos registados no período Pós - Perímetro de Rega do Sotavento

Após a entrada em vigor do PRS, situação essa que reflete o cenário atual de exploração no SALT, a aplicação do Princípio de Ghyben-Herzberg não revela problemas relacionados com a intrusão salina para o sistema. Verifica-se apenas um rebaixamento junto a uma captação no litoral (zona sudeste) que muito provavelmente será um efeito localizado provocado pela entrada em funcionamento dessa captação para extração de água.

Ao analisar os mapas de piezometria e o escoamento no geral, verifica-se que este se faz predominantemente de Noroeste (principal zona de recarga pelo aquífero Peral-Moncarapacho) para Sudeste. Verifica-se também um fluxo norte-sul na zona central do aquífero, correspondente a uma possível recarga vinda do Malhão. A descarga do sistema tem sempre como destino a Ria Formosa. No entanto é possível verificar que os valores mais baixos alguma vez registados correspondem à da zona oeste do aquífero (figura 3.15). Segundo o mapa de usos do solo, cedido pela *APA IP-ARH Algarve*, esta zona corresponde a uma zona de cultivo de citrinos (plantação que requer uma elevada dotação de água e que existe em grande quantidade por todo o Algarve). Situação que não acontece atualmente, uma vez que o mapa da figura 3.15 tem por base valores correspondentes ao século XX. O aquífero encontra-se atualmente com níveis piezométricos mais elevados.

De acordo com os mapas da interface, a localização da interface apenas é preocupante no caso de se voltarem a registar valores de piezometria semelhantes aos valores mínimos observados antes da entrada em vigor do PRS, valores estes registados quando o abastecimento e rega na zona do aquífero eram efetuados única e exclusivamente com água do sistema aquífero. Estes valores justificam a largura da Área Crítica atualmente definida e as limitações a novos licenciamentos nessa área.

Ainda de acordo com os mapas piezométricos, é possível visualizar as principais zonas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Luz-Tavira. Estas zonas, representadas na figura 3.23, servirão para impor condições fronteiras no aquífero. A zona de recarga a oeste representa a fronteira em que ocorrem transferências do Sistema Aquífero Peral-Moncarapacho. A norte existe a zona de recarga do Malhão, feita por falhas geológicas. No limite com a Ria Formosa dá-se a descarga de água do sistema.

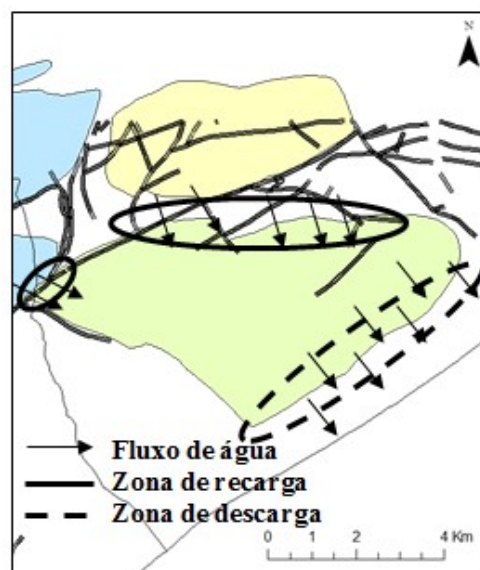


Figura 3.23- Zonas de descarga e recarga no sistema

4 MODELAÇÃO

Um modelo é uma ferramenta criada para representar uma versão simplificada da realidade. No caso dos modelos de fluxo em águas subterrâneas a sua função é a mesma e podem ser úteis na previsão e na gestão do futuro destas reservas de água. O modelo é mais representativo quanto mais próximas forem as condições do modelo às condições reais (Wang & Anderson, 1995).

O desenvolvimento de um modelo conceptual do funcionamento do sistema aquífero Luz-Tavira, após ter sido inicialmente proposto por Silva (1984), tem vindo a receber contributos progressivos através da contribuição de trabalhos posteriores (Almeida *et al.*, 2000; Monteiro *et al.*, 2003a; Monteiro *et al.*, 2003b; Stigter, 2005; Costa, 2011).

Monteiro *et al.*, (2003b) simularam o balanço hídrico do Sistema Aquífero Luz-Tavira, obtendo um escoamento de 6×10^6 m³/ano. No entanto, não se consideraram as extrações verificadas no sistema e por esta razão não houve deformações no mapa piezométrico. Ainda assim, verificou-se que a direção regional do escoamento era compatível com o modelo conceptual.

Monteiro *et al.*, (2003a) definiu classes de transmissividade para o modelo numérico baseadas nas classes litológicas.

Segundo Rodrigues (2007), após o estudo do efeito no balanço hídrico do sistema perante 4 cenários de exploração do sistema aquífero concluiu que perante um regime de exploração intensivo, a recarga do sistema aquífero não é suficiente para manter o equilíbrio das extrações (para a modelação o autor afirma não ter considerado as transferências de água vindas do sistema aquífero Malhão e Peral-Moncarapacho).

Por último, Costa (2011) redefiniu as zonas de transmissividade e determinou, por calibração inversa, a distribuição espacial da transmissividade. O mesmo autor incluiu os contributos provenientes dos aquíferos do Malhão e Peral-Moncarapacho.

Esta última versão do modelo numérico atualizado por Costa (2011) foi a versão base usada para as simulações a realizar na dissertação, no entanto, o mesmo efetuou as suas simulações ignorando o fluxo orientado pela densidade. Adicionalmente estimativas de extração para uso privado foram distribuídas por nós correspondentes a furos de extração conhecidos, e para eventuais cenários futuros de aumento de área regada e exploração de água subterrânea, com vista à rega dessa mesma área. Os valores de extração para cada furo foram

calculados com base na área a regar, no número de furos em funcionamento e nas dotações de rega para cada tipo de cultura.

4.1 MODELOS NUMÉRICOS

Atualmente a simulação do fluxo da água e transporte com recurso a modelos numéricos é uma das metodologias mais evoluídas que permite representar o funcionamento hidráulico do sistema aquífero a que corresponde o modelo numa realidade aproximada (Scanlon *et al.*, 2003). A modelação numérica assume-se como uma das mais importantes e fomentadas ferramentas para a gestão dos recursos de águas subterrâneas (Monteiro, 2005).

Através de modelos numéricos é possível tentar prever o que acontece ao aquífero num determinado cenário de exploração, ou sob a influência das alterações climáticas e estimar ainda alguns parâmetros hidráulicos (Scanlon *et al.*, 2003).

Numericamente, a equação de escoamento da água subterrânea em determinadas condições de fronteira pode ser descrita através do Método de Elementos Finitos, que consiste no integral de equações parciais diferenciais, no espaço, por forma a simular o escoamento complexo numa dada geometria. A aplicação deste método é descrita por vários autores (Huyakorn *et al.*, 1983, Kinzelbach, 1986, Wang *et al.*, 1982 e Bear *et al.*, 1987).

4.1.1 Princípios Físicos simulados pelo Modelo – Regime Permanente

Os princípios físicos na base da simulação do comportamento hidráulico de um aquífero podem ser expressos da seguinte forma (Kinzelbach, 1986):

Equação 4.1- Equação de fluxo em regime transitório

$$S \frac{\partial h}{\partial t} + \text{div}(-[T] \text{grad} h) = Q$$

Em que T é a transmissividade [$L^2 T^{-1}$]; h é o potencial hidráulico [L]; Q é o fluxo volumétrico por unidade de volume [$L^3 T^{-1} L^{-3}$], e S é o coeficiente de armazenamento [-]. Esta equação será resolvida pelo método de elementos finitos, que é atualmente um método comum na hidrogeologia (Huyakorn&Pinder, 1983; Kinzelbach, 1986; Wang&Anderson, 1982; Bear&Verujit, 1987).

No entanto, no caso do escoamento em regime permanente, as variáveis são independentes do tempo, aplicando-se assim a equação 4.2.

Equação 4.2 - Equação de fluxo em regime permanente

$$\text{div}(-[T] \overrightarrow{\text{grad}} h) + Q = 0$$

4.1.2 Condições Fronteira

A definição de condições fronteiras é essencial para o sucesso do modelo e para a resolução da equação do fluxo de água subterrânea. Existem essencialmente três tipos de condição fronteira (Fetter, 2001) (Reilly, 2001):

- **Dirichlet** – caso o nível da água seja conhecido na fronteira da região de escoamento, este passa a representar esta mesma condição fronteira. Isto é, durante a modelação é diretamente imposto um valor ao nível piezométrico nos nós da condição fronteira, valor este previamente conhecido e imposto pelo modelador. Esta condição pode gerar um fluxo de entrada no modelo quando nós vizinhos têm um potencial mais baixo, ou um fluxo de saída do modelo quando existe a situação inversa;
- **Neumann** – Neste tipo de condição aplica-se um fluxo pré-definido (fluxo de Darcy) para nós ao longo de uma linha (modelo 2D) ou para nós que representam o limite das arestas dos elementos (3D). Nesses mesmos nós para o cálculo do nível piezométrico, durante a simulação, considera-se uma entrada / saída adicional. Aplica-se uma condição fronteira deste tipo nos casos em que o gradiente de velocidade ou entrada / saída é conhecido com antecedência. Este pode ser o caso, por exemplo, para os influxos num aquífero, provenientes de fontes externas ou para a conexão com um aquífero vizinho onde o fluxo pode ser assumido como constante;
- **Cauchy** – Esta condição é calculada com base no h (nível piezométrico) conhecido de cada lado da sua fronteira, a qual submete uma condição que permite a passagem de fluxo na fronteira imposta (transferência). Esta condição aplica-se nos casos em que se conhece o nível do aquífero e de um meio a ele conectado ainda que de forma limitada, permitindo assim transferências entre os dois meios. Este pode ser o caso, por exemplo, para rios ou lagos com uma conexão limitada a águas subterrâneas (nível de água de superfície é igual ao nível freático).

4.1.3 Ferramenta de Modelação: *FE-FLOW*

Como ferramenta de modelação, recorreu-se ao *software FE-FLOW* (Diersch, 2014). Esta ferramenta tem por base o uso do método de elementos finitos e permite, entre outros tipos de modelos, criar modelos de fluxo e transporte de masse, tanto em regime permanente como transitório. Proporciona ainda ao modelador a possibilidade de desenvolver o modelo numa estrutura bidimensional, tridimensional, ou ainda em corte (Diersch, 2014). Possui variadas funções e utilidades, no entanto nesta dissertação foi utilizado de forma a criar um modelo tridimensional de fluxo em regime permanente.

4.1.4 Calibração e Validação do Modelo Numérico

O método da calibração permite aproximar os parâmetros hidráulicos que regem o escoamento da água subterrânea de forma a obter valores simulados mais próximos da realidade. A abordagem mais utilizada para este método tem por base a tentativa erro. No entanto, esta pode ser muito morosa na tentativa de determinar os valores de transmissividade do sistema (Monteiro *et al.*, 2005). Uma alternativa mais viável ao método da tentativa erro é o uso de métodos de calibração inversa. Desta forma, a distribuição espacial dos parâmetros hidráulicos que caracterizam o sistema pode ser estimada por modelação inversa, através da aplicação de algoritmos como o Parameter Estimation (PEST) (Doherty, 2004). Este algoritmo testa de forma automática diferentes combinações de parâmetros e compara as variáveis hidráulicas calculadas com as observadas para determinados pontos de observação. Aplicado à modelação numérica de fluxo subterrâneo, este método permite, por exemplo, determinar valores de transmissividade ou condutividade hidráulica em função dos valores de piezometria observados, tal como será apresentado mais adiante no presente trabalho.

O método de calibração a usar nesta dissertação é a calibração inversa. Este método permite criar um modelo numérico de escoamento com os parâmetros hidráulicos calibrados com base em históricos de piezometria. A equação de fluxo do modelo é obtida com a ajuda de um *software*, como o PEST, através da variação de parâmetros como a condutividade hidráulica em várias zonas do sistema, a entrada e saída de água nas condições fronteiras e, no caso de um modelo em regime transitório, também o armazenamento (Doherty, 2004). Posteriormente, a análise de sensibilidade, desvio padrão e correlações permitem aferir a performance do modelo e verificar se é necessário melhorá-lo (Martins, 2007).

4.1.4.1 Parâmetros Hidráulicos

O *software* utilizado para a calibração inversa da condutividade no presente trabalho foi o PEST (Doherty, 2004), o qual permite ajustar os parâmetros de determinado modelo para que os resultados gerados por este se aproximem o melhor possível dos valores observados do sistema (Costa, 2011). Com vista a obter esta aproximação, o PEST procede da seguinte forma:

1. Calcula a diferença entre os valores calculados e observados (resíduo) de potencial, escoamento e parâmetros para qualquer ponto do modelo;
2. Eleva os resíduos ao quadrado para eliminar valores negativos e dar destaque a resíduos mais elevados;

3. Mede a importância do quadrado do resíduo a partir do nível de incerteza definido pelo modelador para cada observação, expresso como o inverso da variância do erro das observações;
4. Soma o peso dos resíduos para obter um valor total (função objetivo) da aproximação dos valores simulados aos observados;
5. Calcula a sensibilidade (isto é, quanto se alteram os potenciais hidráulicos e o fluxo calculados aquando de uma alteração nos valores de parâmetros);
6. Usa a sensibilidade e os resíduos para reajustar os valores dos parâmetros e melhorar a função objetivo;
7. Repete os passos 4 a 6 de forma a otimizar o máximo possível os parâmetros e os resultados simulados.

4.1.4.2 Coeficiente de Correlação

O coeficiente de correlação, R , permite ao modelador verificar se o modelo se aproxima da realidade após a calibração, quando mais próximo de 1, mais realista será o modelo (Cooley & Naff, 1990).

A equação 4.3 traduz o cálculo do coeficiente de correlação, R , é a seguinte (Doherty, 2004):

Equação 4.3 - Cálculo do coeficiente de Correlação

$$R = \frac{(w_i c_i - m)(w_i c_{oi} - m_o)}{[(w_i c_i - m)^2 (w_i c_{oi} - m_o)^2]^{1/2}}$$

Onde:

- c_i é o valor da i -ésima observação;
- c_{oi} é o valor gerado pelo modelo para o i -ésimo valor observado;
- m é o valor médio do peso de todas as observações;
- m_o é a média do peso de todos os valores gerados pelo modelo para as observações respetivas observações;

Geralmente, o valor de R necessita ultrapassar o valor 0,9 para que o ajuste entre os resultados do modelo e as observações seja aceitável (Hill, 1998).

5 METODOLOGIA

5.1 CENÁRIOS E CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

No âmbito do presente trabalho foram definidos cenários hipotéticos de rega. Os cenários a analisar foram construídos segundo situações hipotéticas tendo em conta a exploração atual do aquífero, a Área Crítica (AC) e a Reserva Agrícola Nacional (RAN), cujos limites para o SALT se encontram representados na figura 5.1.

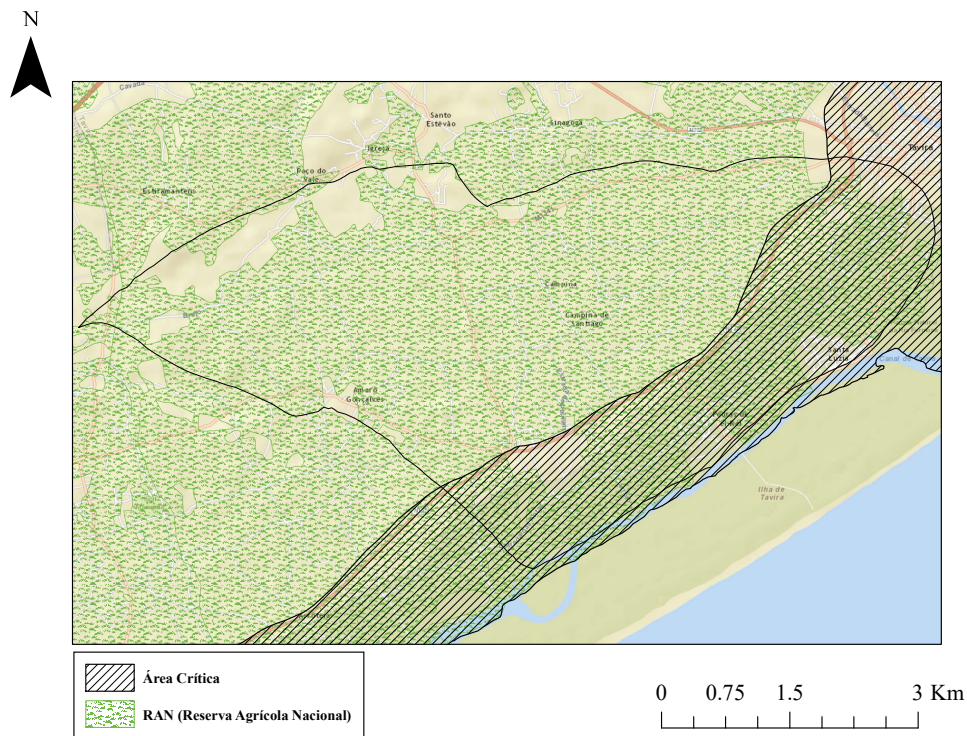


Figura 5.1 - Representação da AC e RAN no interior do sistema.

Com base nestes dados e seguindo a proposta apresentada pela APA IP-ARH Algarve, os cenários sob análise são:

- **Cenário 1** - Estado atual (Área Regada = 1443 ha);

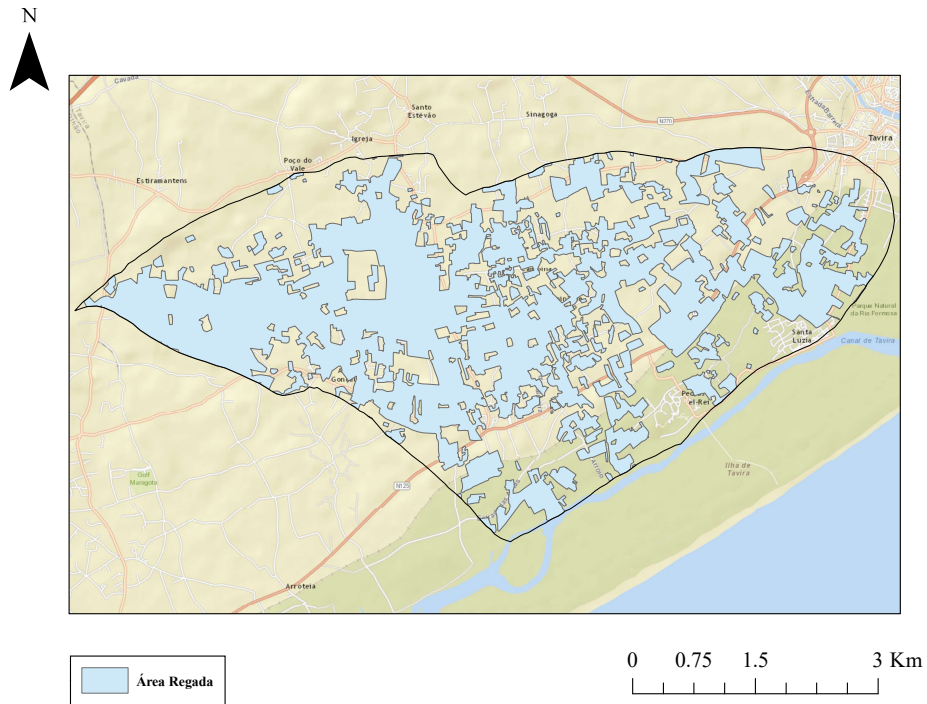


Figura 5.2 - Cenário de exploração atual (cenário 1)

- **Cenário 2** - Aumento da área regada passando a incluir toda a área (exceto urbana) que atualmente não se encontra a ser regada no aquífero (Área Regada=2547 ha);

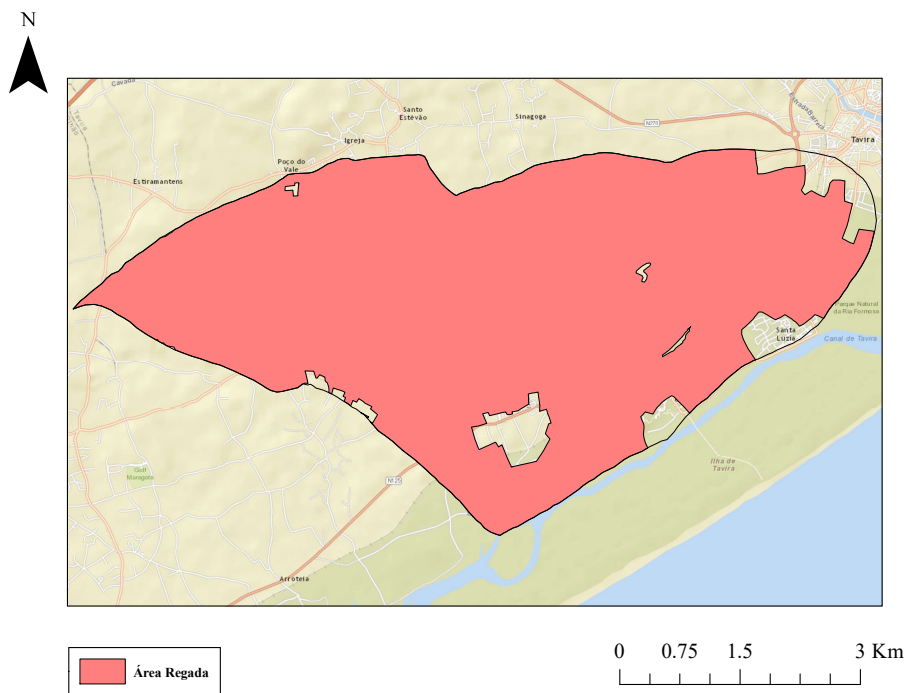


Figura 5.3 - Cenário hipotético de exploração 2

- **Cenário 3** - Aumento da área regada para toda a área da RAN no aquífero. Isto é, além da área regada atualmente, considera-se também para efeitos de área regada toda a área pertencente à RAN que não é regada atualmente (Área Regada=2389 ha);

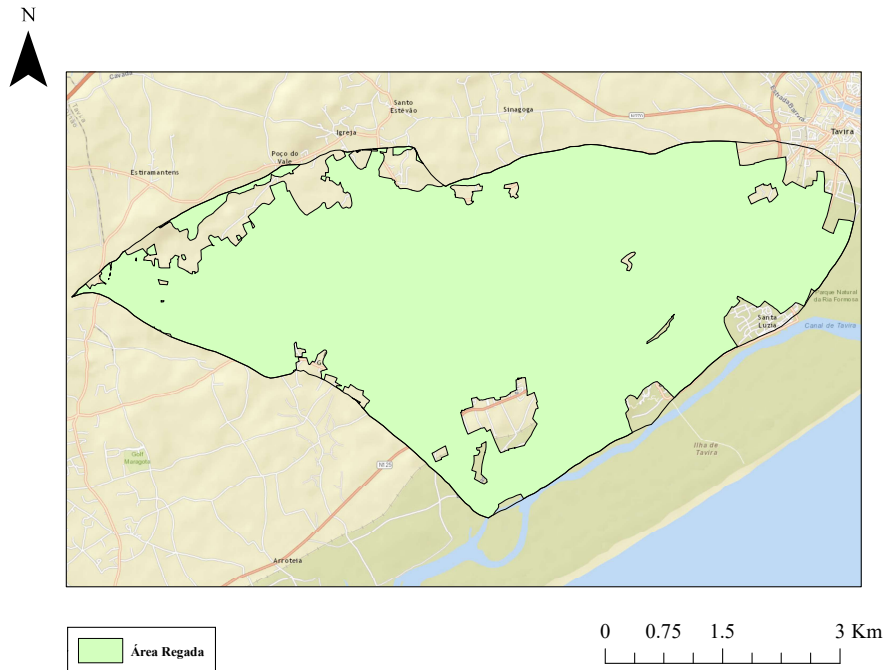


Figura 5.4 - Cenário hipotético de exploração 3

- **Cenário 4** - Aumento da área regada para toda a AC do aquífero. Neste cenário simula-se a rega da totalidade da AC, além da área total regada atualmente (Área Regada=1800 ha);

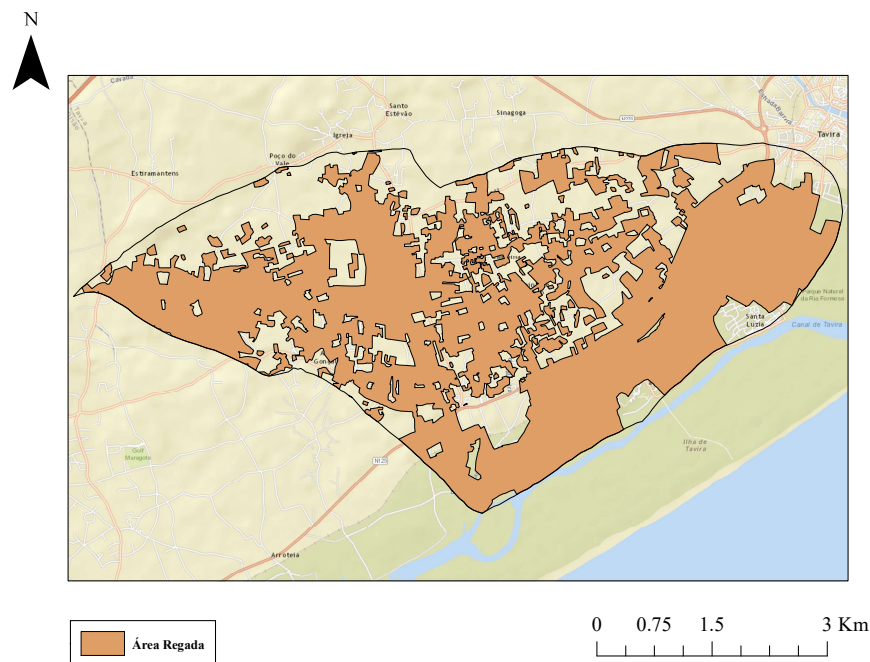


Figura 5.5- Cenário hipotético de exploração 4

- **Cenário 5** - Aumento da área regada para toda a área da RAN e da Área Crítica do aquífero. Simula-se a rega da área regada atualmente, juntamente com a rega de toda a área classificada como RAN e cumulativamente Área Crítica (Área Regada=1785 ha).

