

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



Caracterização Hidrológica das Descargas de Águas Subterrâneas ao largo do Algarve

Helena Cristina Vieira Frazão

Mestrado em Ciências do Mar

Dissertação orientada por:
Prof. Doutora Maria de Fátima Sousa

Agradecimentos

Este trabalho de investigação foi realizado no âmbito do Projeto de I&D "FREEZE - Submarine FRESHwater dischargEs: characteriZation and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem", que decorreu entre 2010 e 2013 e foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnocoloa (PTDC/MAR/102030/2008).

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Professora Fátima Sousa por me dar a oportunidade de realizar esta dissertação. Tenho de agradecer todo o apoio incondicional que me foi dado ao longo deste ano, sem esquecer aqueles que já passaram. Agradeço as longas conversas e as oportunidades que me proporcionou, principalmente durante este ano.

Um agradecimento muito especial aos elementos que participaram no Projeto FREEZE, que de algum modo contribuíram na recolha dos dados utilizados e mencionados neste trabalho de investigação.

Ao Dmitri Boutov por toda a disponibilidade pela ajuda com as crises existenciais entre mim e o Matlab.

Um especial agradecimento ao Afonso Loureiro, à Marta Antunes e à Maria Emília Gordo. Ao Afonso que me apoiou e aturou durante este ano, às tantas conversas interessantes que tivemos e por toda a ajuda dada. Um muito obrigada pelas dicas. À Marta Antunes, a menina do cabelo frisado, todo o apoio e (grande) companhia ao longo deste mestrado. Por fim, à Maria Emília Gordo pelo forte apoio emocional e sempre com opiniões sinceras para me dar.

Às pessoas da 8.1.60, agradeço o companheirismo ao longo de todo este ano. Aos amigos que estão perto e longe, Sílvia Duarte, Cátia Gonçalves e Diana Moraes e às pessoas de LEGM do IST que fizeram sempre questão de me mostrar que continuam lá.

Aos mais importantes, agradeço aos meus pais por todo o apoio que me deram, porque sem eles não conseguia chegar onde cheguei.

Resumo

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projeto de I&D "FREEZE - Submarine FRESHwater discharges: characterization and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem", que decorreu de 2010 a 2013, tendo como principal objetivo o estudo das Descargas de Águas Subterrâneas (DAS) na região dos Olhos de Água, no Algarve. Estas descargas de água doce podem ocorrer na praia (descargas intertidais) e também na plataforma continental, sendo visíveis a partir da praia em dias de mar particularmente calmo, e bem conhecidas pelos pescadores locais.

No âmbito do referido projeto, realizaram-se três campanhas oceanográficas (Novembro de 2012, Abril de 2013 e Novembro de 2013), na região em frente aos Olhos de Água. Na última campanha, ocuparam-se também duas regiões onde a probabilidade de encontrar as DAS era reduzida: ao largo de Albufeira e frente à Praia da Falésia.

Analisaram-se os dados de condutividade, temperatura e profundidade (CTD) das 196 estações realizadas: 166 frente a Olhos de Água, 20 ao largo de Albufeira e 10 frente à Praia da Falésia. As profundidades das estações variaram entre 2 e 30 m, ficando a área de estudo restringida à distância máxima de três milhas náuticas ($\approx 5,6$ km) da costa, face às reduzidas dimensões da embarcação disponível para a realização desta componente do projeto.

A análise dos perfis de temperatura, salinidade e densidade e as respetivas variações dos parâmetros face à presença e/ou proximidade das DAS, permitiu identificar os locais onde as DAS têm um sinal forte em toda a coluna de água e os locais em que as DAS foram detetadas junto ao fundo. Na maioria das estações analisadas, o sinal das descargas foi detetado a várias profundidades na coluna de água ou mesmo à superfície, dando uma possível indicação da trajetória das plumas das descargas.

Verificou-se que as DAS têm um carácter recorrente, pois foram detetadas nos mesmos locais tanto em anos considerados secos como chuvosos, sendo o sinal das últimas muito mais evidente.

O sinal das DAS junto ao fundo foi encontrado preferencialmente a profundidades compreendidas entre 7 e 16 m. Estas descargas detetadas a partir dos dados de CTD foram corroboradas com os resultados da análise de perfis de reflexão sísmica de alta resolução, que identificaram a ocorrência de DAS segundo antigos corredores que correspondem a paleolinhas de costa. Também foram identificadas algumas DAS alinhadas com estruturas e falhas geológicas, que possivelmente controlam estas saídas.

Palavras-chave: Descargas de Águas Subterrâneas; Olhos de Água (Algarve); Salinidade; CTD; Precipitação; Plataforma Continental.

Abstract

This work was conducted in the frame of the R&D project "FREEZE - Submarine FRESHwater discharges: characterization and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem", which took place in the period between 2010-2013. The main objective of the project was the study of the Submarine Groundwater Discharges (SGDs) at sea off the Olhos de Água area, in Algarve, south of Portugal. These discharges of freshwater occur at the beach during low tide, and they were also detected at the sea just in front of the beach by local fishermen.

Three oceanographic surveys were conducted in November 2012, April 2013 and November 2013, near the Olhos de Água region. In the last campaign two more regions were occupied, where the probability to find SGDs was lower: in front of Albufeira and off Praia da Falésia.

Conductivity, temperature and depth (CTD) data were analyzed for the 196 stations: 166 in front of Olhos de Água, 20 offshore Albufeira and 10 in front of Praia da Falésia. The depths of the stations ranged from 2 to 30 m. The study area was restricted to three nautical miles ($\approx 5,6$ km) from the coast due to the small size of the available boat.

The analysis of temperature, salinity and density profiles and their variations nearby or in the proximity of SGDs, allowed to identify the springs with a strong signal in the entire water column, and to locate the SGDs near the bottom. More frequently, the signal of the freshwater discharges was detected at several depths in the water column and also at the surface, possibly indicating the direction of the propagation of the plumes.

SGDs seem to be recurrent as they were detected in the same locations during dry and wet hydrological years, being the signal of the last ones stronger. The discharges detected at the bottom occur preferably along bathymetric contours between 7 m and 16 m, corresponding to the paleocoast lines. The SGDs identified with CTD data showed a good agreement with the SGDs located through seismological data. The location of the springs could be related with geological structures and faults, which possibly control the SGDs.

Keywords: Submarine Groundwater Discharges; Olhos de Água (Algarve); Salinity; CTD; Precipitation; Continental shelf.