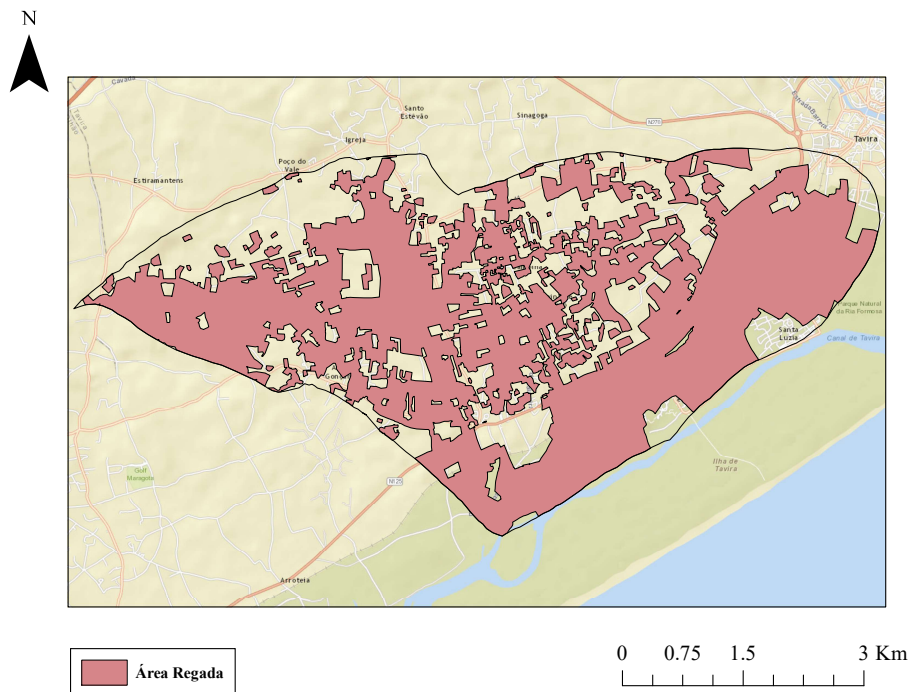


Figura 5.6 - Cenário hipotético de exploração 5

Excetuando a área regada atualmente, toda a área que passará a receber rega nos cenários será considerada como área de cultivo de citrinos com uma dotação de 4500 hm³/ano.

Serão ainda simuladas duas condições dentro de cada um dos cinco cenários. As condições de exploração possíveis relativas à origem da água de rega, estão discriminadas de seguida:

- **Condição I** - Na condição de exploração em causa, toda a água necessária à rega das culturas é de origem subterrânea;
- **Condição II** – Nesta condição, a rega será efetuada com uma parte de água de origem subterrânea e outra de origem superficial (valor fixo em todos os cenários). Esta condição será aplicada com base no seguinte procedimento:
 1. Para o cenário atual, o total da água usada para rega é igual à soma das extrações estimadas (2.07 hm³/ano (PGBH,2011)) com o valor de água do PRS (superficial) (desconhecido). É possível estimar o total de água necessária para rega multiplicando a dotação das culturas pelas respetivas áreas de cultivo.

2. Assim, também é possível quantificar o valor de água superficial usada para rega, subtraindo o valor de extração ao valor total necessário de rega estimado.
3. De seguida, mantendo constante o contributo de água superficial estimado no ponto 2 para os restantes cenários e estimadas as necessidades hídricas totais (através da multiplicação da área regada em cada cenário pela dotação de rega) é possível estimar o contributo de água subterrânea através da subtração entre a necessidade hídrica total e o contributo superficial.
4. Para efeitos de modelação foi necessário calcular a razão água subterrânea/total de forma a atribuir a cada nó o valor correto de extração para uma dada área de rega.

Uma vez que nos interessa estudar a intrusão salina no sistema, todos os cálculos foram efetuados com base no valor de extrações estimadas. Para tal, assume maior interesse usar valores mais elevados, por forma a prever as implicações da extração no sistema.

De forma a facilitar a compreensão apresenta-se como exemplo o Cenário 1. No mesmo a extração estimada é $2.07 \text{ hm}^3/\text{ano}$ e o total usado para rega é $6.16 \text{ hm}^3/\text{ano}$. Assim, a água superficial usada para regar (PRS) é $4.09 \text{ hm}^3/\text{ano}$.

A razão “Água subterrânea / Total água necessária” é igual ao quociente entre as extrações estimadas e o total de água necessária à rega. No caso deste cenário a razão assume um valor de 33.6%.

Assim, uma vez que 33.6% da água necessária à rega daquela cultura é de origem subterrânea, ao multiplicar o valor da necessidade de água total de um dada cultura por 33.6% obtém-se o valor de água subterrânea a extrair do aquífero para essa cultura no cenário 1. Aplicou-se este princípio a todas as captações. Para os restantes cenários a aplicação é idêntica, fazendo variar apenas a necessidade hídrica total, dependendo das culturas a regar e da água a extrair. Ou seja, todas as culturas inativas atualmente, que hipoteticamente serão ativadas nos cenários 2 a 5, serão regadas exclusivamente com água subterrânea, uma vez que o valor de água superficial usada na rega não se altera. A razão “Água subterrânea / Total água necessária” também se altera, uma vez que o valor de água extraída do aquífero e do total de água necessária para rega se alteram. A tabela 5.1 apresenta os valores da

razão para cada um dos cenários, bem como a respectiva necessidade de água e o valor de extração.

Tabela 5.1 – Tabela de necessidades de água e razões por cenário (condição II)

Parâmetros	C1II	C2II	C3II	C4II	C5II
Necessidade de Água total (hm ³ /ano)	6.16	8.31	8.19	7.06	7.06
Extração água subterrânea (hm ³ /ano)	2.07	4.23	4.10	2.97	2.97
Razão de Água subt./Água necessária	33.60%	50.87%	50.12%	42.10%	42.10%

5.1.1 Cálculo da Extração em cada Cenário de Exploração

Tal como já foi referido, os valores de necessidade hídrica de rega para cada cultura são obtidos através do produto da dotação da cultura com a área de rega da mesma. Por vezes acontece que uma mesma área de cultura tem várias captações. Nesse caso, optou-se por dividir a necessidade hídrica calculada para uma dada área pelo número de captações existentes nessa mesma área. Para a condição II, este valor é depois multiplicado pela razão “Água subterrânea / Total água necessária” do respetivo cenário, por forma a obter apenas o valor de água subterrânea que será extraída em cada captação. Na tabela 5.2, estão enunciados tanto os valores de água necessária à rega, tal como da razão (r) “Água subterrânea / Total água necessária”, para os vários cenários.

Tabela 5.2- Valor de água necessária à rega e da razão “Água subterrânea / Total Água Necessária”

Cenários	Condições	Necessidade de água (m ³ /ano)	r “Água sub. / Total”
1	I	6.16E+06	100%
	II	2.07E+06	33.60%
2	I	8.31E+06	100%
	II	4.23E+06	50.87%
3	I	8.19E+06	100%
	II	4.10E+06	50.12%
4	I	7.06E+06	100%
	II	2.97E+06	42.10%
5	I	7.06E+06	100%
	II	2.97E+06	42.10%

5.2 MODELO NUMÉRICO DE FLUXO 3-DIMENSIONAL

5.2.1 Criação da malha

O início da construção do modelo numérico do sistema passa pela sua aproximação ao modelo conceptual. Assim, recorreu-se à criação da malha de modelação no *software* FE-Flow (Diersch, 2014), convertendo em *supermesh* o ficheiro *shape*, com as diferentes camadas

da geologia do sistema com recurso à ferramenta “*Advancing Front*”, para criar uma malha de elementos finitos.

O SALT é livre a confinado. Numa primeira análise decidiu-se modelar apenas a parte livre do aquífero, assumido que a totalidade da água que atravessa o Jurássico aflorante escoa diretamente para o Miocénico, sendo depois descarregada na Ria Formosa. Estendeu-se a malha do modelo até à linha de costa das ilhas barreira, por forma a incluir também a Ria Formosa. Esta decisão surgiu da intenção de criar um modelo que sirva de base para utilizações futuras, no qual se incluí a Ria Formosa, pois pensa-se que a camada do Jurássico se estenda além dos limites do aquífero, apenas aflorando além das ilhas barreira, no Oceano Atlântico. Incluiu-se a elevação no sistema, obtida através do Modelo Digital do Terreno (MDT). Posteriormente, para efeitos de modelação a camada superficial do sistema (Jurássico aflorante a norte e Miocénico) foi estratificada em 6 *layers* com 15 metros de espessura cada uma e 7 *slices* (que representam o topo e base de cada *layer*). A malha de modelação tridimensional pode ser visualizada através da figura 5.7.

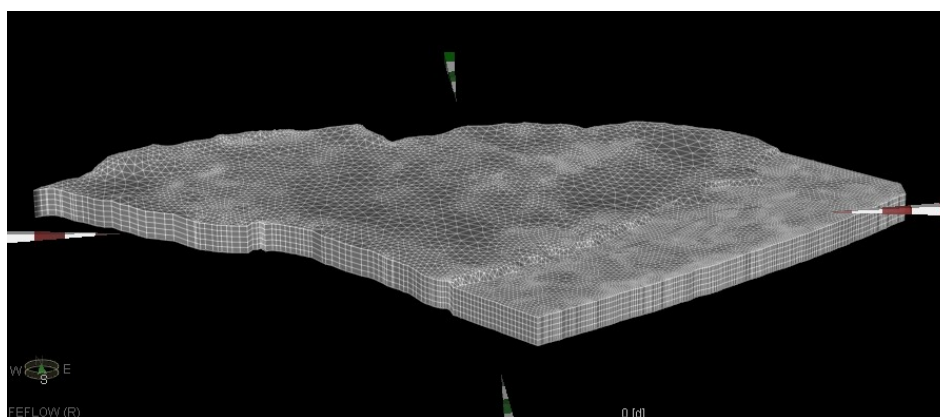


Figura 5.7- Malha 3D do sistema, em que o topo é o valor do MDT

No entanto, verificou-se que seria mais correto ter como topo do sistema, para efeitos de modelação, não o valor do MDT mas sim do nível piezométrico máximo registado no sistema. No decorrer desta alteração, por defeito, o valor da espessura de cada *layer* também passou a variar de acordo com o nível piezométrico nesse ponto (uma vez que a soma das espessuras das 6 *layers* é igual à distância entre a base da camada do Miocénico e o nível piezométrico máximo). A nova malha pode ser visualizada através da figura 5.8 (3-Dimensional) e 5.9 (2-Dimensional). A malha final do modelo é composta por 15590 elementos por *slice* de um total de 93540 e 8033 nós de 56231.

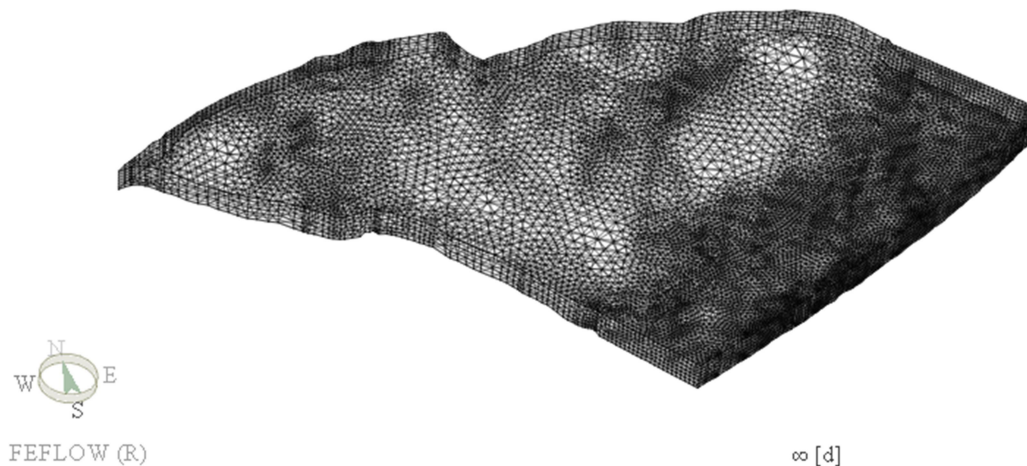


Figura 5.8- Malha 3D do sistema, em que o topo é o valor do nível piezométrico máximo registrado

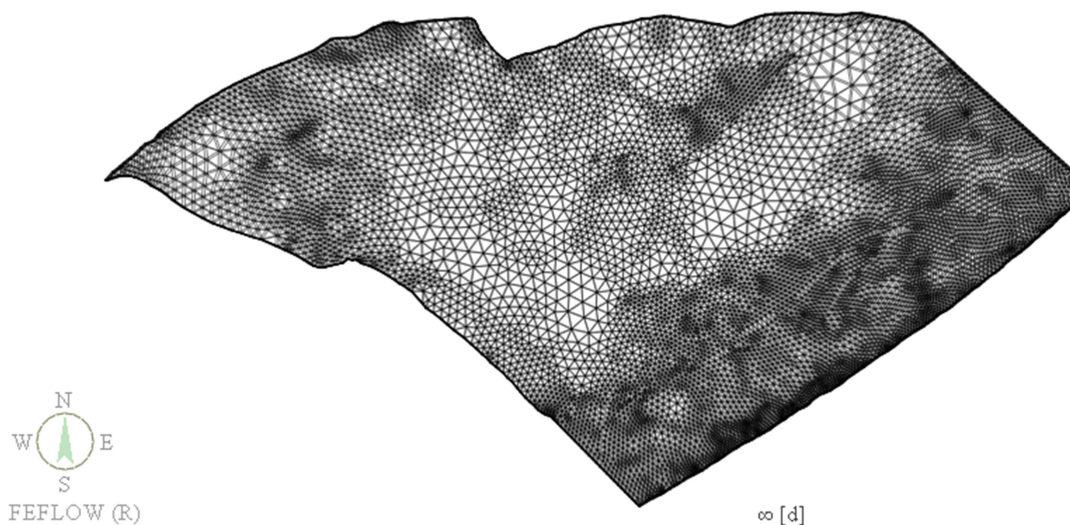


Figura 5.9 - Malha 2D do sistema

5.2.2 Parâmetros de Modelação

Após a geração da malha de modelação, inseriram-se os dados conhecidos sobre o modelo: os pontos de observação (*Observation points*), que correspondem aos piezómetros do SNIRH anteriormente referidos no capítulo 3.3.5; os níveis históricos da piezometria (*Hydraulic head*); e a recarga total do sistema (recarga direta, transferências de outros sistemas e recarga artificial) (*Recharge*).

A recarga imposta teve por base a recarga direta, isto é, a precipitação multiplicada pela percentagem de infiltração correspondente a cada formação geológica que, segundo Almeida *et al.*, (2000) e Costa (2011), é de 30% da precipitação para Jurássico e Miocénico, e 20% para as restantes formações. A este valor acrescentou-se 10% da recarga direta relativos ao retorno da água de rega superficial e os 5% correspondentes a perdas de água por fugas (Reis *et al.*, 2004). A recarga imposta na malha do sistema encontra-se na figura 5.10.

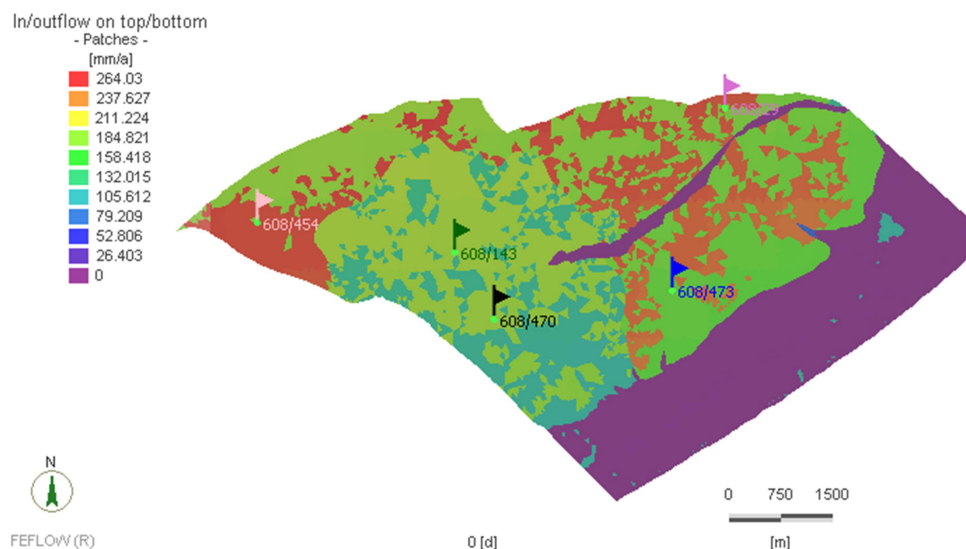


Figura 5.10 - Recarga no sistema

A recarga imposta nas zonas regadas tem por base os $5 \text{ hm}^3/\text{ano}$ (Almeida *et al.*, 2000), aos quais acresce esse mesmo valor, a multiplicar por 15% (recarga artificial) (Reis *et al.*, 2004) provenientes do retorno de rega com água superficial que se verifica atualmente. Os pontos de observação de níveis piezométricos consistem nos piezómetros 608/29, 608/143, 608/454, 608/470 e 608/473 da carta nº608 pertencentes à rede do SNIRH, da qual foram retirados valores correspondentes ao período entre 1984 e 2014 da plataforma *online* do SNIRH.

5.2.3 Malha multicamada

Tendo por base o mesmo princípio de criação que a malha inicial, procedeu-se para uma nova abordagem, nomeadamente a construção de uma nova malha que incluía também a camada do Jurássico confinada.

Ao verificar que existem dois pontos de observação bastante próximos (SNIRH 608/470 e 608/471) com valores completamente diferentes de piezometria, surgiu a hipótese de um deles estar a registar dados na camada do Miocénico e o outro na camada do Jurássico (confinada). Assim, pensou-se que esta informação poderia auxiliar na calibração de um modelo multicamada.

No entanto, para ajudar a perceber se seria possível calibrar esta nova malha, surgiu a necessidade de criar um **modelo em perfil de corte vertical (Secção 5.2.3.1)**.

5.2.3.1 Modelo em Perfil

Com o objetivo de se saber qual a localização *offshore* a que a cunha salina se encontra no aquífero Jurássico, criou-se um modelo de fluxo em perfil para o SALT (M15).

Primeiramente, para traçar este perfil, recorreu-se ao “ArcMap”, no qual se criou uma *shapefile* de pontos estrategicamente colocados nos limites das camadas cronostratigráficas do sistema e nas linhas isobatimétricas. Posteriormente a estes pontos foi atribuído o valor da cota a partir do ficheiro *raster* do MDT (Modelo Digital de Terreno) e da atribuição do valor da isobatimétrica correspondente para os pontos que se encontram localizados *offshore*. A figura 5.11 mostra os pontos do perfil descrito.

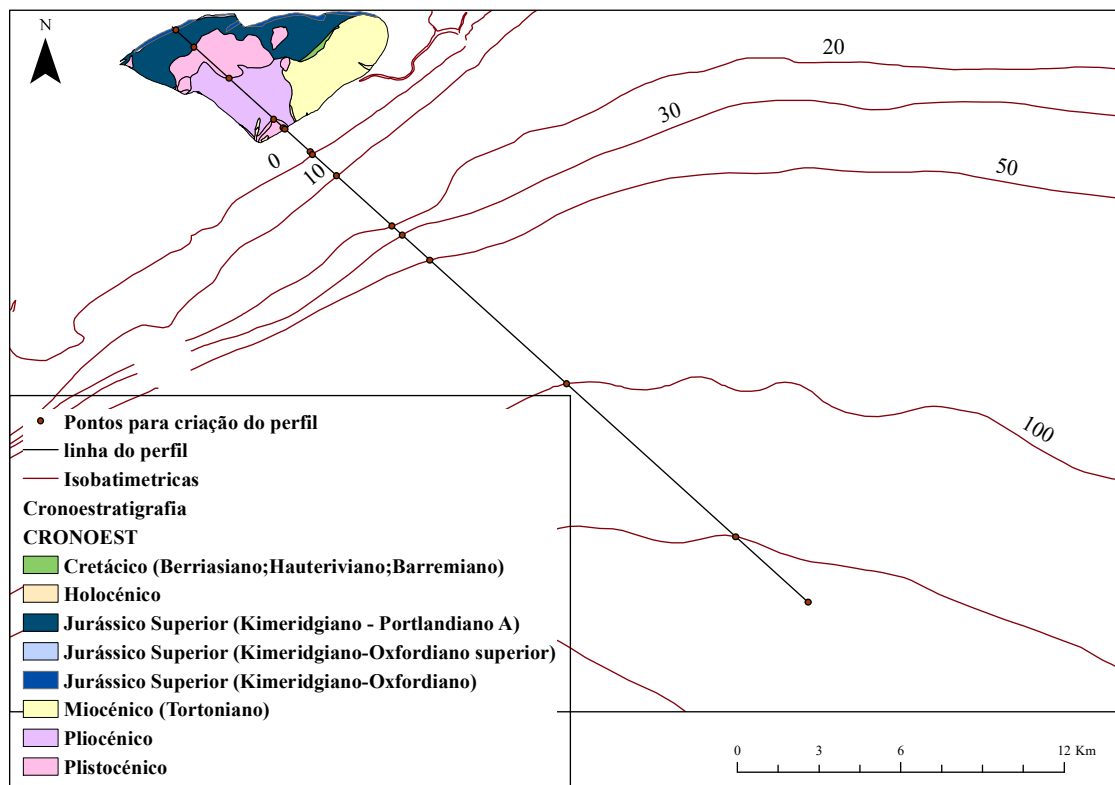


Figura 5.11- Pontos utilizados para a criação do modelo em perfil

Posteriormente, através do ficheiro *dbf* da *shapefile*, converteram-se as coordenadas dos pontos para um referencial em que a origem se localiza no ponto situado na linha da costa (Ria Formosa), o eixo *Ox* corresponde à distância à origem, e o eixo *Oy* à cota (ambos em metros). De seguida, sabendo a espessura das camadas (Pliocénico: 20 m; Miocénico: 75 m; Cretácico: 200 m; e Jurássico: 500 m) (Almeida *et al.*, 2000), calcularam-se os limites das várias camadas, aplicando a subtração consecutiva das várias espessuras ao valor da cota superficial, dando origem a um perfil vertical. No entanto, verificou-se que o limite abrupto das camadas mais inferiores (Cretácico e Jurássico) não representava o sistema de forma realista. Assim, manteve-se este método para as camadas do Pliocénico e do Miocé-

nico e recorreu-se à utilização da equação polinomial de 3º grau da linha de tendência dos pontos das camadas do Cretácico e Jurássico, tal como é visível na figura 5.12.

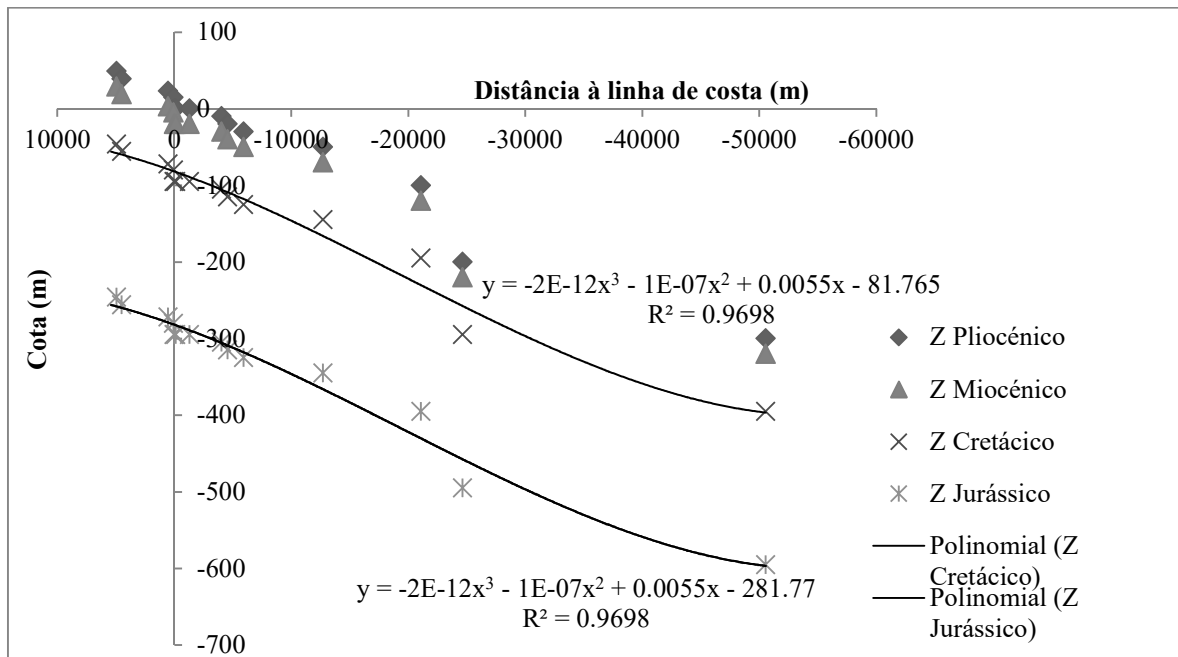


Figura 5.12 - Equações polinomiais para criação das camadas do Cretácico e Jurássico (neste caso, o y representa a cota (normalmente designada por z))

De forma a criar um polígono que corresponde-se a cada camada geológica, uma vez que o último ponto do polígono tem de ser igual ao primeiro de forma a fechar o mesmo (camada geológica), repetiram-se os pontos. Assim, aplicando estes dois métodos analíticos, obteve-se a tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Cota (Z) correspondente ao valor de distância de cada ponto (X) ao ponto x=0 (litoral)

X	Z Pliocénico	Z Miocénico	Z Cretácico	Z Jurássico
N (nº de pontos)	29	29	29	33
-5405.79	-	-	-	76
-4921.00	-	-	-	76
-4921.00	49	29	-57.35946034	-257.3644603
-4481.32	39	19	-59.30597311	-259.3109731
-534.04	23	3	-78.85662967	-278.8616297
-72.77	15	-5	-81.36531281	-281.3703128
0.00	0	-20	-81.765	-281.77
133.53	0	-20	-82.50119154	-282.5061915
1312.06	0	-20	-89.14895906	-289.1539591
4055.90	-10	-30	-105.5840387	-305.5890387
4561.83	-20	-40	-108.7462253	-308.7512253
5933.41	-30	-50	-117.5014983	-317.5064983
12705.32	-50	-70	-163.684881	-363.689881
21072.93	-100	-120	-223.3572794	-423.3622794
24645.77	-200	-220	-248.1177588	-448.1227588
50540.82	-300	-320	-356.9765957	-556.9815957
50540.82	-320	-356.977	-556.9815957	-1056.981596
24645.77	-220	-248.118	-448.1227588	-948.1227588

(*continuação) X	Z Pliocénico	Z Miocénico	Z Cretácico	Z Jurássico
21072.93	-120	-223.357	-423.3622794	-923.3622794
12705.32	-70	-163.685	-363.689881	-863.689881
5933.41	-50	-117.501	-317.5064983	-817.5064983
4561.83	-40	-108.746	-308.7512253	-808.7512253
4055.90	-30	-105.584	-305.5890387	-805.5890387
1312.06	-20	-89.149	-289.1539591	-789.1539591
133.53	-20	-82.5012	-282.5061915	-782.5061915
0.00	-20	-81.765	-281.77	-781.77
-72.77	-5	-81.3653	-281.3703128	-781.3703128
-534.04	3	-78.8566	-278.8616297	-778.8616297
-4481.32	19	-59.306	-259.3109731	-759.3109731
-4921.00	29	-57.3595	-257.3644603	-757.3644603
-4921.00	49	29	-57.35946034	-424
-5405.79	-	-	-	-424
-5405.79	-	-	-	76

Com o auxílio do programa *Surfer*, criou-se um ficheiro no formato *bln* (figura 5.13) que foi posteriormente convertido em *shapefile*, de forma a ser usado na construção da malha de elementos finitos no *FE-FLOW* (Diersch, 2014).

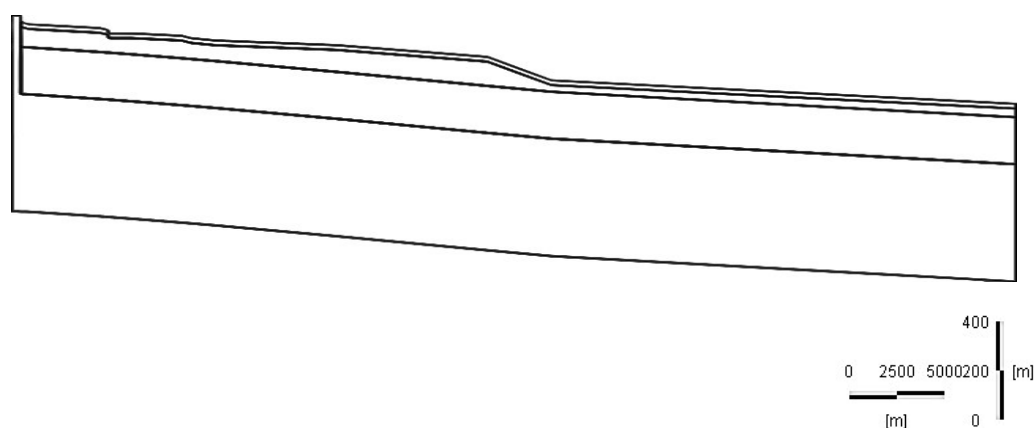


Figura 5.13 – Perfil multicamada do sistema (versão 1)

No entanto, no decorrer do processo de criação da malha, verificou-se que a área de afloramento do jurássico, comparado à extensão do modelo *offshore*, não seria representativa do sistema. Assim, existiu necessidade de reformular o perfil com a ajuda do *FE-FLOW* (Diersch, 2014). Para tal, aumentou-se a largura em x do afloramento da camada do Jurássico e alteraram-se os nós da camada do Cretácico de forma a criar uma depressão diagonal no limite norte da camada. A segunda versão do perfil encontra-se representada na figura 5.14.

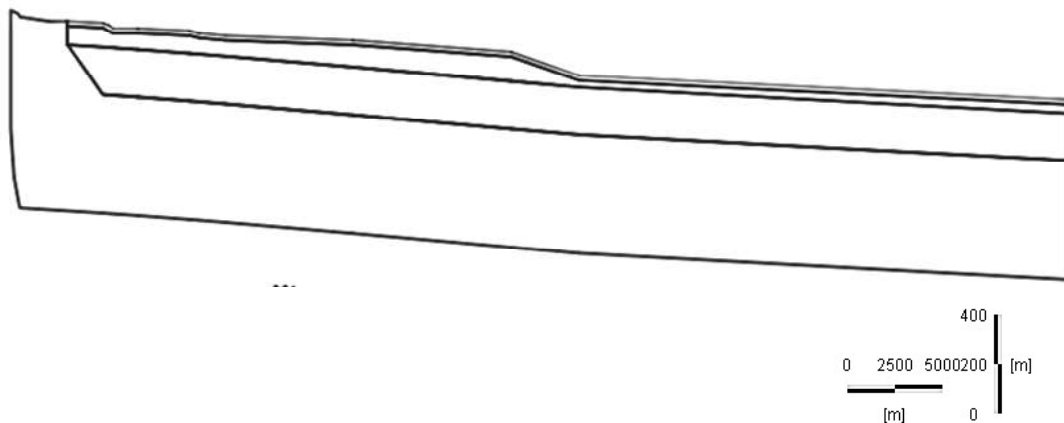


Figura 5.14- Perfil multicamada do sistema (versão 2)

Apesar desta alteração, não foi possível representar a realidade com o modelo em perfil. Sem o desenvolvimento de um modelo de transporte não é possível obter a localização específica do afloramento do Jurássico *offshore* nem, por sua vez, calibrar este modelo em perfil. Optou-se por construir apenas um modelo em perfil de fluxo, que impossibilita neste caso a calibração de um modelo 3D multicamada representativo. O modelo em perfil demonstrou-se ser apenas uma experiência não conclusiva.

5.2.4 Retorno ao Modelo 3D de uma Única Camada

Uma vez que não foi possível desenvolver o modelo 3-D multicamada, reconsiderou-se a hipótese inicial do modelo sem a camada confinada. Assim, e devido ao facto de não se conseguir explicar a redução acentuada dos níveis piezométricos junto ao litoral na secção sudoeste para sudeste, realizou-se uma saída campo. O objetivo desta saída seria verificar se a camada de origem cretácica que aflora na região central, a Este, representaria algum tipo de barreira hidráulica.

5.2.5 Saída de Campo

No dia 2 de Agosto de 2015, realizou-se uma saída de campo, na qual se levantaram alguns dados de condutividade elétrica e se mediram os níveis da água em 6 noras em redor do afloramento do Cretácico (figura 5.15).

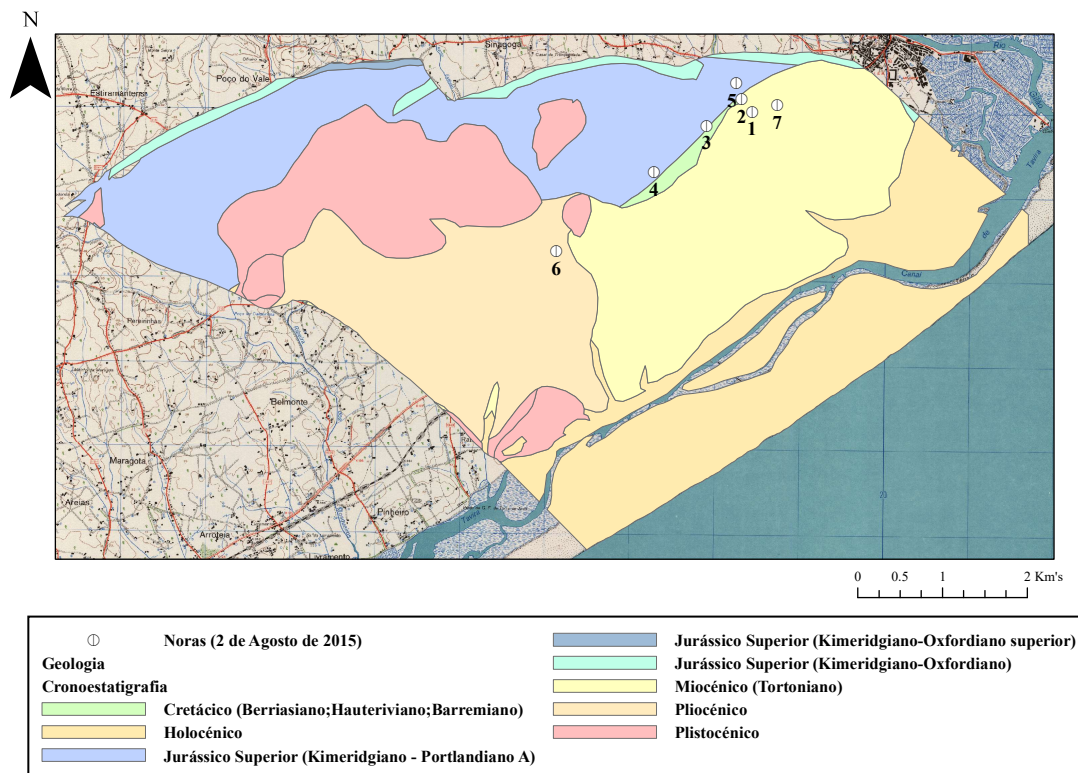


Figura 5.15 -Localização dos pontos de Amostragem da saída de campo de dia 2 de Agosto de 2015

Nesta saída de campo recolheram-se os dados apresentados na tabela 5.4.

Tabela 5.4- Dados recolhidos na saída de campo de 2 de Agosto de 2015

Nora	1	2	3	4	5	6	7
Hora (2/8/2015)	09:26	09:44	10:30	11:00	11:47	14:00	14:30
Coord_M	241285.39	241164.76	240751.84	240126.98	241095.92	238972.77	241584.65
Coord_P	17011.651	17162.245	16848.403	16299.682	17350.769	15366.250	17083.595
Cota	944	594	575	300	628	312	980
Cota	35	40	40	37	44	34	35
Local	Bernardi- nheiro	Bernardi- nheiro	Bernardi- nheiro	Bernardi- nheiro	Bernardi- nheiro	Campina de Santia- go	Bernardi- nheiro
Profundi- dade total (m)	20.15	7.5	20.2	10.8	14.6	9.6	19.02
H (m)	4.1	4.2	5.8	6.7	10.6	5	9.65
Altura da boca (m)	0.77	2.6	0.55	0.35	0.55	0.4	2.61
Conduti- vidade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	168	928	1000	1013	856	884	1150
Tempera- tura da água ($^{\circ}\text{C}$)	19.4	19.9	19.9	19.5	18.8	20.5	18.1

Assim, recorrendo ao *software Surfer*, traçou-se um mapa piezométrico da faixa do sistema visitada na saída de campo (figura 5.16). Concluiu-se assim que existe uma barreira hidráulica, no sector este do aquífero, imposta pela camada impermeável de origem Cretáci-

ca. Desta forma a água é forçada a escoar pelo lado oeste desta barreira (sector central do aquífero), o que implica valores piezométricos mais baixos no sector Sudeste do aquífero.

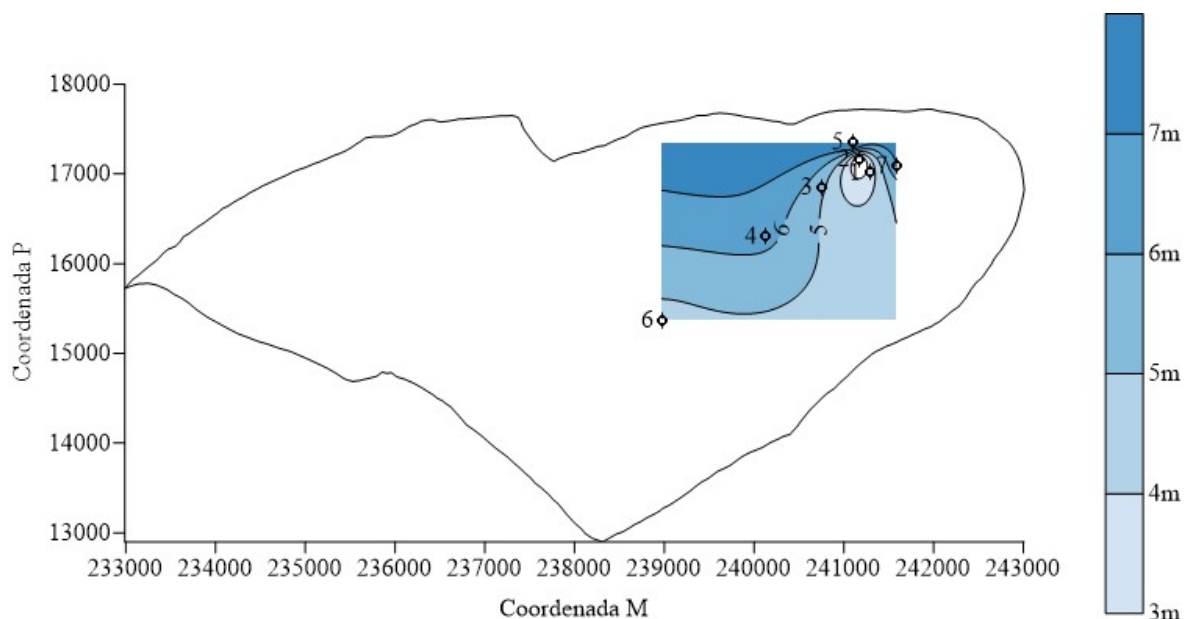


Figura 5.16 - Mapa piezométrico obtido a partir da amostragem de dia 2 de Agosto de 2015

Através desta análise é possível melhorar o modelo de forma a aproximá-lo da realidade e assim ser o mais próximo possível do modelo conceptual. Isto permitirá calibrar o modelo por forma a retirar do mesmo, resultados mais fidedignos.

5.2.6 Condições Fronteira

As condições fronteira foram definidas nos limites em que ocorre recarga por transferência de outros aquíferos (Cauchy) e nas zonas de descarga para a Ria Formosa (Dirichlet).

Para efeitos de calibração definiu-se um máximo e um mínimo para o valor de *inflow* e *outflow* nas condições fronteiras de Cauchy definidas entre o SALT (M15) e os sistemas vizinhos Peral – Moncarapacho (M13) e Malhão (M14). Estes valores estão enunciados na tabela 5.5 e foram calculados a partir da equação 51. Uma vez que é desconhecido o contributo de cada um destes sistemas para o aquífero Luz-Tavira, e de forma a reduzir a incerteza, consideraram-se dois cenários para a definição das condições de fronteira. Um deles assume que todo o balanço do aquífero vizinho pode ser transmitido para o aquífero Luz-Tavira (10 hm^3 no caso do M13 e 3 hm^3 no caso do M14), no outro considerou-se apenas uma fração destes valores (1 hm^3 para cada um dos sistemas).

Equação 5.1- Cálculo da condição fronteira de Cauchy

$$\varphi = \frac{Q}{(\Delta h * A)}$$

Em que,

- Q representa o caudal [L^3/T];
- Δh corresponde à diferença entre níveis piezométricos nos lados da fronteira (L);
- A é a Área da superfície transversal da fronteira (L^2);
- φ é a taxa de transferência (T^{-1}).

Tabela 5.5 – Parâmetros para o cálculo das condições fronteiras do M15 com os sistemas aquíferos vizinhos

	M13		M14	
A (m ²)	55174		75359	
h (m)	53.53		51.7	
h_{ref} (m)	35.47		30.57	
Q (hm ³ /ano)	1	10	1	3
Q (m ³ /d)	2739.726	27397.26	2739.726	8219.178
Δh (m)	18.06		21.13	
Φ (d ⁻¹)	0.00275	0.027495	0.001721	0.005162

Quanto às condições de Dirichlet foi imposta nos nós correspondentes à Ria Formosa que o nível piezométrico nos nós correspondentes é, em todos eles, 0 m.

Quanto ao volume de água extraído, respetivo a cada cultura regada com água do sistema, este foi inserido no modelo em cada um dos pontos de extração (*well*), obtendo-se o resultado dessa extração para cada cenário, que será analisada posteriormente. A tabela de extrações encontra-se disponível para consulta no anexo 1 e 2, sendo que o valor imposto para cada nó foi previamente descrito no capítulo 5.1.1.

5.2.7 Calibração e Validação do Modelo Numérico

Recorreu-se à ferramenta *PEST* para calibrar o modelo do sistema, onde foram testadas várias hipóteses de calibração até alcançar a que apresentaria valores mais reais e que permitissem representar o sistema nos vários cenários de exploração.

Estas hipóteses incluíram a variação no peso de cada ponto de observação, a variação do número de zonas de condutividade e da localização e limites das mesmas. Outras hipóteses consistiram na extensão do afloramento de origem cretácica ao longo de todo o aquífero ou parcialmente. Aquela que apresentou maior sucesso (isto é, com menor resíduo e maior

coeficiente de correlação R) foi a que melhor representou o comportamento do fluxo no sistema, sendo por isso a utilizada para modelar os vários cenários de exploração.

5.2.7.1 Hipótese 1

Nesta 1ª hipótese, os cinco pontos de observação para os quais existem valores conhecidos de piezometria distribuem-se em apenas duas zonas, sendo que a zona 3 é uma barreira hidráulica. A zona 1 corresponde à união entre os sedimentos de origem Pliocénica, Plistocénica e Miocénica. A zona 2 corresponde à zona cuja geologia é de origem Jurássica constituída essencialmente por calcários. Esta zona 3 obteve-se estendendo o afloramento do cretácico para oeste de forma a provocar a descida dos valores piezométricos na região sudeste do aquífero. A figura 5.17 demonstra visualmente esta informação bem como as Condições Fronteiras impostas (CF).

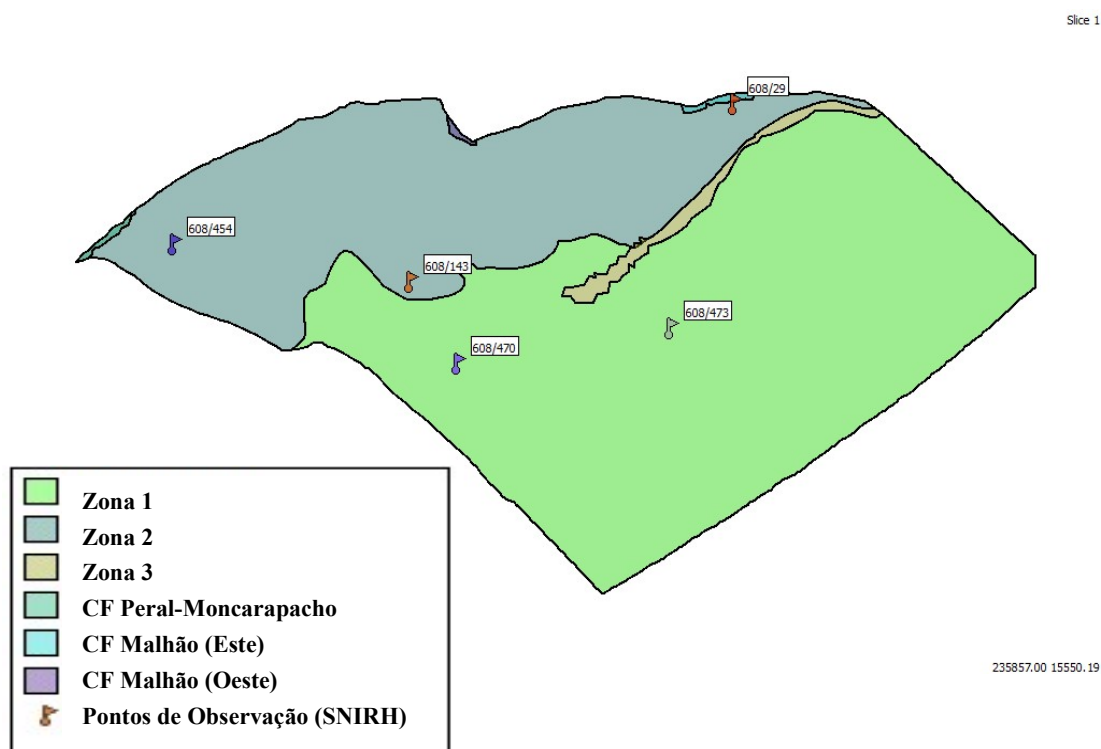


Figura 5.17 – Zonamento para a hipótese de calibração nº1

Para a hipótese de calibração nº1, os valores obtidos por calibração para cada parâmetro são os seguintes:

- **Fluxo de água no sistema nas condições fronteira (*inflow* e *outflow*):**
 - CF Peral-Moncarapacho = 0.0199371 [1/d]
 - CF Malhão (este) = 0.0172788 [1/d]
 - CF Malhão (oeste) = 0.0132914 [1/d]

- **Condutividade Hidráulica:**

- **Zona 1 (Pliocénica, Plistocénica e Miocénica)**

- ✓ $x_{co} = 19.9665$ [m/d]

- ✓ $y_{co} = 19.9665$ [m/d]

- ✓ $z_{co} = 1.99665$ [m/d]

- É um valor aceitável.

- **Zona 2 (Jurássica)**

- ✓ $x_{co} = 33.0637$ [m/d]

- ✓ $y_{co} = 33.0637$ [m/d]

- ✓ $z_{co} = 3.30637$ [m/d]

- Dado que se trata de um aquífero cársico, a sua condutividade deveria ser uma ordem de grandeza superior à zona 1.