Conteúdo

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras	iv
Índice de Tabelas	v
Índice de Siglas	vii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e objetivos	1
1.2 Área de Estudo	3
2 Dados e Metodologia	5
2.1 Dados hidrológicos	5
2.2 Dados de Pluviosidade	9
3 Resultados	11
3.1 Campanhas oceanográficas realizadas na região dos Olhos de Água	11
3.1.1 Campanha de Novembro de 2012	12
3.1.2 Campanha de Abril de 2013	14
3.1.3 Campanha de Novembro de 2013	16
3.2 Estações Oceanográficas realizadas em duas regiões de controlo	19
3.2.1 Albufeira	19
3.2.2 Praia da Falésia	21
3.3 Distribuições Hidrológicas	23
3.3.1 Novembro de 2012	23
3.3.2 Abril de 2013	29
3.3.3 Novembro de 2013	34
3.3.4 Zonas de controlo - Albufeira e praia da Falésia	40
4 Discussão	45
5 Conclusões	52
Bibliografia	54

Anexos	57
Anexo A: Localização dos equipamentos e atividades económicas com potencial influência na água balnear	57
Anexo B: Tabelas de Marés	58
Anexo C: Resumo da Comunicação Oral apresentada na APOCEAN2016	59

Índice de Figuras

Figura 1.1 Exemplos de duas assinaturas na superfície do mar de DAS: (a) “bugli” na Sicília, Itália (de Povinec <i>et al.</i> , 2006) e (b) <i>Crescent Beach Spring</i> na Flórida, EUA (de Braun, 2005).	1
Figura 1.2 Assinatura à superfície de uma DAS, localizada frente à praia dos Olhos de Água, em Abril de 2013 (Fotografia cedida por T. Melo, 2013).	2
Figura 1.3 Localização da área de estudo, região dos Olhos de Água, no Algarve (Relevo de Farr <i>et al.</i> , 2007 e linhas de costa de Wessel & Smith, 1996).	4
Figura 2.1 Imagem SAR obtida no dia 9 de Fevereiro de 2010, ao largo do Algarve, às 10:43 TU. O <i>slick</i> detetado à superfície está localizado frente à região dos Olhos de Água e está devidamente assinalado (de Sousa <i>et al.</i> , 2014).	5
Figura 2.2 Localização das estações CTD realizadas durante as 3 campanhas: 59 em Nov/2012 (a amarelo); 42 em Abr/2013 (a azul) e 95 em Nov/2013 (a vermelho). Na totalidade das estações de Nov/2013, 65 foram na região dos Olhos de Água, 20 frente a Albufeira e 10 frente à praia da Falésia (adaptado de FREEZE, 2014).	7
Figura 2.3 Perfis de salinidade para a estação 5 da campanha de Nov/2013 antes (a cinzento) e depois (a preto) da calibração da condutividade.	8
Figura 2.4 Localização geográfica das três Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) e dos Olhos de Água. A região em estudo está identificada a vermelho (Relevo Farr <i>et al.</i> , 2007 e linhas de costa Wessel & Smith, 1996).	9
Figura 2.5 Precipitação anual acumulada para os anos hidrológicos entre 2006 e 2014. O valor de 700 mm está representado por uma linha tracejado a vermelho.	10
Figura 3.1 Diagrama T/S de dispersão das 166 estações realizadas frente à praia dos Olhos de Água durante as campanhas Nov/2012 (59) a azul escuro, Abr/2013 (42) a azul claro e Nov/2013 (65) a vermelho. Estão ainda identificadas as estações 47 e 63 da campanha Nov/2013.	11
Figura 3.2 Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e diagrama T/S de dispersão (c) das 59 estações realizadas na campanha Nov/2012. As estações oceânicas costeiras (OC) e as que apresentam influências de Descargas de Águas Subterrâneas (DAS) estão identificadas no diagrama T/S de dispersão (de Sousa <i>et al.</i> , 2014).	13
Figura 3.3 Perfis de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) e os respetivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características diferentes: a estação 2 do grupo OC (a preto) e a estação 43 do grupo DAS (a cinzento).	14

Figura 3.4 Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e diagrama T/S de dispersão (c) das 42 estações realizadas na campanha Abr/2013. Estão também identificadas as estações classificadas como Oceânicas Costeiras (OC) e com influência de Descargas de Águas Subterrâneas (DAS).	15
Figura 3.5 Perfis de temperatura (a) , de salinidade (b) , e de sigma-t (c) e os respectivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características diferentes: uma estação do grupo OC (estação 91) representada a preto e uma estação do grupo DAS (estação 84) representada a cinzento.	16
Figura 3.6 Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e os respectivos diagramas T/S (c) das 65 estações realizadas frente à praia dos Olhos de Água, durante a campanha Nov/2013.	17
Figura 3.7 Perfis de temperatura (a) , de salinidade (b) , e de sigma-t (c) e respectivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características distintas: a estação 67, oceânica costeira (OC) representada a preto e a estação 27 com possível DAS junto ao fundo, representada a cinzento.	18
Figura 3.8 Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e diagrama T/S conjunto (c) das 20 estações realizadas na região de Albufeira durante a campanha Nov/2013.	20
Figura 3.9 Perfis de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) e os respectivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características diferentes: a estação 58, com características oceânica costeira (a preto) e a estação 17 com um sinal característico de uma DAS junto ao fundo (a cinzento).	21
Figura 3.10 Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e respetivo diagrama T/S conjunto (c) das 10 estações realizadas na região da praia da Falésia durante a campanha Nov/2013.	22
Figura 3.11 Diagrama T/S de dispersão das 95 estações realizadas na campanha Nov/2013: 65 na região dos Olhos de Água (a verde), 20 em Albufeira (a azul) e 10 na praia da Falésia (a vermelho).	23
Figura 3.12 Secções de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) à latitude de 37°4,5' N obtida durante a campanha Nov/2012. A localização da secção II, com uma extensão ≈ 1,6 km, encontra-se devidamente identificada.	24
Figura 3.13 Secções de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) à longitude de 8°11,2' W obtida durante a campanha Nov/2012. A localização da secção P8, com uma extensão ≈ 5,5 km, encontra-se devidamente assinalada.	25
Figura 3.14 Superfícies de nível de temperatura (a-i) e de salinidade (j-r) para a campanha Nov/2012. Os pontos representam a malha das estações e as profundidades das superfícies de nível estão devidamente identificadas. Não existe informação para os parâmetros T e S quando a profundidade da estação não atinge a superfície de nível considerada.	27
Figura 3.15 Representação da salinidade ao longo da coluna de água para as 59 estações realizadas durante a campanha Nov/2012. As secções paralelas à costa estão identificadas no diagrama e na carta.	28
Figura 3.16 Secções de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) para a secção I mais próxima da costa, com uma extensão ≈ 4 km. A localização da secção I encontra-se assinalada na carta.	29