- **Zona 3 (Cretácica)**

- ✓ $x_{co} = 1.6633$ [m/d]

- ✓ $y_{co} = 1.6633$ [m/d]

- ✓ $z_{co} = 0.16633$ [m/d]

- O valor de condutividade nesta zona deveria estar mais próximo de 0, pois constitui uma camada quase impermeável.

Com um coeficiente de correlação (R) = 0.92280 (figura 5.18)

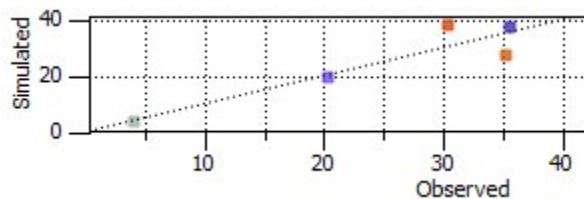


Figura 5.18 - Linha de tendência da hipótese 1 de calibração

O coeficiente de correlação apesar de apresentar um valor superior a 0.9, poderia ser melhor, como tal, do ponto de vista do R esta calibração não é aceitável.

$\Phi = 124.81$ (0.955 do Φ inicial) (figura 5.19)

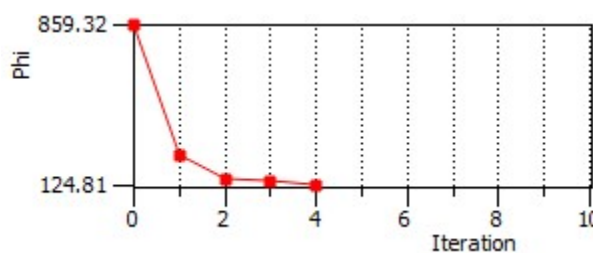


Figura 5.19 - Função objetiva da calibração nº1

O phi apresenta um valor muito elevado e é possível verificar que esta calibração apenas melhorou em 4.5% o valor dos parâmetros, o que também torna esta calibração não aceitável.

Análise do Resíduo

A tabela 5.6 descreve o valor do resíduo da calibração para cada ponto de observação e respetivos pesos.

Tabela 5.6- Tabela de resíduos (calibração 1)

Ponto de Observação	Observado (m)	Modelado (m)	Resíduo (m)	Peso	Peso*Observado	Peso*Modelado	Peso*Resíduo
SNIRH-608_473	4.03	3.936033	9.40E-02	1	4.03	3.936033	9.40E-02
SNIRH-608_470	20.22	19.80557	0.414427	1	20.22	19.80557	0.4144268
SNIRH-608_29	30.36	38.6103	-8.2503	1	30.36	38.6103	-8.250299
SNIRH-608_143	35.155	28.01954	7.135463	1	35.155	28.01954	7.135463
SNIRH-608_454	35.505	37.88049	-2.37549	1	35.505	37.88049	-2.375487

O resíduo obtido da calibração assume valores baixos para o piezómetro 608/473. No entanto, os valores de resíduo para os pontos de observação 608/29 e 608/143, são elevados e não podem ser aceites.

De um modo geral, considerou-se esta calibração inválida e foram necessárias outras hipóteses para alcançar o modelo de fluxo desejado.

5.2.7.2 Hipótese 2

Nesta 2ª hipótese, os cinco pontos de observação em que existem valores conhecidos distribuem-se em apenas duas zonas, sendo que a zona 3 é uma barreira hidráulica. A zona 1 corresponde à união entre os sedimentos de origem Plistocénica e Miocénica. A zona 2 corresponde à zona cuja geologia é de origem Jurássica e Pliocénica. A zona 3 obteve-se estendendo o afloramento do cretácico para oeste, unindo-o à camada aflorante do Cretácico que se encontra a oeste do aquífero Luz-Tavira. Esta camada é aflorante até meio do sistema, ponto a partir do qual afunda, de forma a permitir a passagem de água nas duas *layers* superiores, ainda assim oferecendo alguma resistência nas camadas inferiores. O zomamento para esta hipótese encontra-se representado na figura 5.20.

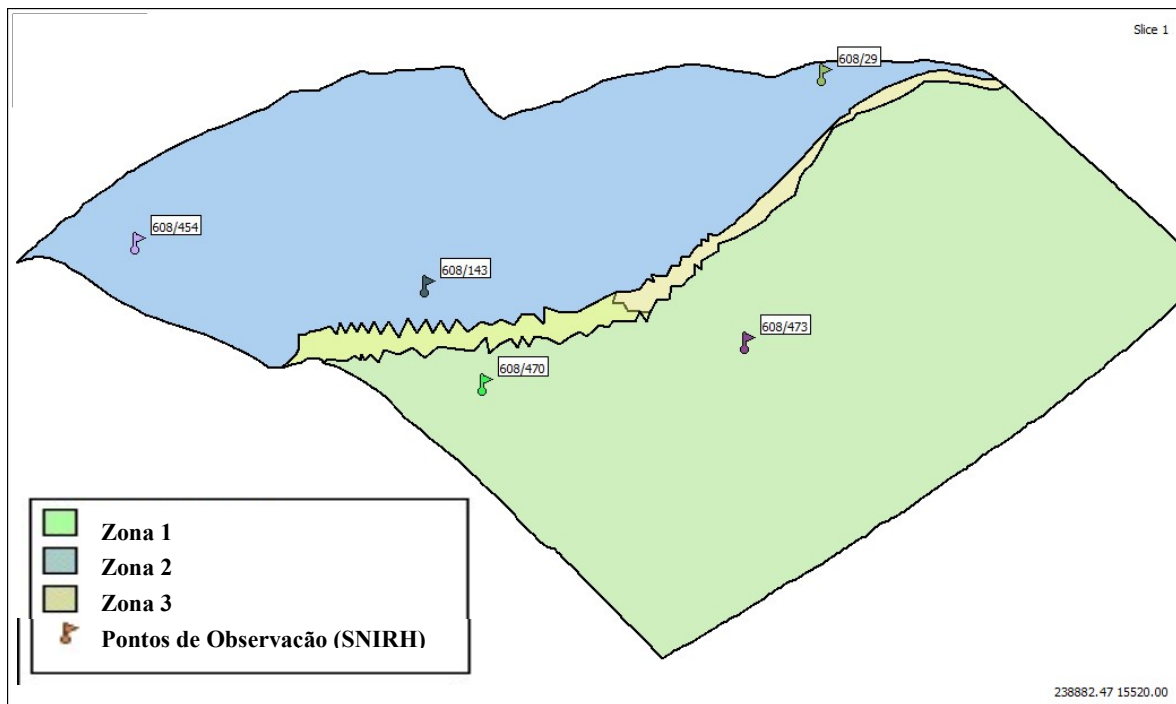


Figura 5.20 - Zonamento para a hipótese de calibração nº2

Para a hipótese de calibração nº2, os valores obtidos por calibração para cada parâmetro são os seguintes:

- **Fluxo de água no sistema nas condições fronteira (*inflow* e *outflow*):**
 - Nesta hipótese não foram calibrados estes valores (decidiu-se testar a condutividade antes de se calibrar juntamente com o *inflow* e *outflow*)
- **Condutividade Hidráulica:**
 - **Zona 1 (Pliocénica, Plistocénica e Miocénica)**
 - ✓ $x_{co} = 4.074$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 4.074$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.4074$ [m/d]
 - **Zona 2 (Jurássica)**
 - ✓ $x_{co} = 43.6431$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 43.6431$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 4.36431$ [m/d]
 - **Zona 3 (Cretácica)**
 - ✓ $x_{co} = 0.244141$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 0.244141$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.0244143$ [m/d]

Valores de condutividade hidráulica aceitáveis.

Com um coeficiente de correlação (R) = 0.98764 (figura 5.21)

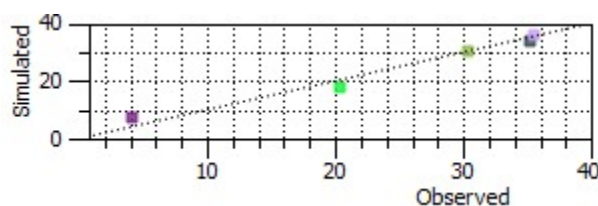


Figura 5.21 - Linha de tendência da hipótese 2 de calibração

O coeficiente de correlação é bastante bom (> 0.95 e bastante próximo de 1), apresenta um valor aceitável.

$\Phi = 22.533$ (0.957 do Φ inicial) (figura 5.22)

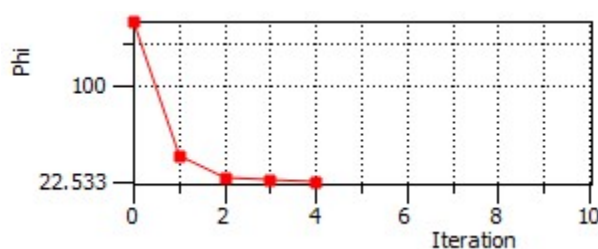


Figura 5.22 - Função objetiva da calibração nº2

O Φ apresenta um valor baixo havendo no entanto apenas uma melhoria de 4.3% no valor dos parâmetros, o que retira aceitabilidade à calibração.

-Análise do Resíduo

O valor do resíduo para cada piezômetro está representado na tabela 5.7, bem como respectivo peso.

Tabela 5.7 - Tabela de resíduos (calibração 2)

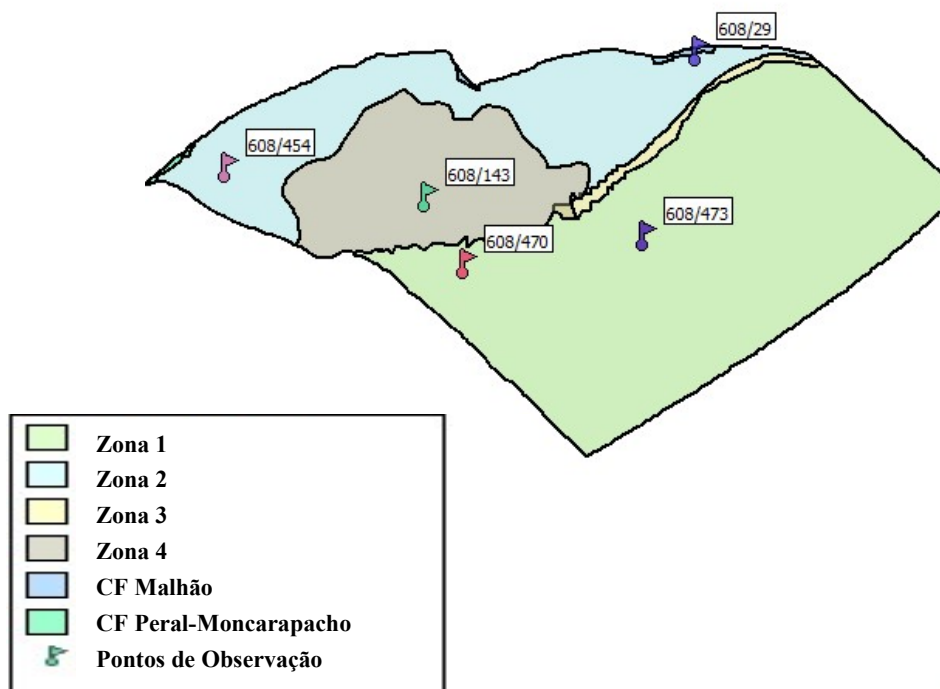
Ponto de Observação	Observado(m)	Modelado (m)	Resíduo (m)	Peso	Peso*Observado	Peso*Modelado	Peso*Resíduo
SNIRH-608_473	4.03	8.050965	-4.02097	1	4.03	8.050965	-4.02097
SNIRH-608_470	20.22	18.09874	2.12126	1	20.22	18.09874	2.12126
SNIRH-608_29	30.36	30.52262	-0.16262	1	30.36	30.52262	-0.16262
SNIRH-608_143	35.155	34.30255	0.852453	1	35.155	34.30255	0.852453
SNIRH-608_454	35.505	36.55964	-1.05464	1	35.505	36.55964	-1.05464

O resíduo obtido a partir da calibração assume valores baixos para o piezômetro 608/ 29 e 608/143. No entanto, verificam-se valores de resíduo bastante elevados para os piezômetros mais próximos da costa, nomeadamente o 608/470 e, essencialmente, o 608/473 (onde deveria existir menor erro pois por cada metro de erro no nível piezométrico, existe um erro associado de 40 m para a cota da interface água doce-salgada, podendo sub ou sobre-estimar o problema).

Decidiu-se rejeitar esta calibração devido ao erro de nível piezométrico no piezômetro 473, que apresenta um elevado grau de importância; ao valor de ϕ ; e, para além disso, à incerteza associada à barreira hidráulica do cretácico em relação à sua extensão e profundidade transversalmente ao longo do sistema, existindo apenas certezas onde esta aflora.

5.2.7.3 Hipótese 3

Na 3ª hipótese de calibração, os cinco pontos de observação em que existem valores conhecidos distribuem-se em apenas três zonas, sendo que a zona 3 é uma barreira hidráulica, onde não se encontra qualquer piezômetro. A zona 1 corresponde à união entre os sedimentos de origem Pliocénica e Miocénica. A zona 2 corresponde à zona cuja geologia é de origem Jurássica e a zona 4 Pliocénica. Abordou-se também outro método, designadamente o aumento do peso do valor correspondente a todos os piezômetros para 2, exceto o valor do piezômetro 608/29 (extremo norte) que permanece com peso igual a 1. Zonamento representado na figura 5.23.



236597.76 17010.64

Figura 5.23 - Zonamento para a hipótese de calibração nº3

Para a hipótese de calibração nº3, os valores obtidos por calibração para cada parâmetro são os seguintes:

- **Fluxo de água no sistema nas condições fronteira (*inflow* e *outflow*):**
 - CF Peral-Moncarapacho = 0.0274951 [1/d]
 - CF Malhão = 0.000699843 [1/d]
- **Condutividade Hidráulica:**
 - **Zona 1 (Pliocénica, e Miocénica)**
 - ✓ $x_{co} = 23.3202$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 23.3202$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.0081953$ [m/d]
 - É um valor aceitável. No entanto, o valor da condutividade vertical (K_z) deveria ser igual à décima parte do valor da condutividade horizontal (K_x), o que invalida a calibração e sugere a existência de um erro metodológico durante a mesma.
 - **Zona 2 (Jurássica)**
 - ✓ $x_{co} = 4015.64$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 4015.64$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.546256$ [m/d]
 - Valor muito elevado existindo ainda o mesmo problema relativo à condutividade vertical (K_z) acima descrito.
 - **Zona 3 (Cretácica)**
 - ✓ $x_{co} = 0.000573993$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 0.000573993$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.000548488$ [m/d]
 - O valor é aceitável, ocorrendo no entanto o mesmo problema relativamente ao K_z .
 - **Zona 4 (Plistocénica)**
 - ✓ $x_{co} = 8.94689$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 8.94689$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.0292476$ [m/d]
 - Valor aceitável. No entanto, ocorreu novamente a situação acima descrita relativa ao valor de K_z .

Com um coeficiente de correlação (R) = 0.96196 (figura 5.24)

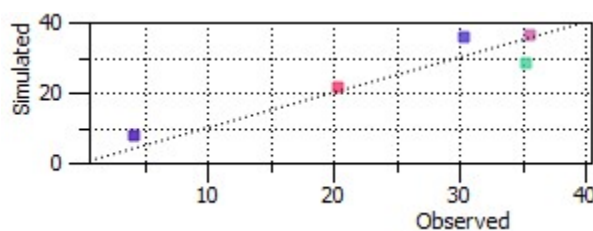


Figura 5.24 - Linha de tendência da hipótese 3 de calibração

O coeficiente de correlação é superior a 0.9, no entanto poderia estar mais próximo de 1.

$\Phi = 307.10$ (0.997 do Φ inicial) (figura 5.25)

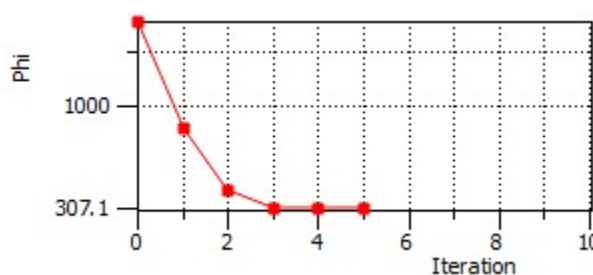


Figura 5.25- Função objetiva da calibração n°3

O Φ apresenta um valor muito próximo do inicial. A calibração em quase nada melhorou os valores (0.3%), pelo que esta não poderá ser aceite.

Análise do Resíduo

Para cada ponto de observação existe um resíduo de calibração associado e um peso (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 - Tabela de resíduos (calibração 3)

Ponto de Observação	Observado (m)	Modelado (m)	Resíduo (m)	Peso	Peso* Observado	Peso*Modelado	Peso*Resíduo
SNIRH-608_473	4.03	8.243438	-4.21344	2	8.06	16.48688	-8.42688
SNIRH-608_470	20.22	22.14242	-1.92242	2	40.44	44.28484	-3.84484
SNIRH-608_29	30.36	36.29886	-5.93886	1	30.36	36.29886	-5.93886
SNIRH-608_143	35.155	28.46908	6.685916	2	70.31	56.93817	13.37183
SNIRH-608_454	35.505	36.8494	-1.3444	2	71.01	73.69881	-2.68881

O resíduo obtido da calibração assume valores elevados no geral e não podem ser aceites.

A calibração é inválida para esta hipótese devido ao erro metodológico relativo ao Kz. No entanto não é justificável tentar corrigir este erro, uma vez que o valor de Kx e Ky para a zona 2 é demasiado elevado.

5.2.7.4 Hipótese 4

Nesta hipótese de calibração, os cinco pontos de observação encontram-se distribuídos por quatro zonas, sendo que a zona 3 é uma barreira hidráulica, onde não se encontra qualquer piezómetro. A zona 1 corresponde à união entre os sedimentos do Miocénico. A zona 2 corresponde à zona cuja geologia é de origem Jurássica, a zona 4 Pliocénica e a zona 5 tem origem Plistocénica. A figura 5.26 permite visualizar este zonamento.

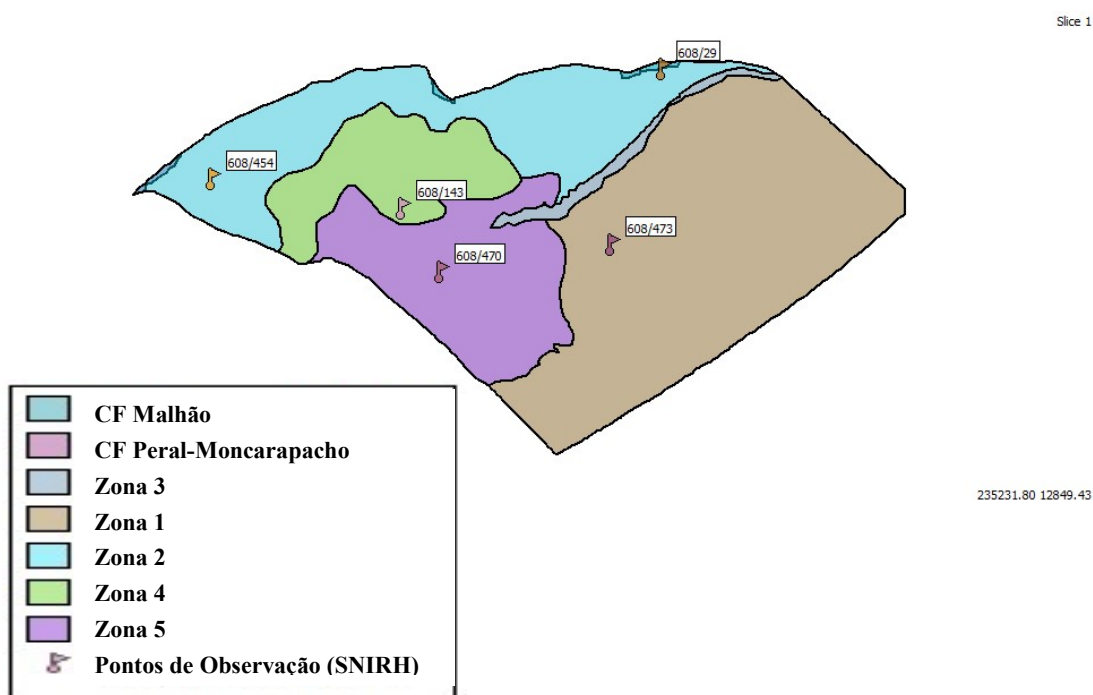


Figura 5.26 - Zonamento para a hipótese de calibração nº4

Para a hipótese de calibração nº4, os valores obtidos por calibração para cada parâmetro são os seguintes:

- **Fluxo de entrada de água o sistema nas condições fronteira (*inflow*):**
 - CF Peral-Moncarapacho = 0.0117226 [1/d]
 - CF Malhão = 0.005162 [1/d] [1/d]
- **Fluxo de saída de água do sistema nas condições fronteira (*outflow*):**
 - CF Peral-Moncarapacho = 0.0117421 [1/d]
 - CF Malhão = 0.00519401 [1/d]
- **Condutividade Hidráulica:**
 - **Zona 1 (Miocénica)**

- ✓ $x_{co} = 16.0707$ [m/d]
- ✓ $y_{co} = 16.0707$ [m/d]
- ✓ $z_{co} = 1.60707$ [m/d]
- **Zona 2 (Jurássica)**
 - ✓ $x_{co} = 91.2472$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 91.2472$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 9.12472$ [m/d]
- **Zona 3 (Cretácica)**
 - ✓ $x_{co} = 0.212455$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 0.212455$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.0212455$ [m/d]
- **Zona 4 (Plistocénica)**
 - ✓ $x_{co} = 211.353$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 211.353$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 21.1353$ [m/d]
 - Valor mais elevado em relação ao valor da zona 2. No entanto, o objetivo é que o nível piezométrico desça bruscamente na zona 4 para atingir os níveis da zona 5 e assim conseguir representar o fluxo de água no sistema.
- **Zona 5 (Pliocénica)**
 - ✓ $x_{co} = 4.15321$ [m/d]
 - ✓ $y_{co} = 4.15321$ [m/d]
 - ✓ $z_{co} = 0.415321$ [m/d]

Todos os valores permitem efetivamente representar o escoamento de forma aproximada ao real.

Com um coeficiente de correlação (R) = 0.99206 (figura 5.27)

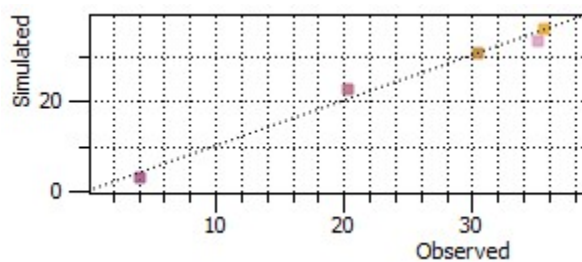


Figura 5.27 - Linha de tendência da hipótese 4 de calibração

O coeficiente de correlação é superior a 0.9 e bastante próximo de 1. A calibração tem uma correlação capaz de gerar o modelo de fluxo pretendido.

$\Phi = 11.313$ (0.936 do Φ inicial) (figura 5.28)

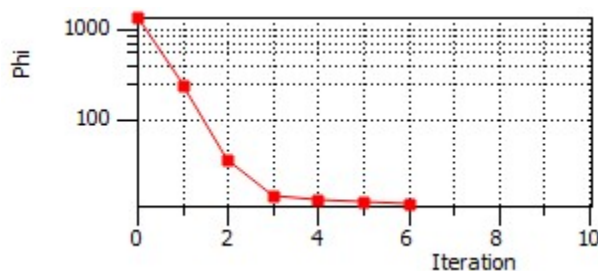


Figura 5.28 - Função objetiva da calibração nº4

O Φ apresenta um valor muito próximo do inicial. A calibração em quase nada melhorou os valores (0.8%), no entanto o valor do Φ inicial é bastante baixo permitindo também aceitar esta calibração.

-Análise do Resíduo

Na tabela 5.9 descrevem-se o resíduo para cada ponto de observação e o respetivo peso.

Tabela 5.9 - Tabela de resíduos (calibração 3)

Ponto de Observação	Observado (m)	Modelado (m)	Resíduo (m)	Peso	Peso* Observado	Peso* Modelado	Peso* Resíduo
SNIRH-608_473	4.03	3.321462	0.708538	1	4.03	3.321462	0.708538
SNIRH-608_470	20.22	22.82689	-2.606889	1	20.22	22.82689	-2.606889
SNIRH-608_29	30.36	31.004312	-0.6443012	1	30.36	31.0043	-0.6443012
SNIRH-608_143	35.155	33.27388	1.881123	1	35.155	33.27388	1.881123
SNIRH-608_454	35.505	35.75248	-0.2474805	1	35.505	35.75248	-0.2474805

O resíduo gerado pela calibração assume valores menores que 2.6 e inferior a 0.65 no piezómetro mais problemático (por estar próximo da costa), nomeadamente o 608/473. Como tal, estes valores são aceitáveis. O resíduo mais elevado verifica-se no piezómetro 608/470 e neste local, ao aplicar o Princípio de Ghyben-Herzberg ao valor do nível piezométrico, verifica-se que a cota (z) da interface água doce-salgada se encontra do ponto de vista analítico abaixo da base da camada do aquífero (Miocénico), ou seja, fora do limite do aquífero. Assim, com base no modelo analítico, o valor piezométrico calculado neste ponto não terá influência na localização do avanço da cunha salina neste sistema.

Considerou-se a calibração válida e optou-se por utilizar estes valores de parâmetros no modelo de simulação dos cenários de exploração.

5.2.8 Finalização do Modelo

Após este processo, finalizou-se o modelo. A condutividade no sistema (hipótese 4 de calibração) foi a utilizada para simular os vários cenários. Os valores de condutividade estão discriminados na figura 5.29.

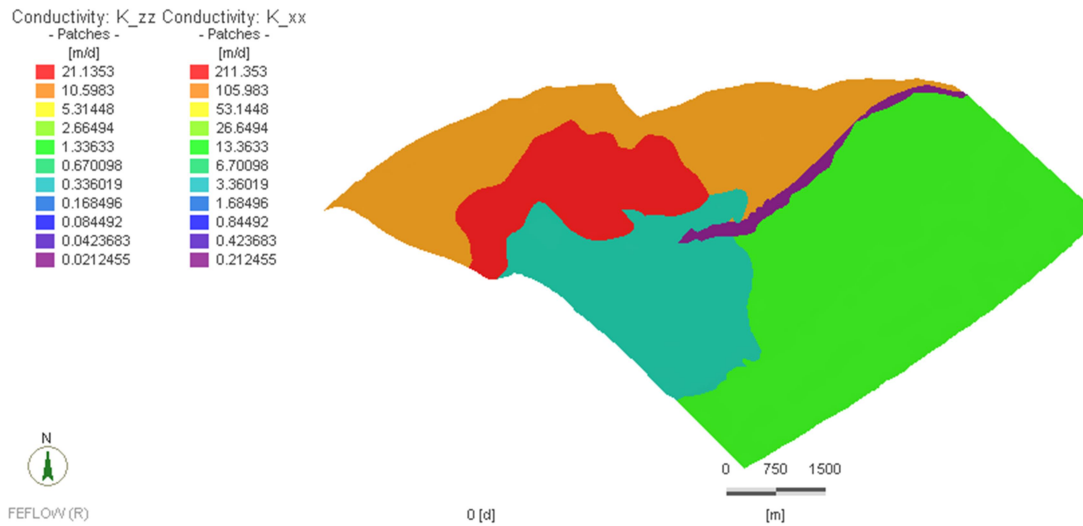


Figura 5.29 - Condutividade nas várias zonas do sistema.

5.3 APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DE GHYBEN-HERZBERG

Para a determinação da extensão *on-shore* da cunha salina, aplicou-se o Princípio de Ghyben-Herzberg aos resultados obtidos na modelação dos vários cenários, por forma a obter a cota a que se localiza a cunha salina na camada do Miocénico ao longo do Sistema Aquífero Luz-Tavira.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Neste capítulo serão apresentados os níveis piezométricos para cada cenário de exploração, acompanhados da localização e cota da cunha salina no interior do aquífero. As tabelas referentes aos valores das entradas e saídas de água do sistema para cada simulação de cenário encontram-se no anexo 3.

6.1 ANÁLISE GERAL

Na generalidade, tal como esperado, os cenários apresentam diferenças entre si. No entanto, verifica-se que dentro da mesma condição os cenários tem a mesma tendência, isto é, na condição I, caso praticados, levariam o aquífero à sobre-exploração (como é exemplo o C1I que representa a exploração no século XX). Cenários da condição II, se praticados, levariam ao inverso - a subexploração (tal como se verifica na atualidade, representada pelo cenário C1II). Assim, como já foi referido, um uso conjunto e equilibrado de água subterrânea e superficial seria uma possível solução para manter uma exploração que não compromettesse os níveis piezométricos na região. O gráfico da figura 6.1 apresenta o balanço hídrico para cada um dos cenários de exploração.

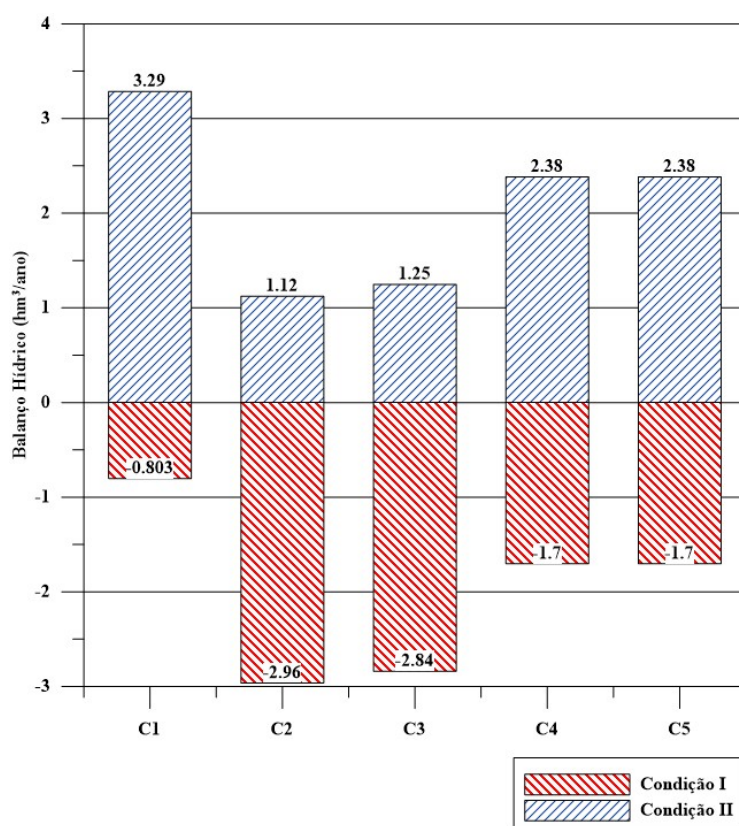


Figura 6.1 - Balanço Hídrico para cada cenário de exploração

As condições fronteira de Cauchy foram aplicadas ao modelo, no sentido de permitirem incluir a transferência de água de aquíferos vizinhos para o Sistema Aquífero Luz-Tavira. Os valores destas transferências encontram-se discriminados na tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Contributos do Peral-Moncarapacho e Malhão para o Sistema Aquífero Luz-Tavira

Contributos na Condição Fronteira (Cauchy)	C1I	C1II	C2I	C2II	C3I	C3II	C4I	C4II	C5I	C5II
Peral-Moncarapacho [hm ³ /a]	4.903	3.752	5.362	4.284	5.321	4.248	4.95	3.919	4.95	3.919
Malhão [hm ³ /a]	3.532	2.799	3.834	3.144	3.812	3.122	3.566	2.907	3.566	2.907
Total	8.435	6.551	9.196	7.428	9.133	7.37	8.516	6.826	8.516	6.826

Ao analisar a tabela 6.1, verifica-se que, dos dois sistemas vizinhos, aquele que contribui com maior volume de água para o sistema em estudo é o Peral-Moncarapacho. No entanto, este último é também aquele que apresenta uma maior recarga direta, de aproximadamente 10 hm³/ano (Almeida *et al.*, 2000). O Malhão apresenta uma recarga direta de cerca de 3 hm³/a (Almeida *et al.*, 2000), limite imposto à transferência vinda deste aquífero. Acontece que no modelo desenvolvido, este valor foi excedido nos cenários: C1I; C2I; C2II; C3I; C3II; C4I e C5I, o que identifica uma limitação do modelo. A razão da mesma incidiu na falta de tempo para testar a condição fronteira e o limite imposto à mesma com outros cenários, para além do cenário atual (C1II). Assim, de forma a quantificar o erro derivado desta limitação, a tabela 6.2 apresenta o valor em percentagem (%), em que o valor de transferência simulado excede a meta de 3 hm³/ano.

Tabela 6.2 - Erro Relativo (%) para os cenários em que o limite de transferência do Malhão para o Luz-Tavira é excedido

Erro Relativo	C1I	C2I	C2II	C3I	C3II	C4I	C5I	Média
%	17.73	27.80	4.80	27.07	4.07	18.87	18.87	17.03

Este problema poderia eventualmente ser resolvido testando diferentes variantes ou parâmetros das condições fronteiras, referentes às entradas provenientes do malhão.

6.2 ANÁLISE INDIVIDUAL

Nas figuras 6.2 a 6.21 deve entender-se que qualquer das isolinhas a sul de 0 se encontra a Ria Formosa e a norte encontra-se a área pertencente ao aquífero. De seguida estão discriminados os vários cenários.

1. **Cenário 1** - No cenário 1 simulam-se condições reais. Em termos de área de rega no cenário 1 é imposta rega no seu estado atual.

 - **Condição I** - A condição I retrata a situação observada antes da implementação do PRS e do SMAS, anterior ao ano 2000, no qual o aquífero era amplamente explorado para rega. Caso fossem a área de rega fosse igual à atual, no século XX, o sistema teria níveis piezométricos bastante próximos dos da figura 6.2.

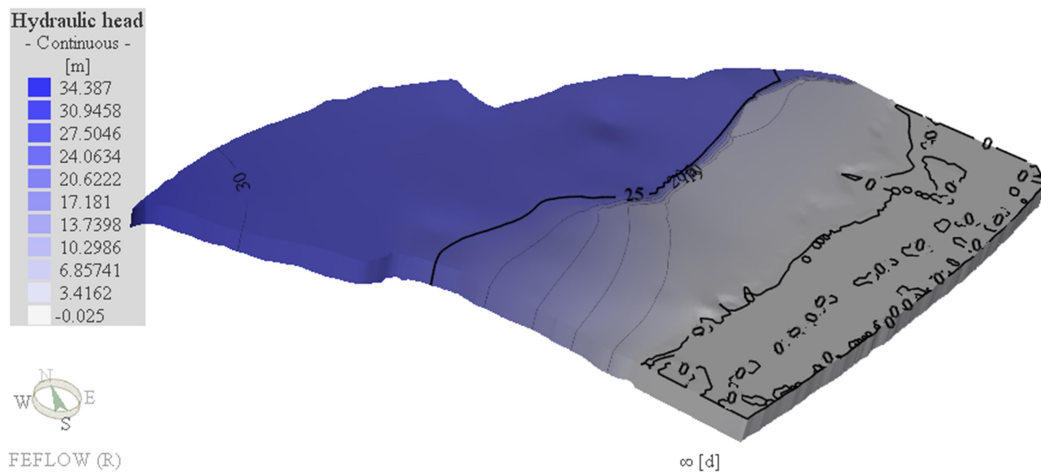


Figura 6.2 - Nível piezométrico no cenário 1, condição I (rega apenas com água subterrânea, século XX)

Para o nível piezométrico da figura 6.2, a cota de interface água doce-água salgada (m) localizar-se-ia na vertical conforme a figura 6.3.

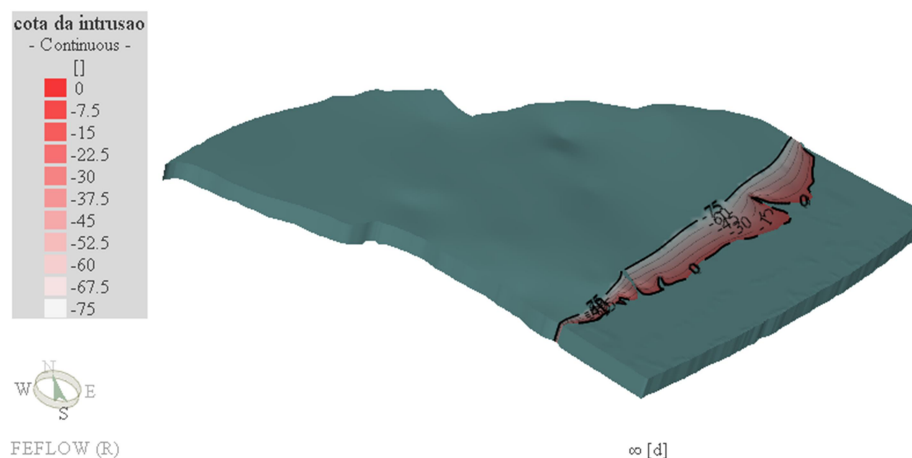


Figura 6.3 - Cota da interface (m) para o cenário 1, condição I.

Justifica-se a necessidade de se ter implementado a Área Crítica de intrusão salina no século XX, pois nota-se algum avanço para o interior do aquífero. Este é uma aproximação do que se passava neste sistema no século XX, em que as culturas mais a sul estavam expostas a elevados níveis de cloretos decorrentes desta intrusão salina.

- **Condição II** - Na condição II há um uso conjunto de água superficial e subterrânea que corresponde à situação atual de exploração do aquífero.

Como podemos verificar a partir dos mapas piezométricos do regime atual de extração (figura 6.4), os níveis piezométricos aumentaram em relação ao sucedido antes da implementação do PRS e SMAS. Este acontecimento deve-se à diminuição da extração e à recarga artificial que se dá por infiltração da água de rega superficial.

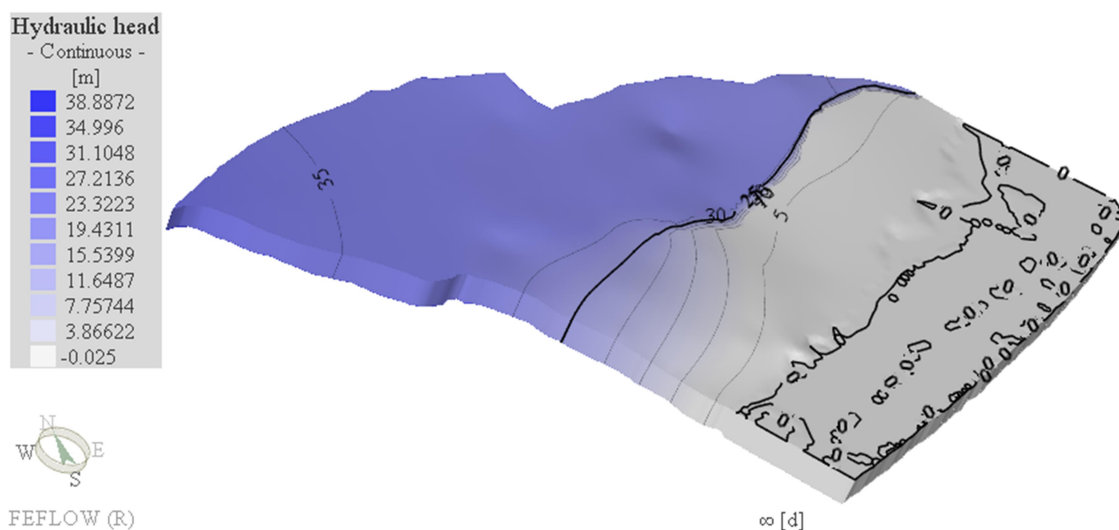


Figura 6.4 - Nível piezométrico no cenário 1, condição II (rega com água subterrânea e maioritariamente água superficial, atualidade)

Atualmente verifica-se um recuo da cunha salina em relação ao período anterior à implementação do PRS (figura 6.5).

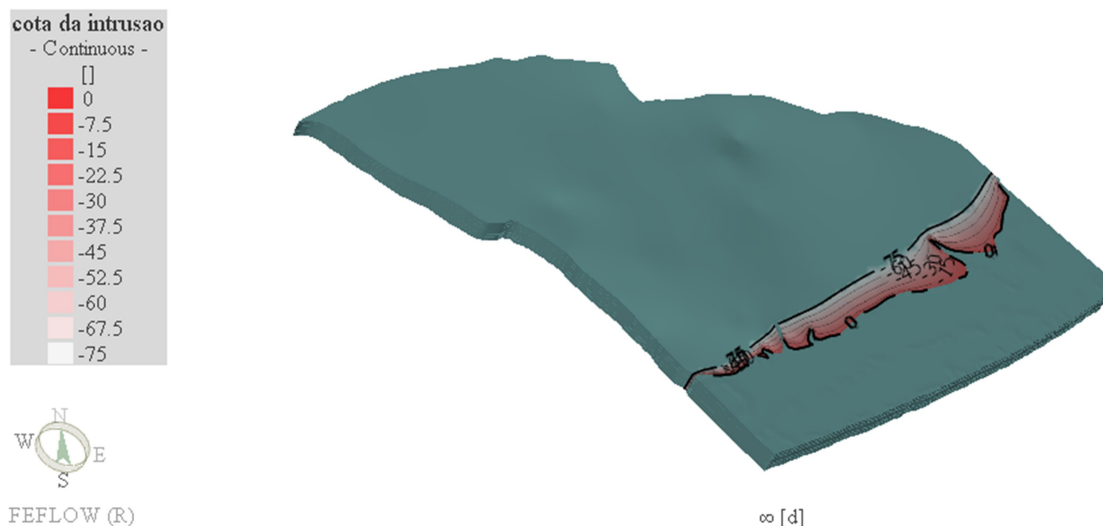


Figura 6.5 - Cota da interface (m) para o cenário 1, condição II.

Para a condição atual de exploração verifica-se que a cunha salina atinge a base do aquífero (-75 m) junto à linha de costa, o que demonstra que atualmente o problema da intrusão salina se encontra diminuído.

2. **Cenário 2** – Neste cenário de exploração verifica-se a rega da totalidade de zona que é possível regar, isto é, as culturas regadas atualmente, e ainda aquelas que se encontram abandonadas, que seriam reativadas com culturas de citrinos. Este é de todos os cenários o que mais compromete as reservas de água do sistema.
 - **Condição I** – Se, neste cenário, todas as culturas fossem regadas com água do sistema, estaríamos perante a condição I (figura 6.6). Esta condição neste cenário implica ainda um maior gasto das reservas de água subterrâneas. Tal como podemos observar a partir da figura 6.6, os níveis piezométricos encontram-se bastante baixos quando comparados com as situações de referência (Cenário 1).

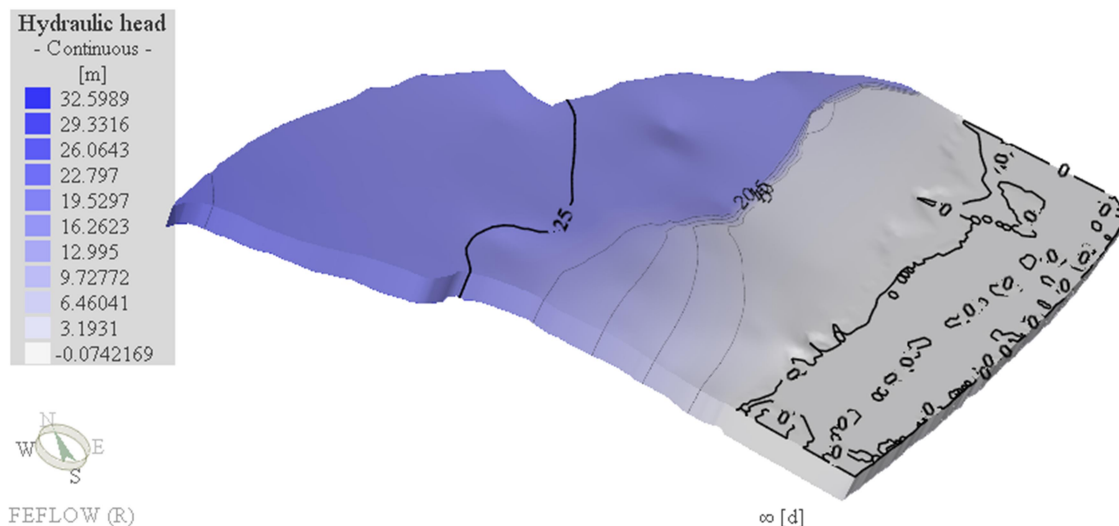


Figura 6.6 - Nível piezométrico no cenário 2, condição I (rega apenas com água subterrânea)

Para estes níveis piezométricos a cota da interface (m) encontra-se definida na figura 6.7.

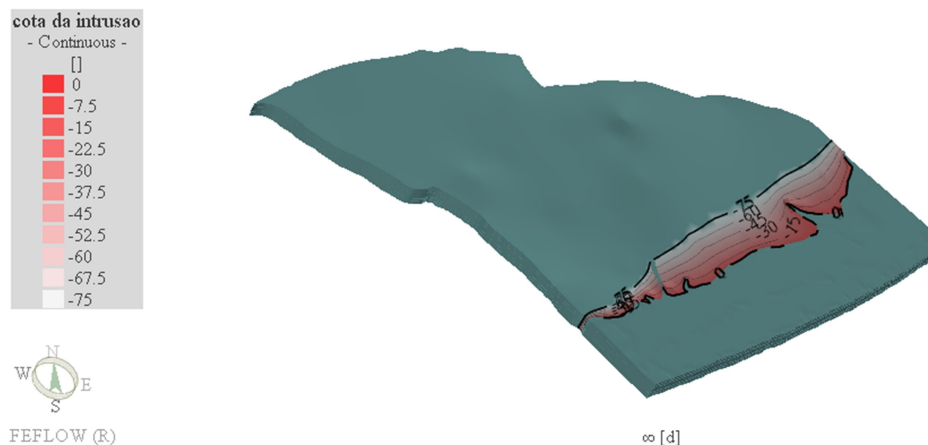


Figura 6.7 - Cota da interface (m) para o cenário 2, condição I.

Como podemos verificar na figura 6.7 o avanço da cunha salina estende-se bastante para o interior do aquífero comparativamente a outros cenários de exploração. Este cenário representa um elevado uso dos recursos de água subterrânea e, como resposta, dá-se o avanço da cunha salina para o interior do aquífero.

- **Condição II** – A condição II implica as mesmas explorações a funcionar, mas parte da água que rega as culturas é de origem superficial. Verifica-se um aumento piezométrico segundo esta condição (figura 6.8).

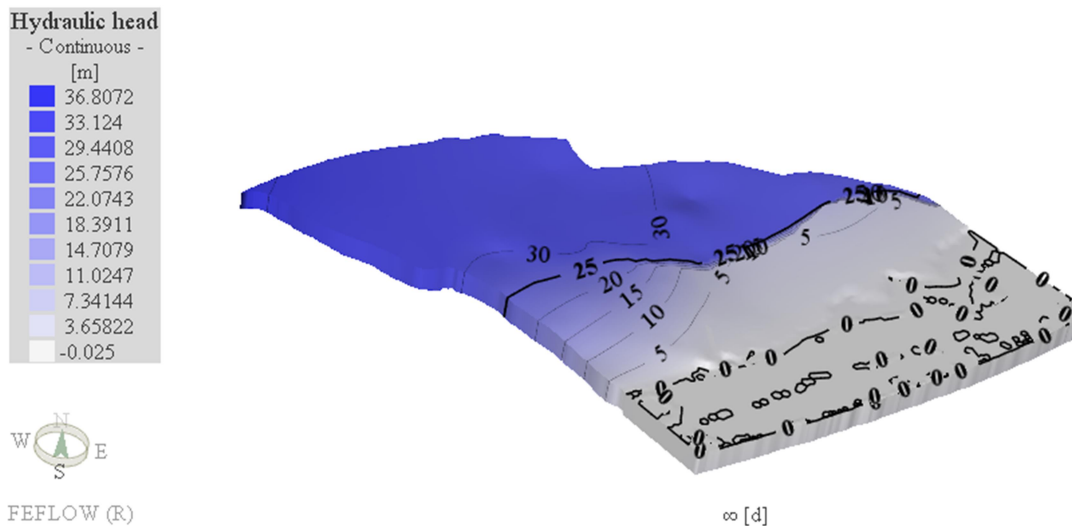


Figura 6.8 -Nível piezométrico no cenário 2, condição II (rega com água subterrânea e superficial)

Neste caso o avanço da cunha salina e a sua cota (m) estão representados na figura 6.9.