Figura 3.17	Secções de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) à longitude de $8^{\circ}13'30''$ W, com uma extensão ≈ 2 km. A localização da secção P1 encontra-se assinalada na carta.	30
Figura 3.18	Superfícies de nível de temperatura (a-i) e de salinidade (j-r) obtidas durante a campanha Abr/2013. Os pontos representam a malha das estações e as profundidades estão devidamente identificadas. Não existe informação quando a profundidade da estação não atinge a superfície de nível considerada.	32
Figura 3.19	Representação da salinidade ao longo da coluna de água para as 42 estações realizadas durante a campanha Abr/2013. As secções paralelas à costa estão devidamente identificadas.	33
Figura 3.20	Secções verticais de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) à latitude de $37^{\circ}4'30''$ N, com uma extensão $\approx 4,5$ km. A localização da secção II encontra-se identificada na carta e as estações estão representadas a vermelho.	34
Figura 3.21	Secções de temperatura (a) e de salinidade (b) à longitude de $8^{\circ}13,8'$ W, com uma extensão $\approx 3,3$ km. A localização da secção P2 encontra-se assinalada na carta.	36
Figura 3.22	Superfícies de nível de temperatura (a-i) e de salinidade (j-r) para a campanha Nov/2013. As profundidades das superfícies de nível estão devidamente identificadas. Os pontos pretos representam a localização das estações. Os espaços em branco indicam que não existe informação para o local, uma vez que a profundidade das estações é menor do que a profundidade da superfície de nível.	37
Figura 3.23	Representação da temperatura (a) e da salinidade (b) ao longo da coluna de água para as 65 estações realizadas frente à região dos Olhos de Água durante a campanha Nov/2013. A localização das secções está devidamente identificada.	39
Figura 3.24	Distribuições verticais de temperatura (a) , de salinidade (b) e de sigma-t (c) da secção A1 paralela à costa, localizada a $37^{\circ}4,6'$ N, com uma extensão $\approx 1,5$ km. A secção está devidamente identificada na carta.	40
Figura 3.25	Secções de temperatura (a) e de salinidade (b) da secção perpendicular à costa, P5, localizada à longitude de $8^{\circ}15,5'$ W e com uma extensão $\approx 2,8$ km. A secção está devidamente identificada na carta.	41
Figura 3.26	Superfícies de nível de temperatura (a-d) e de salinidade (e-h) obtidas para a região de Albufeira, durante a campanha Nov/2013. As profundidades das superfícies de nível estão devidamente identificadas. Os pontos pretos representam a localização das estações. Os espaços em branco indicam que não existe informação para o local, uma vez que a profundidade das estações é menor do que a profundidade da superfície de nível.	43
Figura 3.27	Representação dos perfis de salinidade ao longo da coluna de água de todas as estações realizadas durante a campanha de Nov/2013: 20 em frente a Albufeira, 65 ao largo dos Olhos de Água e 10 na praia da Falésia.	44
Figura 4.1	Localização das DAS detetadas nas campanhas Nov/2012 (a amarelo), Abr/2013 (a azul) e Nov/2013 (a vermelho) e através da análise dos perfis de reflexão sísmica (a preto). A laranja estão representadas 2 nascentes submarinas localizadas com mergulho (Julho/2013) e os círculos azuis escuros junto à costa correspondem às nascentes intertidais observadas na praia dos Olhos de Água durante o período 2010-2012. Representação esquemática do <i>slick</i> detetado na imagem SAR em Fevereiro de 2010.	46

Figura 4.2	Localização de todas as estações realizadas nas 3 campanhas CTD (círculos), das DAS detetadas a partir dos perfis de reflexão sísmica (triângulos vermelhos), das principais estruturas geológicas na região de Albufeira e Olhos de Água identificados por Terrinha <i>et al.</i> (2014) e dos principais equipamentos que podem influenciar a água (os emissários pluviais submarinos e a ETAR). Os círculos azuis turquesa representam as estações com influência de DAS em toda a coluna de água. Copyright FREEZE (2014).	47
Figura 4.3	Perfil de reflexão sísmica localizado a 3,3 km da costa (perfil F 5-1504 de Fernandes <i>et al.</i> , 2015), com a identificação do sinal de DAS na coluna de água (a vermelho) (a) e secção IV de salinidade à latitude de 37°3,5' N realizada durante a campanha Nov/2013 (b) . Os triângulos a preto na secção de salinidade correspondem às DAS identificadas e localizadas a partir do perfil de reflexão sísmica. A localização do perfil sísmico e da secção de salinidade encontram-se devidamente identificados.	49
Figura 4.4	Secção V de temperatura (a) e de salinidade (b) realizada em Nov/2013. A identificação da secção bem como a representação esquemática do <i>slick</i> estão assinaladas na carta.	50
Figura 4.5	Secções de salinidade da secção P12 realizada durante a campanha Nov/2012 (a) e da secção P10 da campanha Nov/2013 (b) . A localização das secções está identificada na carta (retângulo roxo - secção P12; retângulo preto - secção P10).	51
Figura A. 1	Localização dos principais equipamentos e atividades económicas com potencial influência na água balnear para a praia dos Pescadores (de ARH, 2016).	57

Índice de Tabelas

B.1	Tabela de marés para os días 5-7 de Novembro de 2012 (de Instituto Hidrográfico, 2012).	58
B.2	Tabela de marés para os días 8-10 de Abril de 2013 (de Instituto Hidrográfico, 2013). . .	58
B.3	Tabela de marés para os días 10-13 de Novembro de 2013 (de Instituto Hidrográfico, 2013).	58

Lista de Siglas

Abr/2013	Campanha realizada em Abril de 2013
CCMar/Ualg	Centro de Ciências do Mar, Universidade do Algarve
CSIRO	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation</i>
CTD	Condutividade, Temperatura e Profundidade
DAS	Descargas de Águas Subterrâneas
DRAPALG	Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve
EMA	Estação Meteorológica Automática
EOS-80	<i>Equation of State</i> , UNESCO
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FREEZE	Submarine FRESHwater dischargEs: characteriZation and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem
IH	Instituto Hidrográfico
IM	Instituto de Meteorologia, I.P. (atual IPMA)
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
Nov/2012	Campanha realizada em Novembro de 2012
Nov/2013	Campanha realizada em Novembro de 2013
NXIC	<i>Non-eXternal Inductive Conductivity</i>
OC	Oceânica Costeira
PSS-78	<i>Practical Salinity Scale</i> definida em 1978
SAR	Synthetic Aperture Radar (Radar de Abertura Sintética)
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
T/S	Temperatura/Salinidade
TU	Tempo Universal
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

Simbologia

σ_t	Sigma-t
S	Salinidade
S_p	Salinidade Prática
ΔS	Variação de Salinidade
T	Temperatura
ΔT	Variação de Temperatura

Capítulo 1

Introdução

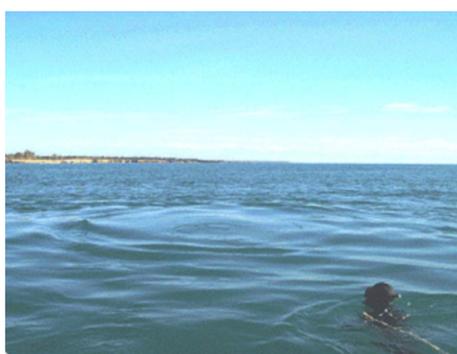
1.1. Enquadramento e objetivos

Os trabalhos de investigação aqui descritos foram realizados no âmbito do projeto de I&D “FREEZE - Submarine FRESHwater discharges: characterization and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem”, que decorreu no período de 2010 a 2013 e cujo principal objetivo era o estudo das Descargas de Águas Subterrâneas (DAS) na região dos Olhos de Água, no Algarve.