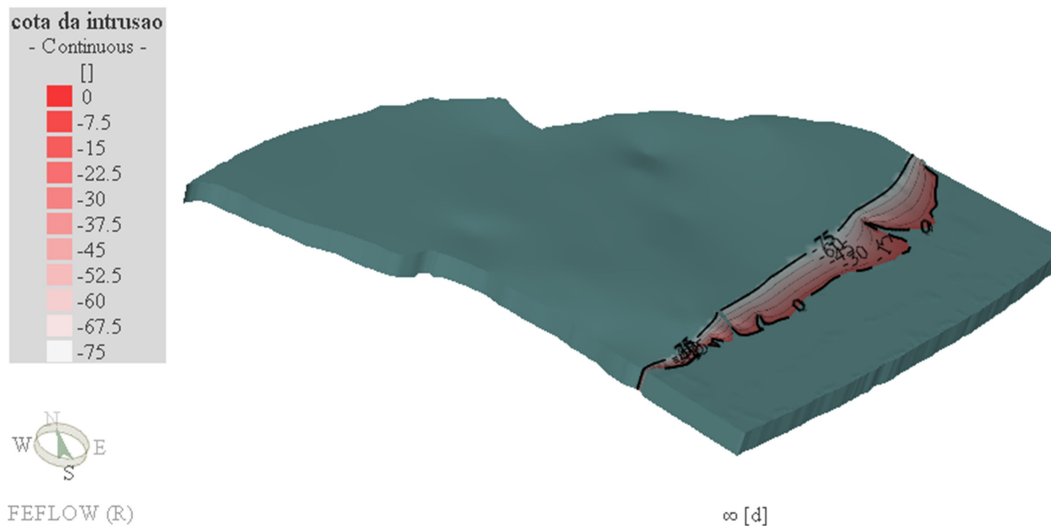


Figura 6.9 - Cota da interface para o cenário 2, condição II.

Nesta situação o avanço da cunha salina não se demonstra preocupante, não transpondo muito além a linha de costa. No obstante, aquando esta transposição, a cunha salina mantém-se profunda.

3. **Cenário 3** – A exploração no cenário 3 consiste na extração verificada atualmente, à qual se acrescentam extrações relativas à reativação da rega de citrinos em áreas RAN atualmente abandonadas.
 - **Condição I** – A figura 6.10 representa a simulação dos níveis piezométricos do Cenário 3 - Condição I, isto é, caso toda a necessidade hídrica de rega deste cenário estivesse dependente de água subterrânea.

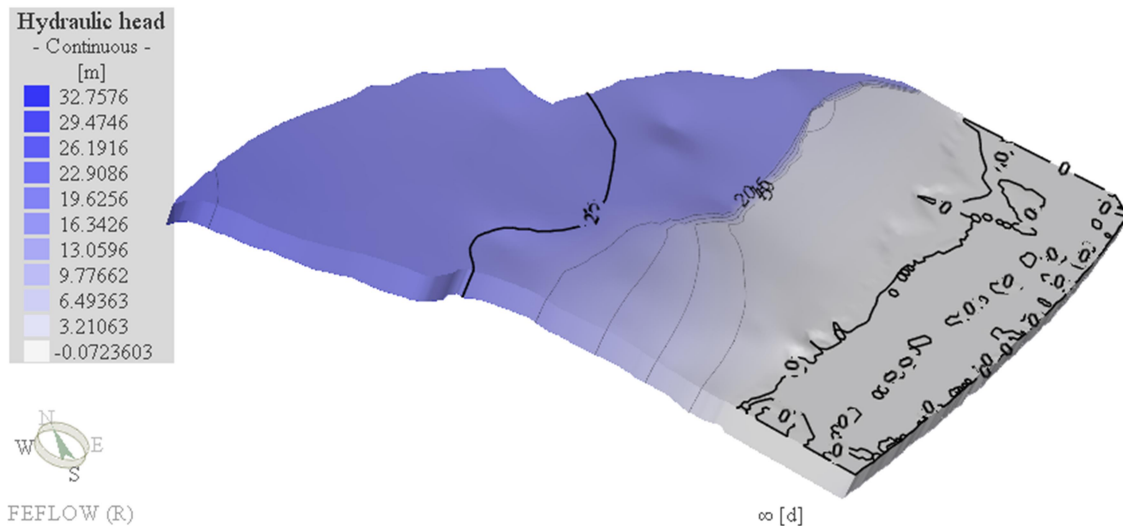


Figura 6.10 - Nível piezométrico no cenário 3, condição I (rega apenas com água subterrânea)

A cota da interface para a condição I no cenário 3 pode ser visualizada na figura 6.11.

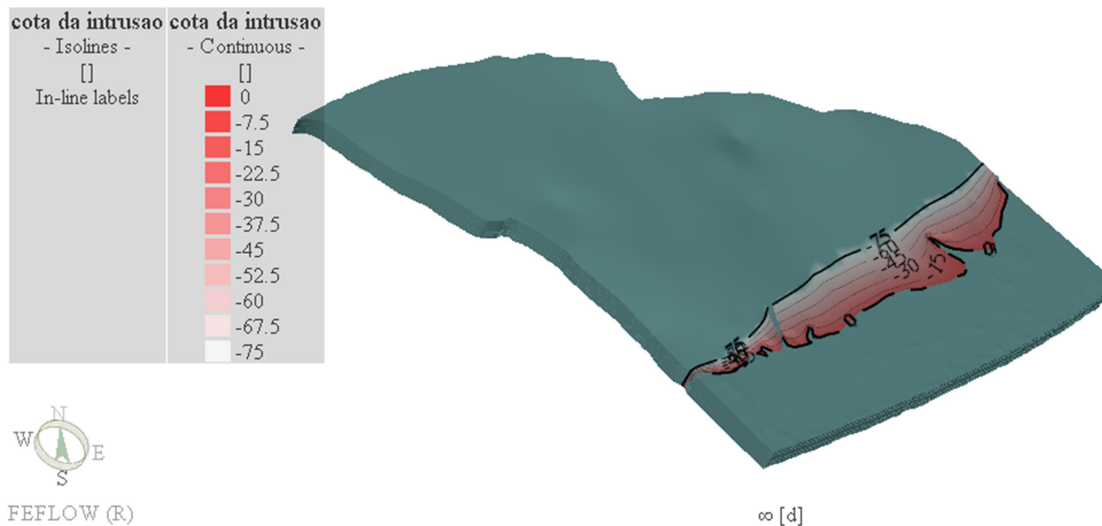


Figura 6.11 - Cota da interface (m) para o cenário 3, condição I.

Este cenário na condição 1 implica algum avanço da cunha salina (figura 6.11), o que poderia comprometer a qualidade deste recurso subterrâneo. Para se poder verificar esta rega na realidade, e de forma a não agravar o problema, teria também de se usar conjuntamente água superficial.

- **Condição II** – Esta simulação apresenta elevados níveis piezométricos (figura 6.12).

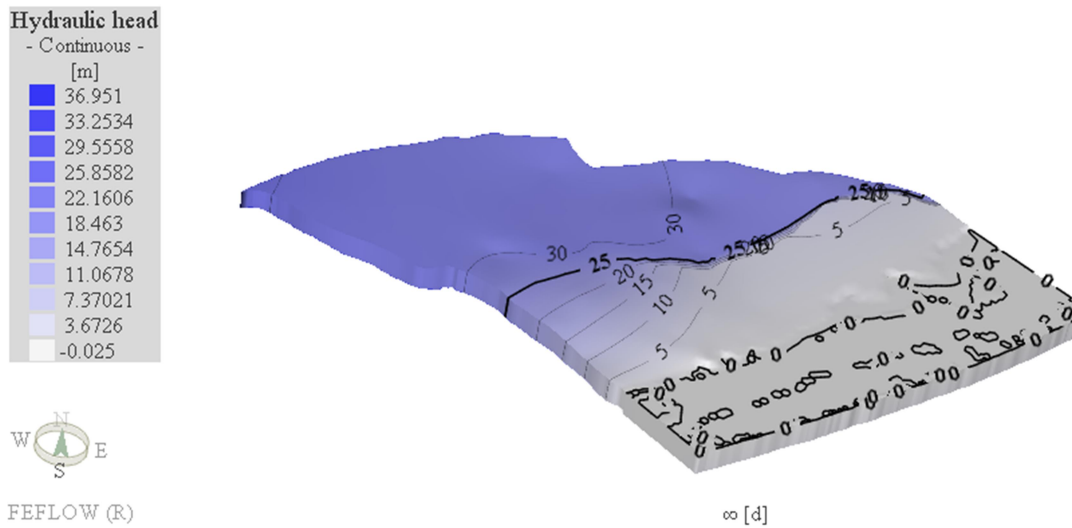


Figura 6.12 - Nível piezométrico no cenário 3, condição II (regas com água subterrânea e superficial)

Para esta simulação o avanço da cunha salina está representado na figura 6.13.

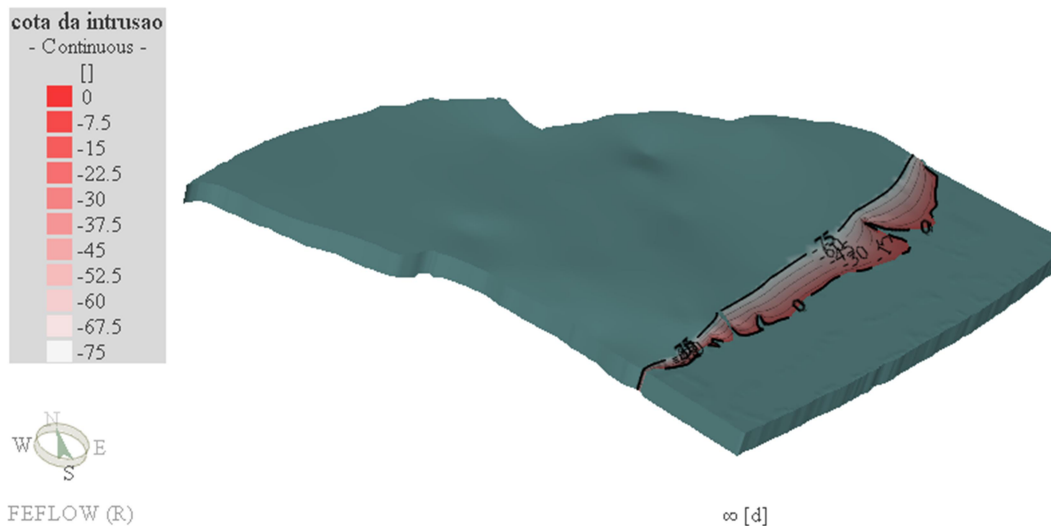


Figura 6.13- Cota da interface (m) para o cenário 3, condição II.

4. **Cenário 4** – No cenário hipotético de exploração 4 estabelece-se uma extração composta pela atual e pela decorrente da ativação de todas as captações que se encontram na Área Crítica.
- **Condição I** – Caso esta rega seja apenas efetuada com água subterrânea os níveis piezométricos encontram-se definidos na figura 6.14.

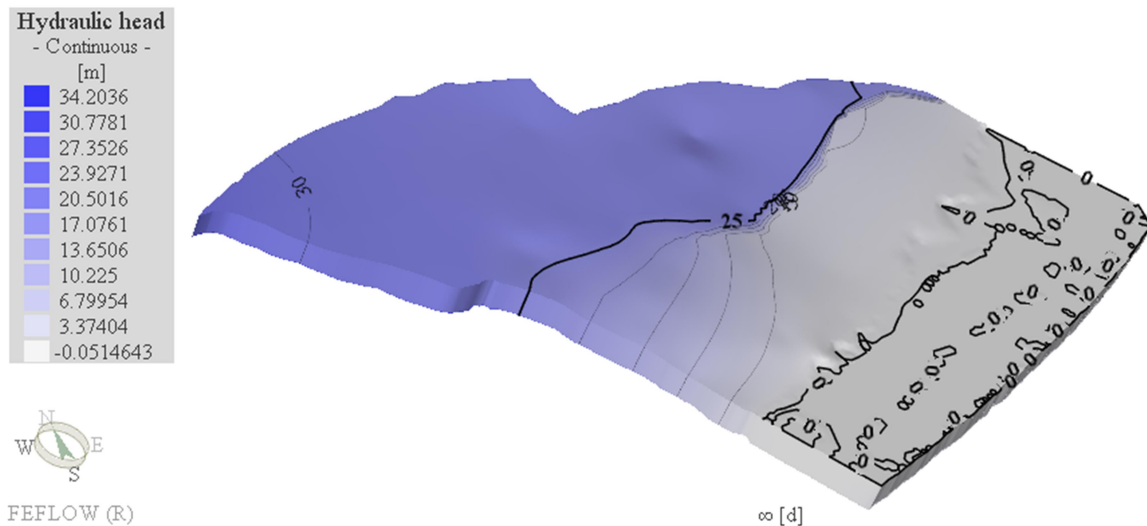


Figura 6.14 - Nível piezométrico no cenário 4, condição I (rega apenas com água subterrânea)

O avanço da interface para este cenário, nestas condições de exploração, está representado na figura 6.15.

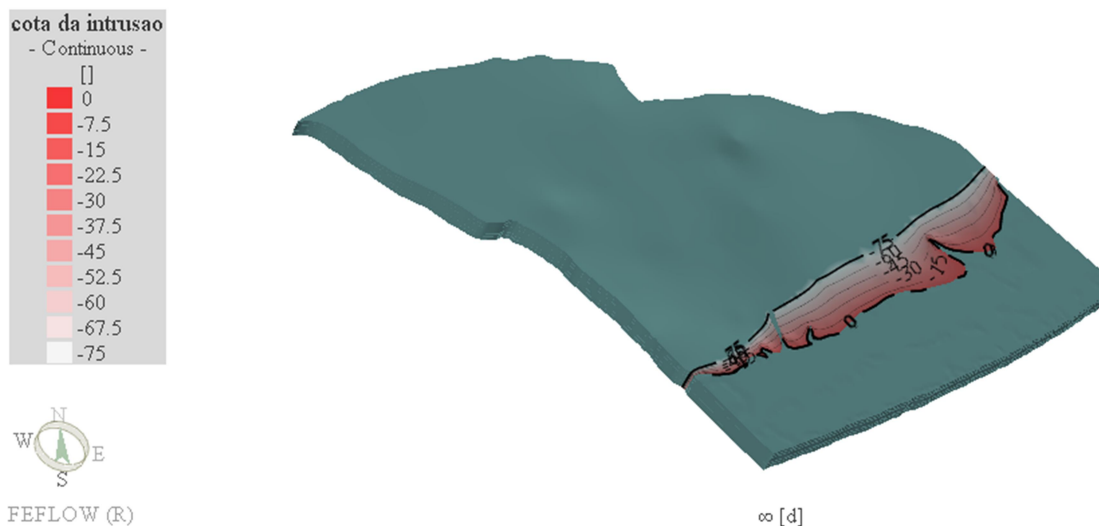


Figura 6.15 - Cota da interface (m) para o cenário 4, condição I.

O avanço da interface neste cenário estende-se para o interior do aquífero. No entanto não é o pior cenário e poderia ser evitado usando, em parte, água superficial para regar as culturas.

- **Condição II** – Se a rega for feita com base numa gestão integrada da água, usando água superficial e subterrânea, os níveis piezométricos assumem valores próximos dos da figura 6.16.

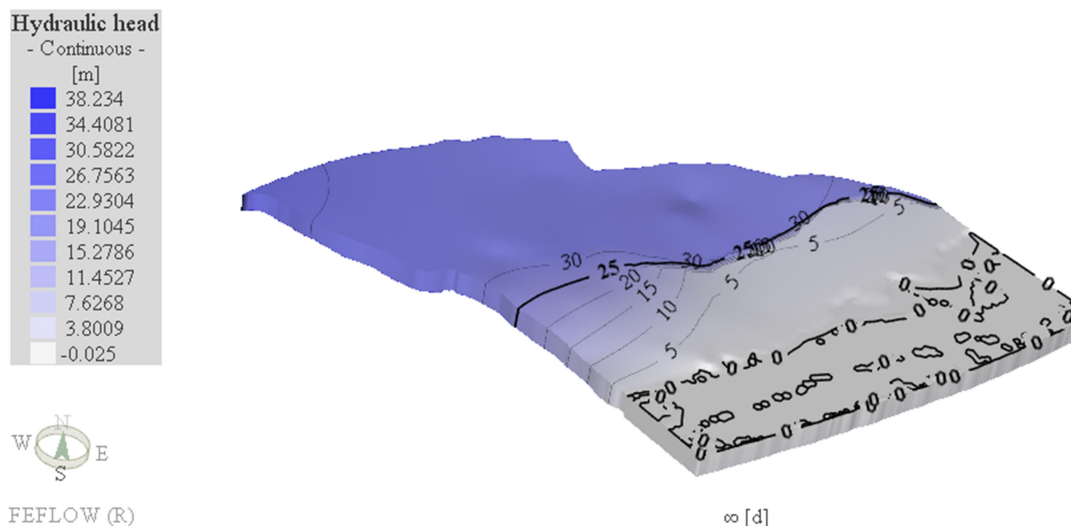


Figura 6.16 - Nível piezométrico no cenário 4, condição II (rega com água subterrânea e superficial)

Neste caso ao avanço da cunha salina não se demonstra tão preocupante (figura 6.17) comparativamente a outros cenários com mais extração.

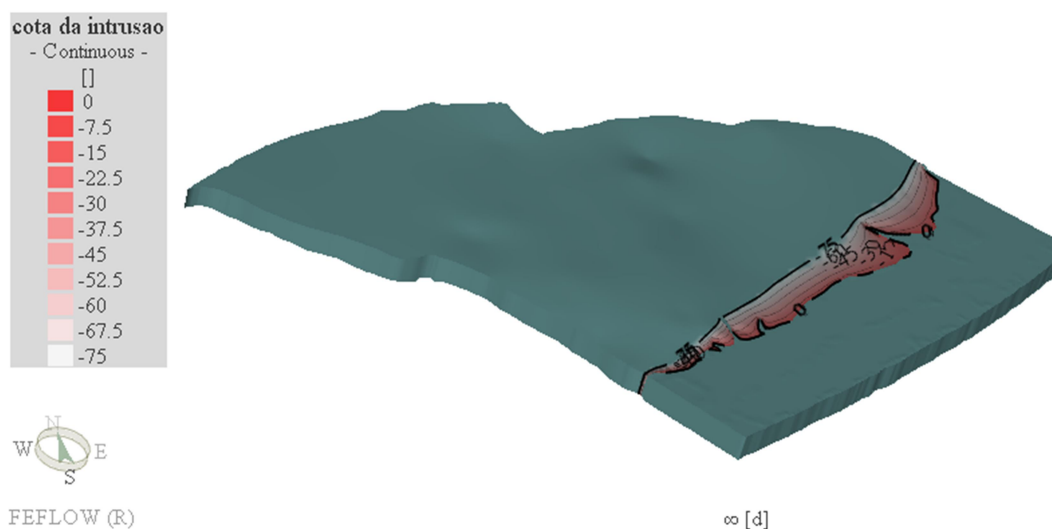


Figura 6.17 - Cota da interface para o cenário 4, condição II.

Para o cenário 4 II, o avanço da cunha salina não se estende muito além da linha de costa. Assim não representa uma ameaça à estabilidade do recurso de água que este sistema representa.

5. **Cenário 5** – A rega das culturas atuais, juntamente com a entrada em funcionamento das captações inseridas na RAN e, em simultâneo, pertencentes à Área Crítica, está representada neste cenário.
 - **Condição I** – Caso apenas seja usada água subterrânea, os níveis piezométricos estão representados na figura 6.18.

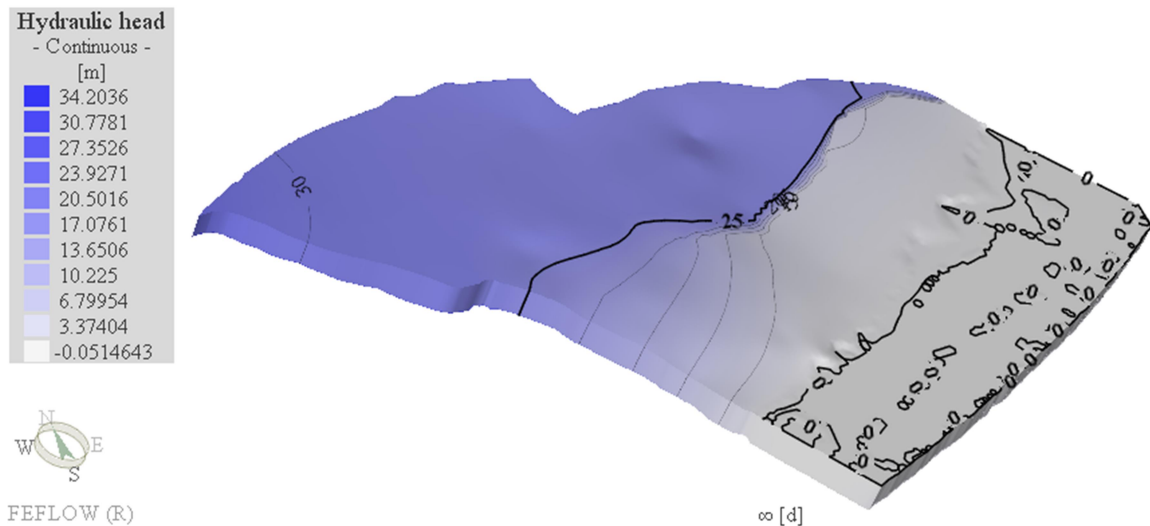


Figura 6.18 - Nível piezométrico no cenário 5, condição I (rega apenas com água subterrânea)

A cota da interface (m) correspondente a estes níveis piezométricos está representada na figura 6.19.

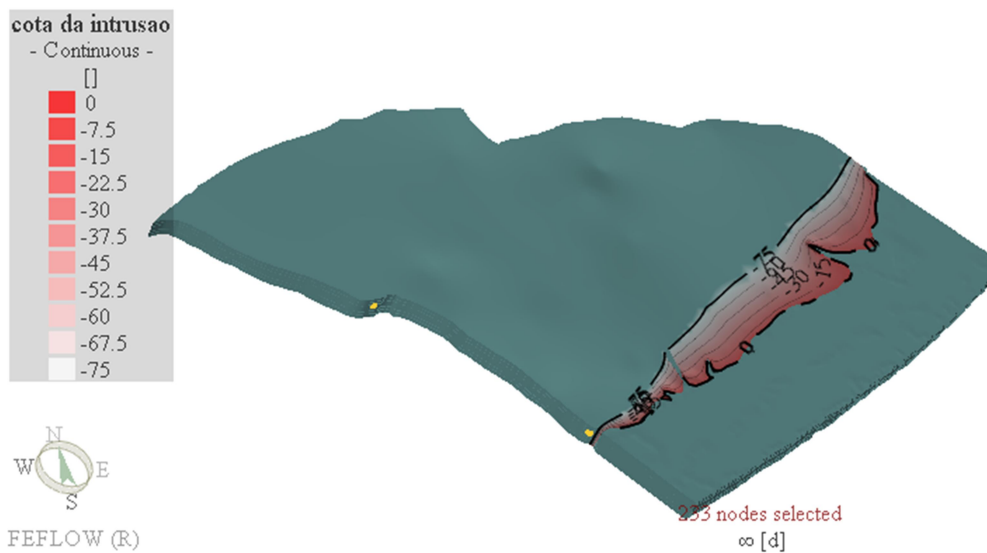


Figura 6.19 - Cota da interface (m) para o cenário 5, condição I.

Essencialmente a este, o avanço da cunha salina demonstra-se problemático. Apenas seria evitado com o uso conjunto de água superficial e subterrânea.

- **Condição II** – De outra forma, se a rega for feita com água superficial e subterrânea, os níveis piezométricos são mais elevados, tal como se pode verificar na figura 6.20.

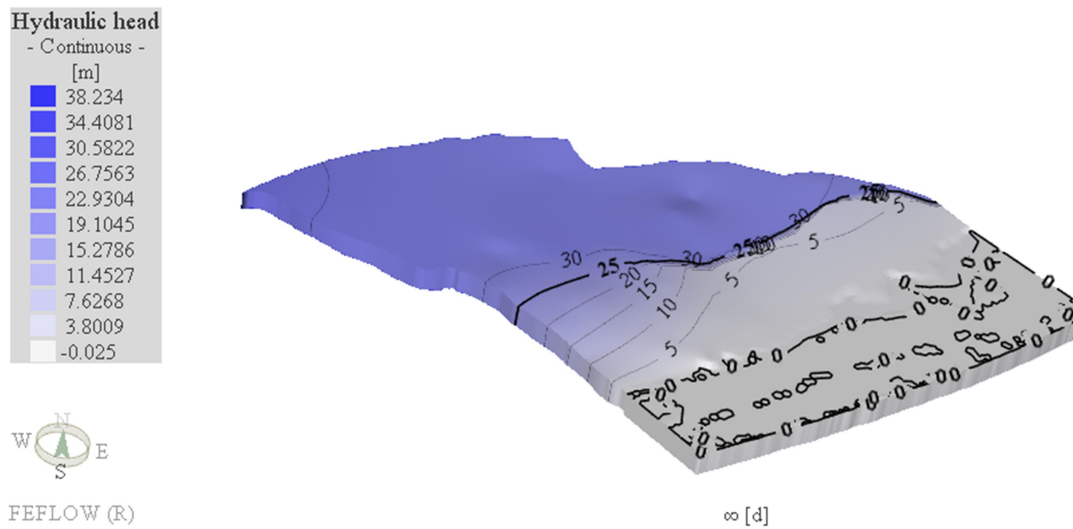


Figura 6.20 - Nível piezométrico no cenário 5, condição II (rega com água subterrânea e superficial)

Para esta condição, a cota da interface está definida na figura 6.21 e não se demonstra preocupante.

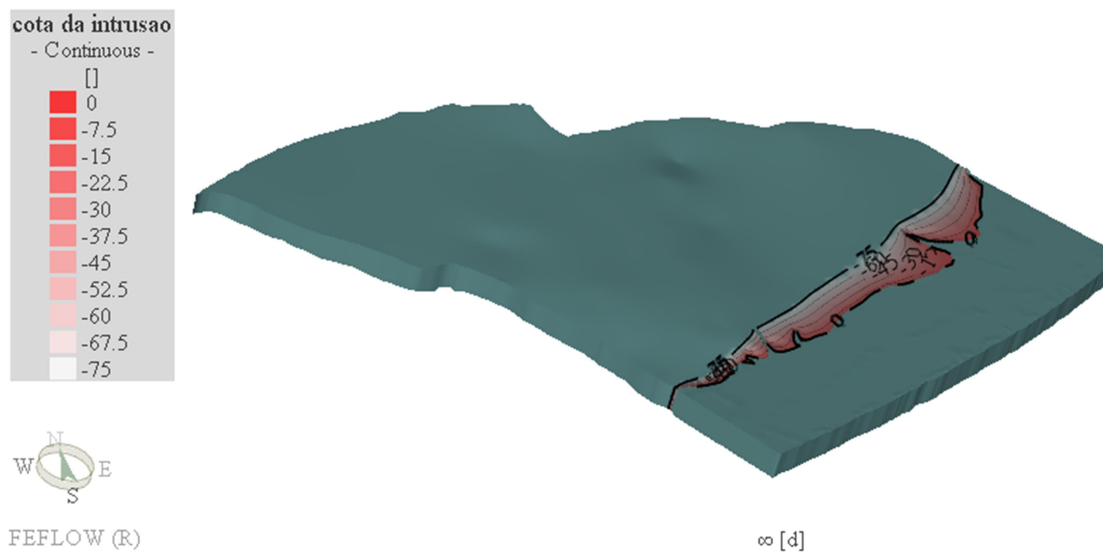


Figura 6.21 - Cota da interface para o cenário 5, condição II.

O cenário 5 II, não apresenta condições de exploração problemáticas que induzam ao avanço da cunha salina muito além da linha de costa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação recorreu-se à modelação em elementos finitos e em regime permanente do escoamento subterrâneo do aquífero Luz-Tavira.

O modelo numérico desenvolvido no trabalho deu resposta às exigências de análise necessárias para atingir os objetivos estipulados, ainda que o mesmo apresente algumas limitações.

Considerando apenas os cenários com condição II (rega abastecida por água subterrânea e superficial), verificou-se que, ao analisar dados piezométricos obtidos através dos cenários modelados, não se identificam níveis piezométricos negativos, ou mesmo rebaixamentos de elevada importância no sistema. Este facto diminui em grande escala a possibilidade de ocorrência de intrusão salina no interior do sistema. Para prever se, de facto, o sistema está livre de um avanço da cunha salina agravado em qualquer um dos cenários, aplicou-se o Princípio de Ghyben-Herzberg. Na situação atual (C1II - em que apenas uma reduzida parte da rega se faz com água subterrânea) não se obtiveram mapas de interface água doce-água salgada em que se verifique uma deslocação da interface muito acentuada para o interior do aquífero. O mesmo se verifica aquando da transposição da situação atual (onde uma percentagem da rega é realizada com água subterrânea) para outros cenários de exploração que preveem o aumento da área regada. Nem mesmo no pior dos cenários (Cenário 2II), em que a área a regar corresponde a 2547 ha de um total de 2800 ha (Área total do aquífero), se verifica um elevado afastamento da interface da linha de costa.

Ao considerar a situação de rega e extração de água anterior à implementação do PRS e do SMAS, no ano 2000, no qual a totalidade da rega era feita com água subterrânea, verificou-se que os resultados da aplicação do Princípio de Ghyben-Herzberg (cota da interface água doce – água salgada) apresentam avanço substancial da cunha salina para o interior do aquífero quando comparado a qualquer cenário da condição II. A adoção de um sistema de rega totalmente abastecido com água subterrânea resultaria nos mesmos problemas do século XX. Por esta razão, e de acordo com os resultados obtidos nas simulações dos cenários, uma possível solução para o problema da sobre-exploração *versus* subexploração seria a gestão integrada da água com uso conjunto de água subterrânea e superficial, tal como é descrito por Monteiro *et al.*, (2002).

Assim, verifica-se que foram cumpridos os objetivos do trabalho, pois os resultados da modelação estão concordantes com o enunciado por Reis & Gago (2013) em que as autoras afirmam que “Atualmente a situação deste sistema aquífero é muito favorável. Os níveis piezométricos estão muito elevados em relação ao nível médio do mar e tem vindo a ocorrer uma diminuição acentuada da concentração de cloretos. Tal situação deve-se à entrada em funcionamento do PRS com a recarga adicional, através da rega com água de origem superficial e diminuição das extrações de água subterrânea”, tal como se pretendeu simular com a condição II. As mesmas autoras referem que “Na área deste aquífero considerada crítica propõe-se que possa ocorrer um aumento das extrações, desde que condicionadas às medidas a definir no PEGA. No entanto deve continuar a existir uma pequena faixa de proteção junto ao mar, onde este aumento não seja autorizado”, pelo que, em consonância com os resultados obtidos neste trabalho é possível aumentar a emissão de licenças de captações na área atualmente definida como Área Crítica, ainda que regulamentadas e condicionadas.

Tendo em conta os resultados obtidos no presente trabalho sugere-se a redefinição dos limites da Área Crítica de forma equidistante entre o limite no interior do aquífero do avanço da interface na condição I e o mesmo limite para a condição II para o cenário de maior extração (C2). A imposição destes limites, ainda que com menor largura, permitirão agir preventivamente de forma a evitar rebaixamentos em extrações no litoral com a consequente extração de água salgada, devido à pouca profundidade a que se encontra a interface. Esta possibilidade de redução da Área Crítica deve-se à alteração do regime de exploração do sistema de sobre-explorado para subexplorado devido ao uso de água superficial para rega, em detrimento de um sistema totalmente abastecido por água subterrânea.

No entanto, fazem-se três ressalvas: i) neste modelo, em sete dos dez cenários simulados, a transferência vinda do Malhão foi sobrestimada, pelo que num futuro avanço deste modelo é necessário voltar a variar as condições fronteiras, bem como os seus parâmetros; ii) é perceptível a necessidade de modelar os cenários em regime transitório, contemplando: os efeitos dos períodos de precipitação no regime de escoamento do sistema; a variação piezométrica em função do tempo e a precipitação na região; e a definição de coeficientes de armazenamento; iii) as alterações climáticas, preveem a redução da precipitação, aumento da temperatura, diminuição da recarga, aumento do nível médio do mar, isto é, uma série de fatores que podem potenciar a o avanço da cunha salina e que não foram considerados nos cenários modelados.

Uma vez que é provável que todos os sistemas que contribuem com descargas para a Ria Formosa estejam conectados, a sua dinâmica apenas pode ser contemplada na totalidade num modelo conjunto. Esta modelação futura, efetuada em 3-Dimensões e num modelo conjunto de todos estes sistemas, permitiria retirar conclusões mais esclarecedoras e melhoradas acerca dos regimes de exploração do sistema simulados.

8 REFERÊNCIAS

- Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., & Gomes, A. J. (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. INAG, Lisboa
- Barlow, P.M., Norton, G.A., Survey, U.S.G. (2003) Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast U . S . Department of the Interior. Virginia
- Bonte, M. (1999) A Chemical and Isotopic study of the hydrogeochemical processes occurring under irrigated land in Campina de Luz, Algarve, Portugal. Faculty of Earth Sciences - Free University, Amsterdam
- Brito, S.P. (2009) Território e turismo no algarve. Centro Internacional de Investigação em Território e Turismo da Universidade do Algarve, Lisboa
- Cooley, R.L., Naff, R.L. (1990) Regression modeling of ground-water flow: US Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations, book 3, chap.
- Costa, L.R.D. (2011) Calibração de um modelo de escoamento e simulação de cenários de exploração do sistema aquífero Luz-Tavira - Uma ferramenta para a gestão da água. Universidade do Algarve
- Dausman, A.M., Langevin, C., Bakker, M., Schaars, F. (2010) A comparison between SWI and SEAWAT-The importance of dispersion, inversion and vertical anisotropy. Proc Swim 21:2010.
- Diersch, H-J.G. (2014) FEFLOW – Finite element modeling of flow, mass and heat transport in porous and fractured media, XXXV. Berlin Heidelberg
- Doherty, J. (2004) PEST Model-Independent Parameter Estimation User Manual, Watermark Numerical Computing.
- Fetter, C.W. (2001) Applied hydrogeology, 4.a edn. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, Nova Jérсия
- Ghyben, B. W. (1888), Nota in Verband met de Voorgenomen Putboring Nabij Amsterdam, Amsterdam, Tijdschr. Kon. Inst. Ing., 9, 8–22.
- Glover, R. E. (1964). Ground-water movement. [Denver], U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation.
- Herzberg, A. (1901), Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder, J. Gasbeleucht. Wasserversorg., 44, 815–819, 842–844.
- Hill, M.C. (1998) Methods and guidelines for effective model calibration. US Geological Survey Denver, CO, USA
- Hugman, R., Stigter, T.Y., Monteiro, J.P., Nunes, L. (2012) Influence of aquifer properties and the spatial and temporal distribution of recharge and abstraction on sustainable yields in semi-arid regions. Hydrol Process 26:2791–2801. doi: 10.1002/hyp.8353

- Kristensen, P. (2012) European waters: assessment of status and pressures.
- Martins, J.M.A. (2007) Inverse calibration of a Groundwater Flow Model for the Almádena-Odeóxere Aquifer System (Algarve-Portugal).
- Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia (2011) Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (RH8).
- Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia (2014) SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. In: APA IP. <http://snirh.apambiente.pt/>.
- Monteiro, J.P. (2005) A importância do Dimensionamento de Captações de Águas Subterrâneas no Algarve - Passado, Presente e Futuro. Manual Técnico de Engenharia, Águas Subterrâneas e Efluentes Tratados. Expresso Gráfico, Lisboa, Portugal
- Monteiro, J.P., Nunes, L., Vieira, J., Martins, R. R., Stigter, T., Santos, J., & Reis, E. (2003a) Síntese Bidimensional dos Modelos Conceptuais de Funcionamento Hidráulico de Seis Sistemas Aquíferos do Algarve, Baseada em Modelos Numéricos de Escoamento Regional (Bidimensional Sythesis of Conceptual Models of Six Aquifers of the Algarve, Based on Reg. As Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica 22409:159–169).
- Monteiro, J.P., Santos, J., Martins, R.R. (2002) Avaliação dos impactes associados a alterações no regime de exploração de sistemas aquíferos do Algarve Central usando Modelos Numéricos. Em: III Congresso Ibérico sobre Gestão e Planificação da Água. Resumo pp717-724 e documento electrónico em CD-Rom 10pp.
- Monteiro, J.P., Stigter, T., Martins, R. (2003b) Modelo Matemático de Simulação de Escoamento Regional do Aquífero da Luz de Tavira (Algarve-Portugal). Em: VI Congresso Nacional de Geologia. Univ. Nova de Lisboa. Fac. Ciênc. e Tecn. 4pp. Lisboa, pp 1–4
- Nicolau, M.R.R.C. (2002) Modelação e mapeamento da distribuição espacial de precipitação: uma aplicação a Portugal Continental.
- Oude Essink, G.H. (2001) Density Dependent Groundwater Flow-Salt Water Intrusion and Heat Transport.
- Reilly, T.E. (2001) System and Boundary Conceptualization in Ground-Water Flow Simulation Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. http://pubs.usgs.gov/twri/twri-3_B8/pdf/twri_3b8.pdf. Accessed 16 Set 2015
- Reis, E. (2007). Contribuição para o Cálculo do Balanço Hídrico dos Principais Sistemas Aquíferos do Algarve : Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e Desenvolvimento regional, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve, 2007
- Reis, E., Gago, C. (2013) Livro de resumos do 9o Seminário sobre Águas Subterrâneas. Em: 9o Seminário sobre Águas Subterrâneas. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Campus de Caparica, p 57

- Rodrigues, F. (2007) Avaliação dos Impactes associados a Alterações no Regime de Exploração do Sistema Aquífero Luz-Tavira através do uso de um Modelo Numérico de Escoamento. Faro
- Santos, F.D., Miranda, P. (2006) Alterações climáticas em Portugal.
- Scanlon, B.R., Mace, R.E., Barrett, M.E., Smith, B. (2003) Can we simulate regional groundwater flow in a karst system using equivalent porous media models? Case study, Barton Springs Edwards aquifer, USA. *J Hydrol* 276:137–158. doi: 10.1016/S0022-1694(03)00064-7
- Silva, M.O. (1984) Hidrogeologia do Algarve Oriental. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- Stigter, T.Y. (2005) Integrated analysis of hydrogeochemistry and assessment of groundwater contamination induced by agricultural practices. Universidade Técnica de Lisboa
- Stigter, T.Y., Carvalho Dill, A.M.M. (2001) Estudo geológico e hidrogeoquímico das regiões abrangidas pelo projecto Interreg II: Efeitos do Uso Intensivo de Fertilizantes e Produtos Fitossanitários na Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas.
- Stigter, T.Y., Carvalho Dill, A.M.M., Ribeiro, L., Reis, E. (2006) Impact of the shift from groundwater to surface water irrigation on aquifer dynamics and hydrochemistry in a semi-arid region in the south of Portugal. *Agric Water Manag* 85:121–132. doi: 10.1016/j.agwat.2006.04.004
- Stigter, T. Y., Nunes, J. P., Pisani, B., Fakir, Y., Hugman, R., Li, Y., ... & El Himer, H. (2014) Comparative assessment of climate change and its impacts on three coastal aquifers in the Mediterranean. *Reg Environ Chang* 14:41–56. doi: 10.1007/s10113-012-0377-3
- Todd, D. K., (1953) Sea water intrusion in coastal aquifers: *Am. Geophys. Union Trans.*, v. 34, no. 5, p. 749-754.
- Vieira, J., Monteiro, J.P. (2003) Atribuição de propriedades a redes não estruturadas de elementos finitos triangulares (aplicação ao cálculo da recarga de sistemas aquíferos do Algarve).
- Wang, H.F., Anderson, M.P. (1995) *Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods*. Elsevier Science
- Werner, A. D., Bakker, M., Post, V. E., Vandenbohede, A., Lu, C., Ataie-Ashtiani, B., ... & Barry, D. A. (2013) Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Adv Water Resour* 51:3–26. doi: 10.1016/j.advwatres.2012.03.004

ANEXO 1

Tabelas de Extrações

Anexo 1.a Tabela de Extrações - Condição I

Coordenadas		Valor da Extração (m ³ /ano)				
M	P	C1I	C2I	C3I	C4I	C5I
238150	17090	0.00E+00	5.39E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238430	16720	0.00E+00	1.76E+04	1.76E+04	0.00E+00	0.00E+00
238250	16840	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
240886	17515	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	0.00E+00	0.00E+00
240820	17610	1.02E+05	1.02E+05	1.02E+05	1.02E+05	1.02E+05
238570	16700	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238640	16750	0.00E+00	3.18E+04	3.18E+04	0.00E+00	0.00E+00
238830	16680	0.00E+00	1.13E+04	1.13E+04	0.00E+00	0.00E+00
239200	16820	0.00E+00	2.03E+04	2.03E+04	0.00E+00	0.00E+00
239150	16900	0.00E+00	2.03E+04	2.03E+04	0.00E+00	0.00E+00
239120	16630	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03	1.82E+03
239000	16590	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
238940	17100	5.45E+04	5.45E+04	5.45E+04	5.45E+04	5.45E+04
240500	17100	1.02E+05	1.02E+05	1.02E+05	1.02E+05	1.02E+05
239750	17240	4.59E+04	4.59E+04	4.59E+04	4.59E+04	4.59E+04
239600	17250	3.27E+03	3.27E+03	3.27E+03	3.27E+03	3.27E+03
239300	17450	1.26E+04	1.26E+04	1.26E+04	1.26E+04	1.26E+04
239110	17050	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238970	16700	0.00E+00	3.18E+04	3.18E+04	0.00E+00	0.00E+00
239170	16200	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
239300	16020	0.00E+00	5.44E+03	5.44E+03	0.00E+00	0.00E+00
239430	16440	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04
239570	16420	0.00E+00	4.56E+03	4.56E+03	0.00E+00	0.00E+00
239650	16290	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04
239470	16320	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	0.00E+00	0.00E+00
239750	16570	5.38E+02	5.38E+02	5.38E+02	5.38E+02	5.38E+02
239830	16670	1.39E+04	1.39E+04	1.39E+04	1.39E+04	1.39E+04
239930	16650	1.39E+04	1.39E+04	1.39E+04	1.39E+04	1.39E+04
240100	16650	0.00E+00	1.60E+04	1.60E+04	0.00E+00	0.00E+00
240200	16480	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04
239850	16210	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04
239970	16330	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04
239970	16060	0.00E+00	6.90E+04	6.90E+04	0.00E+00	0.00E+00
240365	16727	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04	4.48E+04
240850	16660	7.57E+03	7.57E+03	7.57E+03	7.57E+03	7.57E+03
241152	16213	3.21E+04	3.21E+04	3.21E+04	3.21E+04	3.21E+04
241060	16480	0.00E+00	5.92E+04	5.92E+04	5.92E+04	5.92E+04
241836	17432	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

240400	16170	4.07E+04	4.07E+04	4.07E+04	4.07E+04	4.07E+04
240350	16290	0.00E+00	1.19E+04	1.19E+04	0.00E+00	0.00E+00
240267	16200	4.07E+04	4.07E+04	4.07E+04	4.07E+04	4.07E+04
240430	16450	0.00E+00	1.19E+04	1.19E+04	0.00E+00	0.00E+00
239060	16130	5.36E+04	5.36E+04	5.36E+04	5.36E+04	5.36E+04
239600	16760	3.37E+03	3.37E+03	3.37E+03	3.37E+03	3.37E+03
240530	15420	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04
240470	15320	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04
239830	15570	5.84E+04	5.84E+04	5.84E+04	5.84E+04	5.84E+04
239320	15560	0.00E+00	4.68E+04	4.68E+04	0.00E+00	0.00E+00
239150	15750	0.00E+00	1.10E+04	1.10E+04	0.00E+00	0.00E+00
238060	15220	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238890	15020	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04
238500	15830	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
238730	16230	0.00E+00	1.95E+04	1.95E+04	0.00E+00	0.00E+00
238430	15950	0.00E+00	1.95E+04	1.95E+04	1.95E+04	1.95E+04
238500	15960	0.00E+00	1.95E+04	1.95E+04	0.00E+00	0.00E+00
238349	16159	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238306	16267	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
238580	16302	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
238650	16190	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
238820	16700	0.00E+00	1.13E+04	1.13E+04	0.00E+00	0.00E+00
238180	16270	2.26E+04	2.26E+04	2.26E+04	2.26E+04	2.26E+04
238110	16140	0.00E+00	1.16E+04	1.16E+04	0.00E+00	0.00E+00
238251	16161	7.39E+02	7.39E+02	7.39E+02	7.39E+02	7.39E+02
238050	15890	0.00E+00	1.25E+04	1.25E+04	1.25E+04	1.25E+04
238260	15770	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
238170	15690	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238170	15170	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238270	15970	0.00E+00	8.58E+03	8.58E+03	8.58E+03	8.58E+03
238433	16218	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236310	16060	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237840	15900	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238120	16000	0.00E+00	2.23E+03	2.23E+03	2.23E+03	2.23E+03
238090	16020	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238060	16090	0.00E+00	1.16E+04	1.16E+04	0.00E+00	0.00E+00
238467	16574	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
238350	16420	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
238240	16720	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
237900	16690	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03
237980	15580	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238820	15550	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
238090	16730	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

238000	16620	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03
237930	16820	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03
237810	16570	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03	1.68E+03
238350	15340	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
237760	16090	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237640	16160	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237470	16650	0.00E+00	9.78E+03	9.78E+03	0.00E+00	0.00E+00
237910	16150	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237550	16540	5.54E+03	5.54E+03	5.54E+03	5.54E+03	5.54E+03
237290	16150	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237150	16120	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236950	16330	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237600	16490	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237690	16450	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237440	16500	0.00E+00	9.78E+03	9.78E+03	0.00E+00	0.00E+00
237290	15350	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237560	15700	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237410	16400	0.00E+00	9.78E+03	9.78E+03	0.00E+00	0.00E+00
236540	15930	0.00E+00	6.06E+04	6.06E+04	0.00E+00	0.00E+00
237100	15130	0.00E+00	1.81E+04	1.81E+04	0.00E+00	0.00E+00
235770	15590	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237620	15340	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237810	14760	1.81E+03	1.81E+03	1.81E+03	1.81E+03	1.81E+03
238060	15140	2.81E+03	2.81E+03	2.81E+03	2.81E+03	2.81E+03
238340	15420	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
237860	15560	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237330	15014	0.00E+00	1.81E+04	1.81E+04	0.00E+00	0.00E+00
237200	15270	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236770	15140	9.13E+03	9.13E+03	9.13E+03	9.13E+03	9.13E+03
236770	15070	9.13E+03	9.13E+03	9.13E+03	9.13E+03	9.13E+03
237024	15447	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236880	15693	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237110	15820	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237730	15650	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237660	14790	1.32E+03	1.32E+03	1.32E+03	1.32E+03	1.32E+03
237090	17120	0.00E+00	3.79E+04	3.79E+04	0.00E+00	0.00E+00
237100	17030	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236940	16820	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236900	16820	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236820	17300	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236550	17280	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236460	17450	0.00E+00	2.72E+04	2.72E+04	0.00E+00	0.00E+00
236670	16910	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04

236550	16560	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237270	16580	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237100	16550	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237190	16780	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236250	16720	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236270	16900	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236417	16424	0.00E+00	6.06E+04	6.06E+04	0.00E+00	0.00E+00
236190	15940	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03
236000	16200	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03	2.60E+03
235930	16320	0.00E+00	1.36E+04	1.36E+04	0.00E+00	0.00E+00
235950	16320	0.00E+00	1.36E+04	1.36E+04	0.00E+00	0.00E+00
235830	16740	0.00E+00	8.72E+04	8.72E+04	0.00E+00	0.00E+00
235850	16350	0.00E+00	1.36E+04	1.36E+04	0.00E+00	0.00E+00
236400	15600	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236460	15820	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236530	15180	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236980	15030	0.00E+00	1.81E+04	1.81E+04	0.00E+00	0.00E+00
236650	14900	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236910	14850	3.10E+03	3.10E+03	3.10E+03	3.10E+03	3.10E+03
236990	14890	5.00E+03	5.00E+03	5.00E+03	5.00E+03	5.00E+03
237100	14700	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04
236450	14780	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236150	15010	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236960	14740	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04
237330	15230	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236870	14860	3.10E+03	3.10E+03	3.10E+03	3.10E+03	3.10E+03
242150	15650	1.10E+05	1.10E+05	1.10E+05	1.10E+05	1.10E+05
240750	14800	2.51E+04	2.51E+04	2.51E+04	2.51E+04	2.51E+04
240890	14750	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
240350	14650	0.00E+00	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04
242476	17221	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242100	16900	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
242450	16830	1.03E+04	1.03E+04	1.03E+04	1.03E+04	1.03E+04
241800	17350	0.00E+00	5.19E+04	5.19E+04	5.19E+04	5.19E+04
241750	16650	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
241650	16550	1.49E+05	1.49E+05	1.49E+05	1.49E+05	1.49E+05
241817	16035	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
241750	16800	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
241700	16700	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
242800	16700	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242750	16600	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242800	16250	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242250	16300	5.80E+04	5.80E+04	5.80E+04	5.80E+04	5.80E+04