A localidade Olhos de Água deve o seu nome às nascentes de água doce que existem na praia e são visíveis durante a maré baixa. Existem também nascentes no mar que, em dias de mar particularmente calmo, podem ser observadas a partir da praia.

Estas descargas de grande caudal têm uma assinatura à superfície que se caracteriza pelo alisamento/diminuição da rugosidade devido à abrupta mudança de densidade da água causada pelos grandes contrastes de salinidade entre a água proveniente das DAS e a água do mar (UNESCO, 2004). Neste relatório, atribuem o nome de “plumas” a estes alisamentos da superfície do mar.

Na Figura 1.1 estão representados dois exemplos de assinaturas à superfície das DAS que foram detetadas na Sicília, Itália (designada por Povinec *et al.*, 2006 como bolha - *bugli* em italiano) e na Flórida, EUA (*Crescent Beach Spring* - Braun, 2005).



(a)



(b)

Figura 1.1: Exemplos de duas assinaturas na superfície do mar de DAS: (a) “*bugli*” na Sicília, Itália (de Povinec *et al.*, 2006) e (b) *Crescent Beach Spring* na Flórida, EUA (de Braun, 2005).

A Figura 1.2 mostra uma fotografia da assinatura à superfície de uma nascente (DAS) observada frente à praia dos Olhos de Água. Por vezes, estas descargas têm um caudal suficientemente forte para causar a deriva das pequenas embarcações dos pescadores locais.



Figura 1.2: Assinatura à superfície de uma DAS, localizada frente à praia dos Olhos de Água, em Abril de 2013 (Fotografia cedida por T. Melo, 2013).

As DAS são fluxos de água provenientes do fundo do mar na zona costeira que ocorrem nas margens continentais, independentemente da composição da água, da sua origem ou dos seus mecanismos geradores (Burnett *et al.*, 2003; Zektser *et al.*, 2006). As descargas podem ser de água doce (originadas em terra) ou salgada (provenientes da recirculação da água do mar) e, normalmente, ocorrem como um fluxo lento e difuso através dos sedimentos do fundo (Mejías *et al.*, 2012; Olesnavage, 2012). Estas descargas localizam-se frequentemente perto da costa ou na plataforma continental e tendem a concentrar-se até algumas centenas de metros da costa (UNESCO, 2004; Mejías *et al.*, 2012). No entanto, vários modelos hidrológicos mostraram que as DAS podem ocorrer a uma distância de alguns quilómetros da linha de costa, quando existe uma camada parcialmente confinada de baixa permeabilidade que separa os aquíferos do mar (Post *et al.*, 2013). Na região dos Olhos de Água, Hugman *et al.* (2015) demonstraram que há possibilidade de ocorrerem descargas de água doce até aproximadamente 5,0 km da costa.

Quando as descargas são provenientes de aquíferos, nomeadamente em ambientes rochosos, a descarga pode ocorrer como uma exurgência pontual, criando nascentes submarinas de água doce (UNESCO, 2004; Olesnavage, 2012; Post *et al.*, 2013), como é o caso da região em estudo. As DAS ocorrem no mar nos locais onde os níveis piezométricos do aquífero estão localizados acima da superfície do mar e quando existe pressão suficiente para a ascensão da água (Zektser *et al.*, 2006).

Os mecanismos geradores destas descargas podem ser diversos. Um dos principais mecanismos está relacionado com a quantidade de precipitação e com as características geológicas à superfície (capacidade de infiltração de água no solo) (Zektser *et al.*, 2006; McCoy & Corbett, 2009). No entanto, outros mecanismos têm de ser considerados: a diferença de potencial gravítico (que faz a água correr em direção ao mar), a diferença entre os níveis de água através da camada permeável, a maré, a ondulação e os gradientes de pressão induzidos por correntes próximas da costa (Burnett *et al.*, 2003; 2006).

Quando estas descargas ocorrem próximo da costa e em ambiente marinho, podem transportar uma grande variedade de substâncias, tais como metais pesados, radionuclídeos e compostos orgânicos que podem trazer graves consequências para o ambiente marinho (Burnett *et al.*, 2006; Povinec *et al.*, 2006). Dado que estas descargas interagem com os ambientes terrestre e marinho, são reconhecidas como um fator importante nos ciclos hidrológico e biogeoquímico (Cardenas *et al.*, 2010). Por estas razões, é

importante a detecção e localização das DAS, bem como uma monitorização e controlo constante das respetivas descargas.

Burnett *et al.* (2001) referem que o estudo das descargas torna-se por vezes complicado uma vez que estas têm variações espacio-temporais muito significativas.

São vários os métodos de detecção e quantificação das descargas. Usualmente, subdividem-se em três “categorias”: (1) modelação, (2) medição direta de parâmetros físicos e (3) uso de traçadores (Burnett *et al.*, 2003).

A modelação numérica pode incluir modelos hidrológicos, para calcular os balanços de massa das águas subterrâneas em terra (Moore, 2010). Também se pode modelar os fluxos sub-superficiais; no entanto estes modelos são mais complexos (Burnett *et al.*, 2003). A medição direta de parâmetros físicos inclui medições de salinidade e de temperatura, o uso de medidores de caudais (*seepage meters*) e piezómetros colocados a diferentes níveis, métodos electromagnéticos (medição de resistividade eléctrica) e também a medição da direção e da intensidade dos gradientes de pressão (Burnett *et al.*, 2003; Moore, 2010). Por fim, os traçadores usualmente utilizados são os isótopos de radão (principalmente, o ^{222}Rn) e do rádio e também o metano (Burnett *et al.*, 2003; 2006). Para além dos métodos enunciados, podem ainda ser utilizadas imagens térmicas para detecção de plumas e anomalias térmicas à superfície (UNESCO, 2004; Moore, 2010).

Olesnavage (2012) refere que a salinidade pode ser utilizada como uma medida da aproximação do fluxo de DAS, quando se compara a concentração de sais à saída da descarga com a do aquífero e a água do mar, na região onde se verificam baixos valores de salinidade. A autora conclui ainda que este método é mais eficaz para águas mais profundas. Se o fluxo da descarga for intenso, a variação de salinidade é maior; estas variações, por si só, podem dar informação sobre a localização da fonte da descarga (UNESCO, 2004; Saito *et al.*, 2011; Schubert *et al.*, 2014)

Uma das componentes do projeto FREEZE consistiu na utilização de imagens de satélite para detetar a assinatura das DAS à superfície. Foi descoberta uma assinatura numa imagem de Radar de Abertura Sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*), representada por um “*slick*” de grandes dimensões ao largo da região dos Olhos de Água. Os *slicks* são zonas da superfície do mar que correspondem a uma diminuição da rugosidade, provocando uma diminuição da quantidade de radiação refletida, aparecendo como uma zona mais escura (Sutcliffe *et al.*, 2016). A redução da rugosidade da superfície do mar deve-se à atenuação das ondas capilares, que por sua vez pode indicar potenciais locais onde ocorrem DAS (Sousa *et al.*, 2014). A localização deste *slick* serviu de base ao planeamento das campanhas hidrológicas realizadas no âmbito do referido projeto.

O objetivo deste trabalho consistiu na localização e caracterização das DAS na região dos Olhos de Água, recorrendo aos dados de 3 campanhas de CTD realizadas em Novembro de 2012, Abril de 2013 e Novembro de 2013. As DAS foram identificadas essencialmente a partir dos baixos valores de salinidade encontrados junto ao fundo na plataforma continental na região dos Olhos de Água.

1.2. Área de Estudo

O local de estudo das DAS situou-se ao largo da praia dos Olhos de Água, no Algarve, cobrindo uma região limitada a sul pelo paralelo $37^{\circ}2,0' \text{ N}$ e a norte pela linha de costa, e entre os meridianos $8^{\circ}16,5' \text{ W}$ e $8^{\circ}8,5' \text{ W}$, de forma a englobar não só a região frente à praia dos Olhos de Água, mas também duas outras regiões: Albufeira e praia da Falésia, consideradas à partida como áreas onde a probabilidade de ocorrência de DAS seria muito menor.

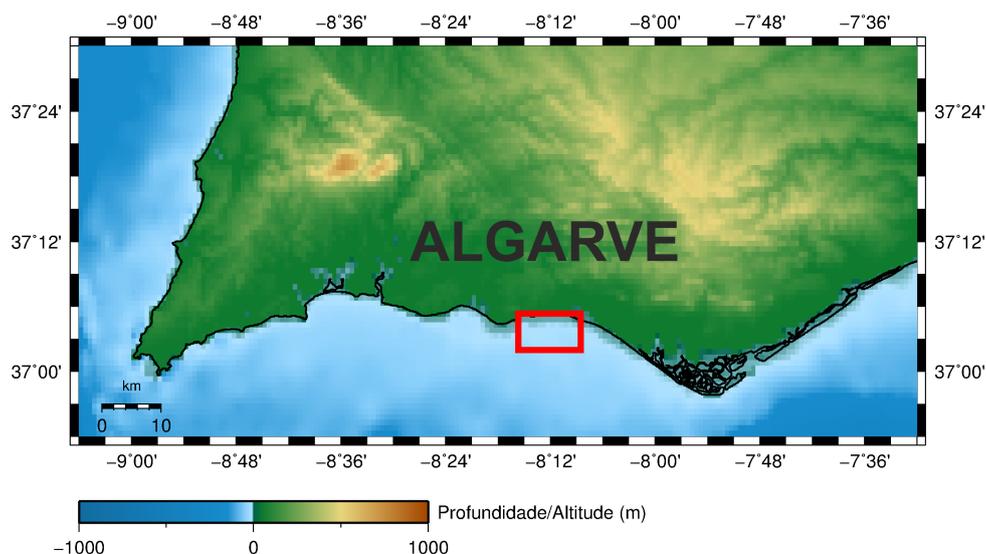


Figura 1.3: Localização da área de estudo, região dos Olhos de Água, no Algarve (Relevo de Farr *et al.*, 2007 e linhas de costa de Wessel & Smith, 1996).

As formações geológicas e as características hidrogeológicas existentes na região são favoráveis à ocorrência de DAS. A Formação de Lagos-Portimão é constituída por formações carbonatadas, depositadas ao longo de vários milhões de anos, de idade Miocénica, que sofreram processos intensos de carsificação. É, do ponto de vista hidrogeológico, uma importante fonte de água doce para abastecimento público e irrigação (FREEZE, 2014).

As camadas de biocalcarenitos e calcários desta formação que são visíveis nos afloramentos da praia servem de suporte à circulação subterrânea. Estas formações prolongam-se para a plataforma continental, com uma suave inclinação para S-SE, correspondendo à direção do fluxo das águas subterrâneas (Fernandes *et al.*, 2015).

Os sucessivos recuos da linha de costa desde a batimétrica de 60 m até à posição atual deve-se ao regime transgressivo que sucedeu ao período denominado de *Younger Dryas*. São várias as morfologias submersas que foram identificadas e que permitiram inferir a localização de paleolinhas de costa: arribas, istmos e plataformas de abrasão encontradas entre as batimétricas de 60 m e 40 m; um afloramento localizado frente à praia dos Olhos de Água, a Pedra dos Arrifes, à profundidade de 13 m que corresponde a uma escarpa de arriba litoral de quando o nível médio do mar estava situado à profundidade de 20 m, há cerca de 8000 anos, no Holocénico (Teixeira, 1998 e Teixeira & Macedo, 2001 referidos em FREEZE, 2014).

As características geológicas, hidrográficas e hidrogeológicas da época não seriam muito diferentes das verificadas na atualidade: o escoamento superficial e subterrâneo da época também seria para sul, os canais preferenciais de circulação das águas seriam às profundidades de 40 m e, mais recentemente, 20 m com descargas por nascentes junto à praia (Sousa *et al.*, 2014; Fernandes *et al.*, 2015). Estes sistemas de paleocirculação poderão estar ativos ou serem ativados, dependendo da recarga, do nível potencial das águas subterrâneas em terra e também da permeabilidade das formações aquíferas (Fernandes *et al.*, 2015).

Capítulo 2

Dados e Metodologia

2.1. Dados hidrológicos

O planeamento das campanhas oceanográficas ao largo da região dos Olhos de Água baseou-se na localização de um *slick* detetado numa imagem SAR (*Synthetic Aperture Radar* - Radar de Abertura Sintética) obtida no dia 9 de Fevereiro de 2010, ao largo do Algarve, que está representado na Figura 2.1 (Sousa *et al.*, 2014). Nesta figura, o *slick* tem um aspeto mais escuro e uma forma aproximadamente circular e pode representar a presença de água menos densa à superfície, proveniente das Descargas de Águas Subterrâneas (DAS). A imagem SAR tem uma resolução no solo de 75 m e o *slick* tem um diâmetro de cerca 3,5 – 4,0 km e está localizado em frente à região dos Olhos de Água.

O objetivo das campanhas realizadas no âmbito do projeto FREEZE era cobrir uma área que incluísse a região do *slick* e de potenciais nascentes de DAS, bem como a região circundante com propriedades termohalinas características de oceano costeiro, sem qualquer influência das DAS.