242080	16220	5.80E+04	5.80E+04	5.80E+04	5.80E+04	5.80E+04
240060	15200	0.00E+00	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04
239820	14920	0.00E+00	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04
239280	14650	0.00E+00	3.76E+04	3.76E+04	3.76E+04	3.76E+04
239800	14200	6.84E+03	6.84E+03	6.84E+03	6.84E+03	6.84E+03
239600	14650	3.12E+04	3.12E+04	3.12E+04	3.12E+04	3.12E+04
239300	14950	0.00E+00	2.35E+04	2.35E+04	0.00E+00	0.00E+00
239100	14650	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04
239320	14500	0.00E+00	2.98E+04	2.98E+04	2.98E+04	2.98E+04
239200	14450	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
239200	14380	3.10E+04	3.10E+04	3.10E+04	3.10E+04	3.10E+04
239320	14350	3.10E+04	3.10E+04	3.10E+04	3.10E+04	3.10E+04
239220	13980	1.04E+04	1.04E+04	1.04E+04	1.04E+04	1.04E+04
238980	13920	0.00E+00	2.32E+04	2.32E+04	2.32E+04	2.32E+04
238200	12950	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238400	15250	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
238650	15380	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04	3.78E+04
237900	15030	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237700	15170	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238750	15100	0.00E+00	8.46E+03	8.46E+03	0.00E+00	0.00E+00
238800	15200	0.00E+00	1.04E+04	1.04E+04	1.04E+04	1.04E+04
238850	14650	6.51E+02	6.51E+02	6.51E+02	6.51E+02	6.51E+02
238620	14600	7.34E+03	7.34E+03	7.34E+03	7.34E+03	7.34E+03
238900	14860	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04	3.03E+04
238400	14650	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	0.00E+00	0.00E+00
238580	14600	7.34E+03	7.34E+03	7.34E+03	7.34E+03	7.34E+03
238820	13750	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04	3.50E+04
238000	14420	0.00E+00	1.91E+04	1.91E+04	1.91E+04	1.91E+04
237450	14850	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237330	14400	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04
237220	14530	0.00E+00	3.11E+03	3.11E+03	3.11E+03	3.11E+03
237060	14550	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04
237150	14420	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04
237660	14290	0.00E+00	8.28E+03	8.28E+03	0.00E+00	0.00E+00
237950	15360	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237900	15300	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238070	15400	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237900	15410	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237300	15150	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236250	15230	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236260	15170	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
235650	15760	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236200	15750	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04

236050	14950	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
236050	15060	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
235700	14740	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237750	13800	0.00E+00	3.25E+04	0.00E+00	3.25E+04	3.25E+04
237750	13450	0.00E+00	3.38E+03	3.38E+03	3.38E+03	3.38E+03
238450	13620	0.00E+00	3.46E+04	3.46E+04	3.46E+04	3.46E+04
237121	15151	0.00E+00	1.81E+04	1.81E+04	1.81E+04	1.81E+04
235250	14950	0.00E+00	3.89E+03	3.89E+03	0.00E+00	0.00E+00
233700	15800	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04
233720	15800	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04
233720	15750	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04	9.22E+04
234300	16500	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
234850	16050	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
235100	16450	0.00E+00	8.72E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
235537	16657	0.00E+00	8.72E+04	8.72E+04	0.00E+00	0.00E+00
235200	15300	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
235250	15970	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
234700	15550	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
234120	15370	1.51E+04	1.51E+04	1.51E+04	1.51E+04	1.51E+04
234181	15755	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237480	15600	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237570	14460	1.49E+04	1.49E+04	1.49E+04	1.49E+04	1.49E+04
237650	14450	1.49E+04	1.49E+04	1.49E+04	1.49E+04	1.49E+04
240145	14845	0.00E+00	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04	6.90E+04
236550	16500	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
238250	15300	1.47E+03	1.47E+03	1.47E+03	1.47E+03	1.47E+03
237472	16532	0.00E+00	9.78E+03	9.78E+03	0.00E+00	0.00E+00
238950	16600	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
239050	16550	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04
242550	16100	1.10E+05	1.10E+05	1.10E+05	1.10E+05	1.10E+05
237700	15100	0.00E+00	7.29E+03	7.29E+03	7.29E+03	7.29E+03
241850	16450	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
240500	15350	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04	5.63E+04
239400	17300	5.45E+04	5.45E+04	5.45E+04	5.45E+04	5.45E+04
242550	16300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242147	17153	0.00E+00	4.04E+03	4.04E+03	4.04E+03	4.04E+03
240668	15951	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237983	15143	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
237019	14700	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04	4.17E+04
234021	16072	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
234507	16019	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
235727	16763	0.00E+00	8.72E+04	8.72E+04	0.00E+00	0.00E+00
238265	16823	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04	2.38E+04

237227	16925	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
235013	16089	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04	4.74E+04
239517	13850	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
241900	15926	0.00E+00	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04	4.69E+04
238035	16142	0.00E+00	1.16E+04	1.16E+04	1.16E+04	1.16E+04
238260	16232	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236915	15195	0.00E+00	1.81E+04	1.81E+04	0.00E+00	0.00E+00
TOTAL		6.16E+06	8.31E+06	8.19E+06	7.06E+06	7.06E+06

Anexo 1.b Tabela de Extrações - Condição II

Coordenadas						
M	P	C1II	C2II	C3II	C4II	C5II
238150	17090	0.00E+00	2.74E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238430	16720	0.00E+00	8.93E+03	8.80E+03	0.00E+00	0.00E+00
238250	16840	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
240886	17515	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	0.00E+00	0.00E+00
240820	17610	3.43E+04	5.20E+04	5.12E+04	4.30E+04	4.30E+04
238570	16700	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238640	16750	0.00E+00	1.62E+04	1.59E+04	0.00E+00	0.00E+00
238830	16680	0.00E+00	5.76E+03	5.68E+03	0.00E+00	0.00E+00
239200	16820	0.00E+00	1.03E+04	1.02E+04	0.00E+00	0.00E+00
239150	16900	0.00E+00	1.03E+04	1.02E+04	0.00E+00	0.00E+00
239120	16630	6.13E+02	9.28E+02	9.14E+02	7.68E+02	7.68E+02
239000	16590	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
238940	17100	1.83E+04	2.77E+04	2.73E+04	2.29E+04	2.29E+04
240500	17100	3.43E+04	5.20E+04	5.12E+04	4.30E+04	4.30E+04
239750	17240	1.54E+04	2.33E+04	2.30E+04	1.93E+04	1.93E+04
239600	17250	1.10E+03	1.66E+03	1.64E+03	1.38E+03	1.38E+03
239300	17450	4.23E+03	6.41E+03	6.31E+03	5.30E+03	5.30E+03
239110	17050	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238970	16700	0.00E+00	1.62E+04	1.59E+04	0.00E+00	0.00E+00
239170	16200	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
239300	16020	0.00E+00	2.77E+03	2.73E+03	0.00E+00	0.00E+00
239430	16440	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	1.89E+04	1.89E+04
239570	16420	0.00E+00	2.32E+03	2.29E+03	0.00E+00	0.00E+00
239650	16290	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	1.89E+04	1.89E+04
239470	16320	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	0.00E+00	0.00E+00
239750	16570	1.81E+02	2.74E+02	2.70E+02	2.26E+02	2.26E+02
239830	16670	4.68E+03	7.09E+03	6.98E+03	5.87E+03	5.87E+03
239930	16650	4.68E+03	7.09E+03	6.98E+03	5.87E+03	5.87E+03
240100	16650	0.00E+00	8.14E+03	8.02E+03	0.00E+00	0.00E+00
240200	16480	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	1.89E+04	1.89E+04
239850	16210	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	1.89E+04	1.89E+04
239970	16330	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	1.89E+04	1.89E+04
239970	16060	0.00E+00	3.51E+04	3.46E+04	0.00E+00	0.00E+00
240365	16727	1.51E+04	2.28E+04	2.25E+04	1.89E+04	1.89E+04
240850	16660	2.54E+03	3.85E+03	3.79E+03	3.19E+03	3.19E+03
241152	16213	1.08E+04	1.64E+04	1.61E+04	1.35E+04	1.35E+04
241060	16480	0.00E+00	3.01E+04	2.97E+04	2.49E+04	2.49E+04
241836	17432	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

240400	16170	1.37E+04	2.07E+04	2.04E+04	1.71E+04	1.71E+04
240350	16290	0.00E+00	6.03E+03	5.94E+03	0.00E+00	0.00E+00
240267	16200	1.37E+04	2.07E+04	2.04E+04	1.71E+04	1.71E+04
240430	16450	0.00E+00	6.03E+03	5.94E+03	0.00E+00	0.00E+00
239060	16130	1.80E+04	2.73E+04	2.69E+04	2.26E+04	2.26E+04
239600	16760	1.13E+03	1.71E+03	1.69E+03	1.42E+03	1.42E+03
240530	15420	1.89E+04	2.86E+04	2.82E+04	2.37E+04	2.37E+04
240470	15320	1.89E+04	2.86E+04	2.82E+04	2.37E+04	2.37E+04
239830	15570	1.96E+04	2.97E+04	2.93E+04	2.46E+04	2.46E+04
239320	15560	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	0.00E+00	0.00E+00
239150	15750	0.00E+00	5.62E+03	5.54E+03	0.00E+00	0.00E+00
238060	15220	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238890	15020	1.02E+04	1.54E+04	1.52E+04	1.28E+04	1.28E+04
238500	15830	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
238730	16230	0.00E+00	9.91E+03	9.77E+03	0.00E+00	0.00E+00
238430	15950	0.00E+00	9.91E+03	9.77E+03	8.20E+03	8.20E+03
238500	15960	0.00E+00	9.91E+03	9.77E+03	0.00E+00	0.00E+00
238349	16159	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238306	16267	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
238580	16302	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
238650	16190	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
238820	16700	0.00E+00	5.76E+03	5.68E+03	0.00E+00	0.00E+00
238180	16270	7.58E+03	1.15E+04	1.13E+04	9.50E+03	9.50E+03
238110	16140	0.00E+00	5.90E+03	5.82E+03	0.00E+00	0.00E+00
238251	16161	2.48E+02	3.76E+02	3.71E+02	3.11E+02	3.11E+02
238050	15890	0.00E+00	6.35E+03	6.25E+03	5.25E+03	5.25E+03
238260	15770	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
238170	15690	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238170	15170	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238270	15970	0.00E+00	4.36E+03	4.30E+03	3.61E+03	3.61E+03
238433	16218	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236310	16060	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237840	15900	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238120	16000	0.00E+00	1.13E+03	1.12E+03	9.39E+02	9.39E+02
238090	16020	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238060	16090	0.00E+00	5.90E+03	5.82E+03	0.00E+00	0.00E+00
238467	16574	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
238350	16420	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
238240	16720	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
237900	16690	5.64E+02	8.53E+02	8.41E+02	7.06E+02	7.06E+02
237980	15580	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04

238820	15550	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
238090	16730	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238000	16620	5.64E+02	8.53E+02	8.41E+02	7.06E+02	7.06E+02
237930	16820	5.64E+02	8.53E+02	8.41E+02	7.06E+02	7.06E+02
237810	16570	5.64E+02	8.53E+02	8.41E+02	7.06E+02	7.06E+02
238350	15340	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
237760	16090	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237640	16160	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237470	16650	0.00E+00	4.97E+03	4.90E+03	0.00E+00	0.00E+00
237910	16150	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237550	16540	1.86E+03	2.82E+03	2.78E+03	2.33E+03	2.33E+03
237290	16150	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237150	16120	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236950	16330	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237600	16490	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237690	16450	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237440	16500	0.00E+00	4.97E+03	4.90E+03	0.00E+00	0.00E+00
237290	15350	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237560	15700	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237410	16400	0.00E+00	4.97E+03	4.90E+03	0.00E+00	0.00E+00
236540	15930	0.00E+00	3.08E+04	3.04E+04	0.00E+00	0.00E+00
237100	15130	0.00E+00	9.19E+03	9.05E+03	0.00E+00	0.00E+00
235770	15590	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237620	15340	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237810	14760	6.07E+02	9.19E+02	9.06E+02	7.61E+02	7.61E+02
238060	15140	9.43E+02	1.43E+03	1.41E+03	1.18E+03	1.18E+03
238340	15420	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
237860	15560	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237330	15014	0.00E+00	9.19E+03	9.05E+03	0.00E+00	0.00E+00
237200	15270	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236770	15140	3.07E+03	4.64E+03	4.57E+03	3.84E+03	3.84E+03
236770	15070	3.07E+03	4.64E+03	4.57E+03	3.84E+03	3.84E+03
237024	15447	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236880	15693	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237110	15820	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237730	15650	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237660	14790	4.44E+02	6.71E+02	6.62E+02	5.56E+02	5.56E+02
237090	17120	0.00E+00	1.93E+04	1.90E+04	0.00E+00	0.00E+00
237100	17030	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236940	16820	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236900	16820	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04

236820	17300	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236550	17280	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236460	17450	0.00E+00	1.38E+04	1.36E+04	0.00E+00	0.00E+00
236670	16910	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236550	16560	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237270	16580	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237100	16550	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237190	16780	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236250	16720	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236270	16900	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236417	16424	0.00E+00	3.08E+04	3.04E+04	0.00E+00	0.00E+00
236190	15940	8.72E+02	1.32E+03	1.30E+03	1.09E+03	1.09E+03
236000	16200	8.72E+02	1.32E+03	1.30E+03	1.09E+03	1.09E+03
235930	16320	0.00E+00	6.93E+03	6.82E+03	0.00E+00	0.00E+00
235950	16320	0.00E+00	6.93E+03	6.82E+03	0.00E+00	0.00E+00
235830	16740	0.00E+00	4.44E+04	4.37E+04	0.00E+00	0.00E+00
235850	16350	0.00E+00	6.93E+03	6.82E+03	0.00E+00	0.00E+00
236400	15600	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236460	15820	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236530	15180	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236980	15030	0.00E+00	9.19E+03	9.05E+03	0.00E+00	0.00E+00
236650	14900	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236910	14850	1.04E+03	1.58E+03	1.55E+03	1.30E+03	1.30E+03
236990	14890	1.68E+03	2.55E+03	2.51E+03	2.11E+03	2.11E+03
237100	14700	1.40E+04	2.12E+04	2.09E+04	1.76E+04	1.76E+04
236450	14780	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236150	15010	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236960	14740	1.40E+04	2.12E+04	2.09E+04	1.76E+04	1.76E+04
237330	15230	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236870	14860	1.04E+03	1.58E+03	1.55E+03	1.30E+03	1.30E+03
242150	15650	3.69E+04	5.58E+04	5.50E+04	4.62E+04	4.62E+04
240750	14800	8.45E+03	1.28E+04	1.26E+04	1.06E+04	1.06E+04
240890	14750	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
240350	14650	0.00E+00	3.51E+04	3.46E+04	2.91E+04	2.91E+04
242476	17221	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242100	16900	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04
242450	16830	3.48E+03	5.26E+03	5.19E+03	4.36E+03	4.36E+03
241800	17350	0.00E+00	2.64E+04	2.60E+04	2.18E+04	2.18E+04
241750	16650	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04
241650	16550	5.02E+04	7.59E+04	7.48E+04	6.29E+04	6.29E+04
241817	16035	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04

241750	16800	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04
241700	16700	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04
242800	16700	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242750	16600	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242800	16250	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242250	16300	1.95E+04	2.95E+04	2.91E+04	2.44E+04	2.44E+04
242080	16220	1.95E+04	2.95E+04	2.91E+04	2.44E+04	2.44E+04
240060	15200	0.00E+00	3.51E+04	3.46E+04	2.91E+04	2.91E+04
239820	14920	0.00E+00	3.51E+04	3.46E+04	2.91E+04	2.91E+04
239280	14650	0.00E+00	1.91E+04	1.88E+04	1.58E+04	1.58E+04
239800	14200	2.30E+03	3.48E+03	3.43E+03	2.88E+03	2.88E+03
239600	14650	1.05E+04	1.59E+04	1.56E+04	1.31E+04	1.31E+04
239300	14950	0.00E+00	1.20E+04	1.18E+04	0.00E+00	0.00E+00
239100	14650	1.02E+04	1.54E+04	1.52E+04	1.28E+04	1.28E+04
239320	14500	0.00E+00	1.52E+04	1.49E+04	1.25E+04	1.25E+04
239200	14450	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
239200	14380	1.04E+04	1.58E+04	1.55E+04	1.31E+04	1.31E+04
239320	14350	1.04E+04	1.58E+04	1.55E+04	1.31E+04	1.31E+04
239220	13980	3.50E+03	5.30E+03	5.22E+03	4.39E+03	4.39E+03
238980	13920	0.00E+00	1.18E+04	1.16E+04	9.75E+03	9.75E+03
238200	12950	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
238400	15250	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
238650	15380	1.27E+04	1.92E+04	1.90E+04	1.59E+04	1.59E+04
237900	15030	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237700	15170	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238750	15100	0.00E+00	4.31E+03	4.24E+03	0.00E+00	0.00E+00
238800	15200	0.00E+00	5.31E+03	5.23E+03	4.39E+03	4.39E+03
238850	14650	2.19E+02	3.31E+02	3.26E+02	2.74E+02	2.74E+02
238620	14600	2.47E+03	3.73E+03	3.68E+03	3.09E+03	3.09E+03
238900	14860	1.02E+04	1.54E+04	1.52E+04	1.28E+04	1.28E+04
238400	14650	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	0.00E+00	0.00E+00
238580	14600	2.47E+03	3.73E+03	3.68E+03	3.09E+03	3.09E+03
238820	13750	1.18E+04	1.78E+04	1.75E+04	1.47E+04	1.47E+04
238000	14420	0.00E+00	9.73E+03	9.59E+03	8.06E+03	8.06E+03
237450	14850	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237330	14400	1.40E+04	2.12E+04	2.09E+04	1.76E+04	1.76E+04
237220	14530	0.00E+00	1.58E+03	1.56E+03	1.31E+03	1.31E+03
237060	14550	1.40E+04	2.12E+04	2.09E+04	1.76E+04	1.76E+04
237150	14420	1.40E+04	2.12E+04	2.09E+04	1.76E+04	1.76E+04
237660	14290	0.00E+00	4.21E+03	4.15E+03	0.00E+00	0.00E+00
237950	15360	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04

237900	15300	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238070	15400	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237900	15410	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237300	15150	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236250	15230	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236260	15170	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
235650	15760	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236200	15750	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236050	14950	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
236050	15060	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
235700	14740	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237750	13800	0.00E+00	1.66E+04	0.00E+00	1.37E+04	1.37E+04
237750	13450	0.00E+00	1.72E+03	1.69E+03	1.42E+03	1.42E+03
238450	13620	0.00E+00	1.76E+04	1.73E+04	1.46E+04	1.46E+04
237121	15151	0.00E+00	9.19E+03	9.05E+03	7.61E+03	7.61E+03
235250	14950	0.00E+00	1.98E+03	1.95E+03	0.00E+00	0.00E+00
233700	15800	3.10E+04	4.69E+04	4.62E+04	3.88E+04	3.88E+04
233720	15800	3.10E+04	4.69E+04	4.62E+04	3.88E+04	3.88E+04
233720	15750	3.10E+04	4.69E+04	4.62E+04	3.88E+04	3.88E+04
234300	16500	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
234850	16050	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
235100	16450	0.00E+00	4.44E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
235537	16657	0.00E+00	4.44E+04	4.37E+04	0.00E+00	0.00E+00
235200	15300	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
235250	15970	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
234700	15550	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
234120	15370	5.07E+03	7.68E+03	7.57E+03	6.36E+03	6.36E+03
234181	15755	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237480	15600	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237570	14460	5.01E+03	7.58E+03	7.47E+03	6.28E+03	6.28E+03
237650	14450	5.01E+03	7.58E+03	7.47E+03	6.28E+03	6.28E+03
240145	14845	0.00E+00	3.51E+04	3.46E+04	2.91E+04	2.91E+04
236550	16500	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
238250	15300	4.94E+02	7.49E+02	7.37E+02	6.19E+02	6.19E+02
237472	16532	0.00E+00	4.97E+03	4.90E+03	0.00E+00	0.00E+00
238950	16600	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
239050	16550	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
242550	16100	3.69E+04	5.58E+04	5.50E+04	4.62E+04	4.62E+04
237700	15100	0.00E+00	3.71E+03	3.65E+03	3.07E+03	3.07E+03
241850	16450	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04
240500	15350	1.89E+04	2.86E+04	2.82E+04	2.37E+04	2.37E+04

239400	17300	1.83E+04	2.77E+04	2.73E+04	2.29E+04	2.29E+04
242550	16300	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
242147	17153	0.00E+00	2.05E+03	2.02E+03	1.70E+03	1.70E+03
240668	15951	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
237983	15143	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
237019	14700	1.40E+04	2.12E+04	2.09E+04	1.76E+04	1.76E+04
234021	16072	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
234507	16019	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
235727	16763	0.00E+00	4.44E+04	4.37E+04	0.00E+00	0.00E+00
238265	16823	8.00E+03	1.21E+04	1.19E+04	1.00E+04	1.00E+04
237227	16925	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
235013	16089	1.59E+04	2.41E+04	2.38E+04	2.00E+04	2.00E+04
239517	13850	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
241900	15926	0.00E+00	2.38E+04	2.35E+04	1.97E+04	1.97E+04
238035	16142	0.00E+00	5.90E+03	5.82E+03	4.89E+03	4.89E+03
238260	16232	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
236915	15195	0.00E+00	9.19E+03	9.05E+03	0.00E+00	0.00E+00
TOTAL		2.07E+06	4.23E+06	4.10E+06	2.97E+06	2.97E+06

ANEXO 2

Tabelas de Valores dos Parâmetros de Simulação dos Cenários

Anexo 2.a Tabela de Simulação Cenário 1 I)

Cenário 1 I)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	24.446	-7.633
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	8.435	0.000	8.435
Extração	0.000	6.159	-6.159
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	-4.43E-08		
Balanco Hidrológico [hm ³ /a]	-0.8		

Anexo 2.b Tabela de Simulação Cenário 1 II)

Cenário 1 II)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	26.651	-9.838
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	6.551	0.000	6.551
Extração	0.000	2.070	-2.070
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	4.75E-08		
Balanco Hidrológico [hm ³ /a]	3.3		

Anexo 2.c Tabela de Simulação Cenário 2 I)

Cenário 2 I)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	23.045	-6.232
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	9.196	0.000	9.196
Extração	0.000	8.321	-8.321
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	3.45E-08		
Balanco Hidrológico [hm ³ /a]	-3.0		

Anexo 2.d Tabela de Simulação Cenário 2 II)

Cenário 2 II)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	25.365	-8.552
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	7.428	0.000	7.428
Extração	0.000	4.233	-4.233
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	4.20E-09		
Balanco Hidrológico [hm ³ /a]	1.1		

Anexo 2.e Tabela de Simulação Cenário 3 I)

Cenário 3 I)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	23.107	-6.294
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	9.132	0.000	9.132
Extração	0.000	8.195	-8.195
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	-7.19E-08		
Balanço Hidrológico [hm ³ /a]	-2.8		

Anexo 2.f Tabela de Simulação Cenário 3 II)

Cenário 3 II)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	25.431	-8.618
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	7.369	0.000	7.369
Extração	0.000	4.108	-4.108
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	2.78E-08		
Balanço Hidrológico [hm ³ /a]	1.2		

Anexo 2.g Tabela de Simulação Cenário 4 I)

Cenário 4 I)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	23.625	-6.812
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	8.516	0.000	8.516
Extração	0.000	7.060	-7.060
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	-9.06E-08		
Balanço Hidrológico [hm ³ /a]	-1.7		

Anexo 2.h Tabela de Simulação Cenário 4 II)

Cenário 4 II)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	26.023	-9.210
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	6.826	0.000	6.826
Extração	0.000	2.972	-2.972
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	3.16E-08		
Balanço Hidrológico [hm ³ /a]	2.4		

Anexo 2.i Tabela de Simulação Cenário 5 I)

Cenário 5 I)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	23.625	-6.812
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	8.516	0.000	8.516
Extração	0.000	7.060	-7.060
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	-4.96E-08		
Balanço Hidrológico [hm ³ /a]	-1.7		

Anexo 2.j Tabela de Simulação Cenário 5 II)

Cenário 5 II)	Entradas [hm³/a]	Saídas [hm³/a]	Entradas-Saídas
Dirichlet BCs	16.813	26.023	-9.210
Neumann BCs	0.000	0.000	0.000
Cauchy BCs	6.826	0.000	6.826
Extração	0.000	2.972	-2.972
Recarga	5.356	0.000	5.356
Erro de Simulação	8.31E-09		
Balanço Hidrológico [hm ³ /a]	2.4		