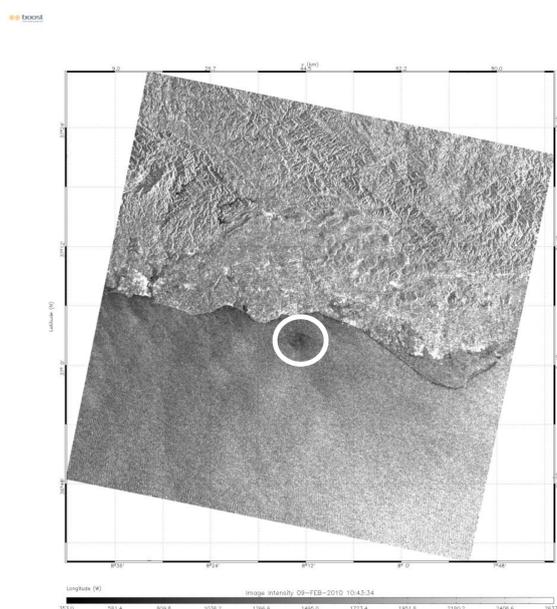


Figura 2.1: Imagem SAR obtida no dia 9 de Fevereiro de 2010, ao largo do Algarve, às 10:43 TU. O *slick* detetado à superfície está localizado frente à região dos Olhos de Água e está devidamente assinalado (de Sousa *et al.*, 2014).

A primeira campanha oceanográfica foi realizada no dia 6 de Novembro de 2012 (Nov/2012) ao largo da região dos Olhos de Água, a bordo da embarcação “ECORECURSUS I” pertencente ao Cen-

tro de Ciências do Mar da Universidade do Algarve (CCMar/UAlg). Face às dimensões reduzidas da embarcação disponível para esta componente do projeto, a área de estudo teve de ser limitada a uma distância máxima de 3 milhas náuticas ($\approx 5,6$ km) da costa e, por isso, teve de se refazer o plano.

Atendendo às condições meteorológicas e ao estado do mar favoráveis verificadas na altura, elaborou-se uma malha de estações mais densa do que a inicialmente planeada. Com a deteriorização das condições meteorológicas e do estado do mar no dia seguinte, não foi possível terminar a malha de estações estabelecida, ficando por realizar as estações mais próximas da costa.

Nesta campanha realizaram-se 59 estações CTD que estão representadas na Figura 2.2 a amarelo, com profundidades compreendidas entre 8 e 30 m. O sistema de posicionamento utilizado foi um Garmin GPSMAP® 60 CSX, sem correção diferencial.

Para completar a malha de estações da campanha de Novembro de 2012 realizou-se uma segunda campanha a bordo da mesma embarcação, no dia 9 de Abril de 2013 (Abr/2013). As 42 estações de CTD foram realizadas mais próximo da costa, com profundidades a variar entre 2 e 14 m e estão representadas a azul na Figura 2.2. Nesta campanha foi utilizado um sistema de posicionamento com sonda de profundidade incorporada, GPSMAP® 421s.

Nos dias 11 e 12 de Novembro de 2013 (Nov/2013) realizou-se a terceira e última campanha de estações CTD. Esta campanha, com uma malha de estações mais abrangente, foi realizada na região dos Olhos de Água e também frente a Albufeira e à praia da Falésia (ver na Figura 2.2 as estações representadas a vermelho). Completaram-se na totalidade 95 estações CTD distribuídas pelas 3 regiões mencionadas: 65 estações foram realizadas nos Olhos de Água (entre as longitudes $8^{\circ}14,0'$ W e $8^{\circ}11,0'$ W), 20 estações na região de Albufeira (entre as longitudes $8^{\circ}16,5'$ W e $8^{\circ}15,5'$ W) e 10 estações frente à praia da Falésia (entre $8^{\circ}9,5'$ W e $8^{\circ}8,5'$ W). As estações nas regiões de controlo de Albufeira e praia da Falésia foram realizadas por se presumir que nestas regiões a probabilidade de encontrar DAS era reduzida.

Na campanha Nov/2012, como a embarcação não dispunha de sonda de profundidade (ecossonda) o CTD ficou a alguns metros do fundo, o que não aconteceu nas campanhas posteriores.

No conjunto das 3 campanhas realizaram-se 166 estações CTD na região dos Olhos de Água e 30 estações nas regiões de controlo (20 em Albufeira e 10 na praia da Falésia); o espaçamento entre estações foi de ≈ 500 m.

Os dados de condutividade, temperatura e pressão obtidos durante as três campanhas foram recolhidos com um CTD da marca NXIC (*Non-external Inductive Conductivity*) da Falmouth Scientific, Inc (FSI, EUA). Em cada estação o CTD recolheu dados tanto na descida como na subida, mas só foram utilizados os dados correspondentes à descida da sonda na coluna de água. Apenas se consideraram os dados a partir de 2 m, para evitar todas as interferências nas medições de entrada da sonda na água.

Em Janeiro de 2014 os sensores da sonda CTD foram calibrados no Laboratório de Calibração do Serviço de Electrotecnia do Instituto Hidrográfico (IH). Da calibração efetuada, apenas a condutividade não apresentava uma resposta a 45° quando se comparavam os valores medidos com os valores de referência. Assim, os valores de condutividade registados durante a campanha de Nov/2013 foram corrigidos utilizando a equação 2.1.

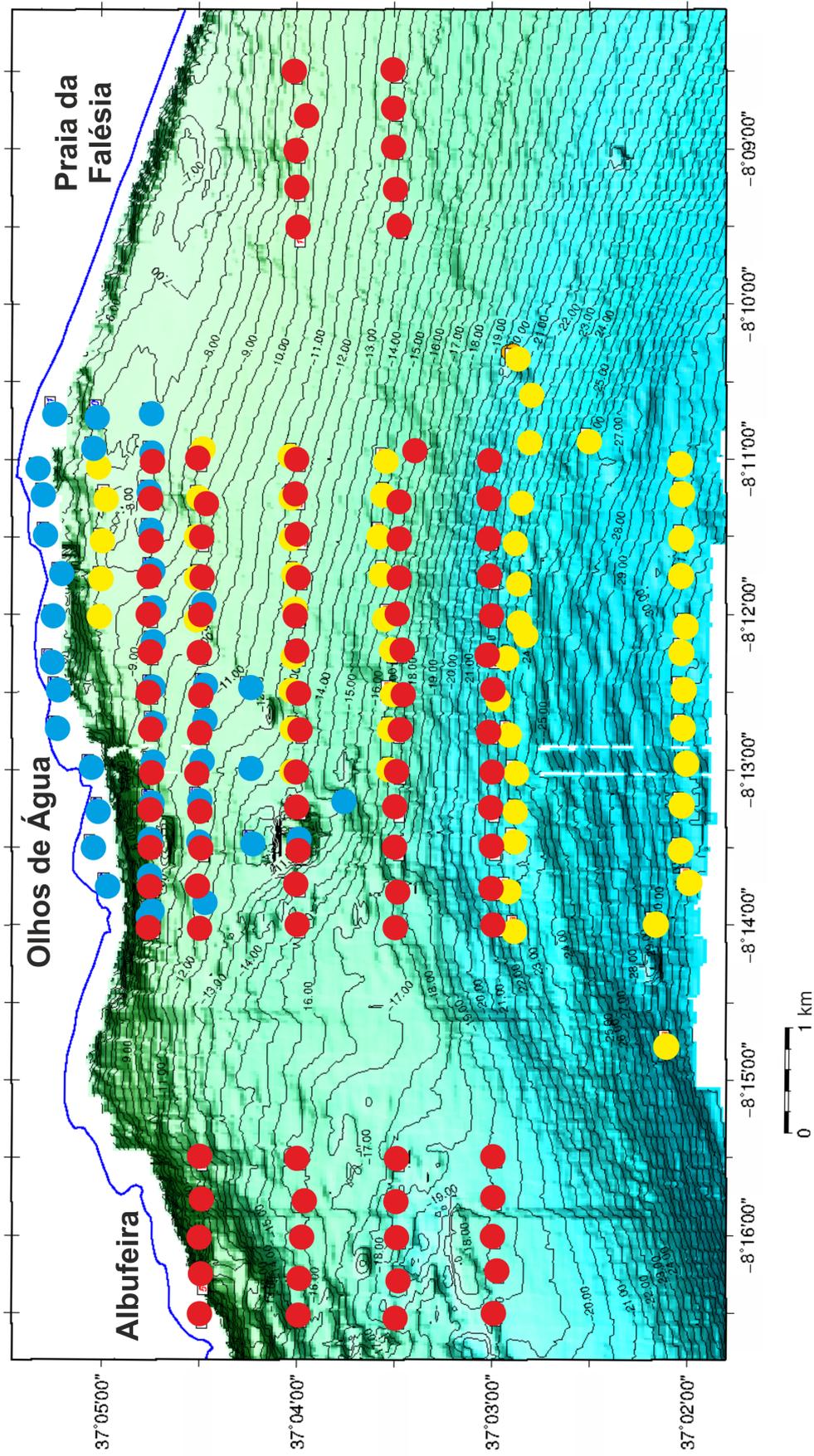


Figura 2.2: Localização das estações CTD realizadas durante as 3 campanhas: 59 em Nov/2012 (a amarelo); 42 em Abr/2013 (a azul) e 95 em Nov/2013 (a vermelho). Na totalidade das estações de Nov/2013, 65 foram na região dos Olhos de Água, 20 frente à Albufeira e 10 frente à praia da Falésia (adaptado de FREEZE, 2014).

$$y = 0,0699247975 + 0,997943785x \quad (2.1)$$

onde y é o valor da condutividade já calibrada e x o valor da condutividade antes da calibração (mS/cm).

Utilizando os novos valores da condutividade calculou-se a Salinidade Prática, S_p (PSS-78/UNESCO, 1981), para cada estação. Para tal, recorreu-se a uma função da *Toolbox Seawater*, “sw_salt”, uma ferramenta informática desenvolvida pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO, Austrália).

A Figura 2.3 mostra, como exemplo, os valores de salinidade prática calculados antes e depois da calibração da condutividade para a estação 5 da campanha Nov/2013. Os valores de salinidade calibrados são menores ($\approx 0,02$) ao longo de todo o perfil. As diferenças observadas são semelhantes nas restantes estações da campanha de Nov/2013.

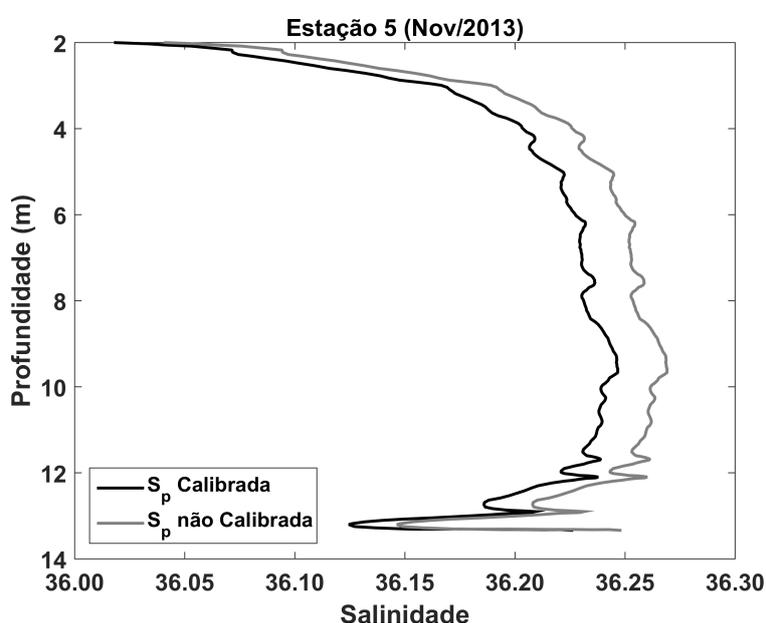


Figura 2.3: Perfis de salinidade para a estação 5 da campanha de Nov/2013 antes (a cinzento) e depois (a preto) da calibração da condutividade.

Os valores da densidade foram obtidos utilizando uma outra função da *toolbox* referida anteriormente, “sw_dens0”, que calcula a densidade em função da salinidade e da temperatura à pressão atmosférica. O algoritmo utiliza o polinómio EOS-80 desenvolvido pela UNESCO (1981).

Ao fazer a análise conjunta dos perfis de temperatura, de salinidade e de sigma-t observam-se algumas “irregularidades” (*spikes*) nos perfis; como estes valores não eram realistas, foram eliminados. Excluíram-se também todos os dados recolhidos após a sonda atingir o fundo (dados correspondentes a profundidades constantes).

Após este pré-processamento dos dados, traçaram-se para cada estação os perfis de temperatura, de salinidade e de sigma-t (densidade), bem como os respetivos diagramas T/S.

Os parâmetros temperatura, salinidade e densidade foram interpolados linearmente de 20 em 20 cm, a começar a 2 m de profundidade, para que as observações de todas as campanhas pudessem ser facilmente comparadas.

Elaboraram-se secções paralelas e perpendiculares à costa e superfícies de nível para cada campanha. Utilizou-se o método de interpolação linear com intervalos de milésimo de grau de latitude ($\approx 111,1$ m) e de longitude ($\approx 85,1$ m), respetivamente.

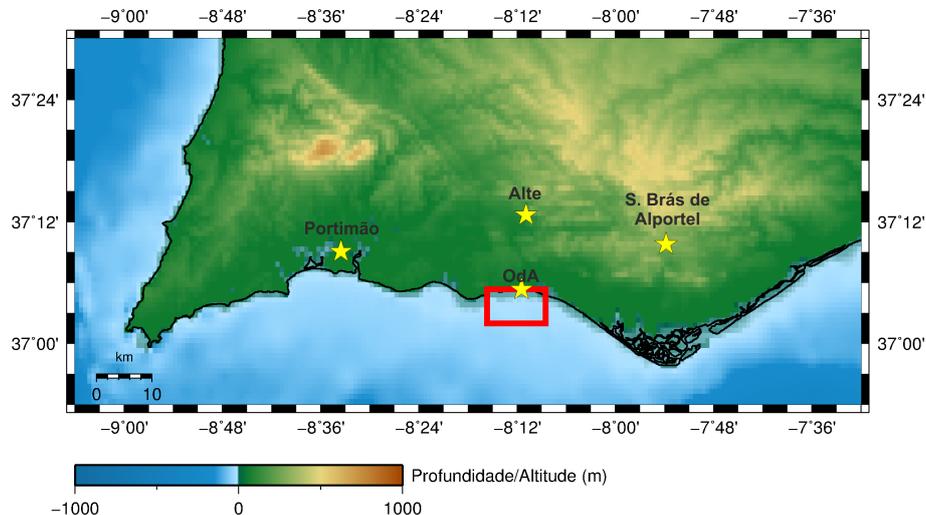
O processamento dos dados foi feito em ambiente Matlab[®], com rotinas criadas especificamente para este trabalho de investigação.

2.2. Dados de Pluviosidade

Os valores da precipitação média acumulada durante os meses de Inverno podem dar indicação da atividade das DAS. Um ano com maiores valores de precipitação anual acumulada pode dar origem a descargas de água subterrâneas com maior caudal (Garcia-Solsona *et al.*, 2010). O regime de precipitação na região do Algarve é irregular, com períodos de elevada precipitação durante o Inverno e longos períodos de seca no Verão (FREEZE, 2014).

Durante o projeto FREEZE dispunha-se de dados de pluviosidade para a Estação Meteorológica Automática (EMA) de S. Brás de Alportel. No entanto, como a série de dados não abrangia os anos em que foram realizadas as campanhas CTD, foi necessário procurar outras EMAs nas proximidades da região dos Olhos de Água. A escolha destas EMAs teve como critério a proximidade geográfica à praia dos Olhos de Água.

A EMA de São Brás de Alportel pertence à Rede de Monitorização do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e os dados das EMAs de Portimão e Alte fazem parte da Rede de Estações Meteorológicas Automáticas da DRAPALG. Na Figura 2.4 estão as localizações das EMAs e as distâncias à praia dos Olhos de Água.



EMA	Distância a Olhos de Água (km)	Altitude (m)
Portimão	33	41
Alte	14	79
S. Brás de Alportel	27	334

Figura 2.4: Localização geográfica das três Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) e dos Olhos de Água. A região em estudo está identificada a vermelho (Relevo Farr *et al.*, 2007 e linhas de costa Wessel & Smith, 1996).

Analisaram-se os valores de pluviosidade registados nas três EMAs para o período 2006-2014 e a precipitação média acumulada para cada EMA está representada na Figura 2.5.

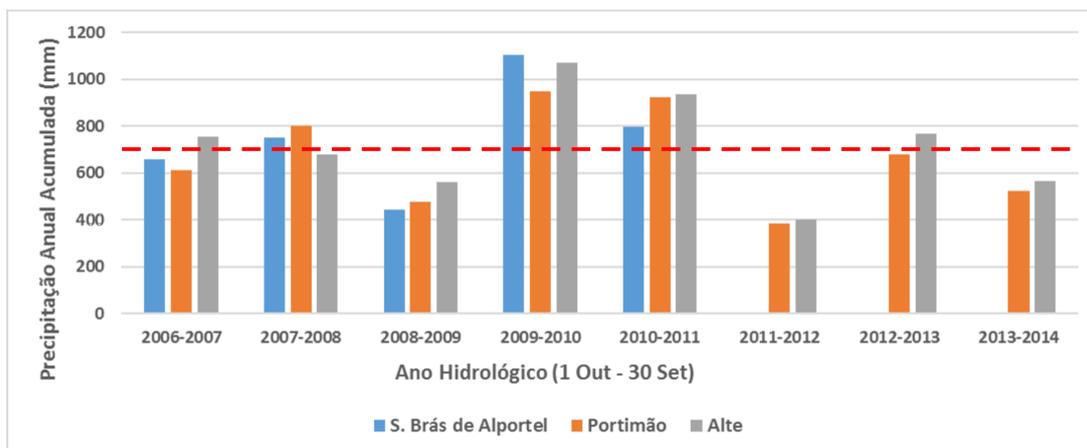


Figura 2.5: Precipitação anual acumulada para os anos hidrológicos entre 2006 e 2014. O valor de 700 mm está representado por uma linha tracejado a vermelho.

O critério utilizado para definir se um ano hidrológico (período compreendido entre 1 de Outubro e 30 de Setembro do ano seguinte) é relativamente chuvoso ou seco é a quantidade de precipitação anual acumulada. Assim, os anos hidrológicos com um valor de precipitação acumulada superior a 700 mm são considerados anos relativamente chuvosos (FREEZE, 2014).

A Figura 2.5 mostra que os valores de precipitação anual acumulada não diferem muito em ordem de grandeza, pelo que a escolha das duas EMAs de Portimão e Alte parece ser apropriada. A Figura 2.5 mostra ainda que os anos hidrológicos 2007-2008, 2009-2010, 2010-2011 e 2012-2013 são considerados anos relativamente chuvosos. O ano hidrológico 2011-2012 foi considerado seco, com valores de precipitação anual acumulada inferiores a 400 mm (ver Figura 2.5). Segundo o boletim climatológico sazonal do IPMA, o Inverno 2011/2012 foi considerado o mais seco desde 1931, influenciando assim os valores de precipitação anual acumulada (Instituto de Meteorologia, 2012).

Como as campanhas de CTD foram realizadas em Novembro de 2012, Abril de 2013 e Novembro de 2013 é possível relacionar as potenciais descargas de águas subterrâneas com as quantidades de precipitação acumulada em cada ano hidrológico. Como a campanha Nov/2012 foi precedida por um ano relativamente seco (precipitação anual acumulada < 400 mm - ano hidrológico 2011-2012) e as campanhas Abr/2013 e Nov/2013 foram precedidas por um ano relativamente chuvoso (ano hidrológico 2012-2013), as assinaturas das descargas junto ao fundo ou ao longo da coluna de água devem ser mais evidentes nas estações realizadas durante as 2 últimas campanhas oceanográficas.

Capítulo 3

Resultados

Realizaram-se 3 campanhas oceanográficas na região dos Olhos de Água, no Algarve. Enquanto que nas 2 primeiras campanhas (Novembro de 2012 e Abril de 2013) todas as estações estavam localizadas na região dos Olhos de Água, na campanha Novembro de 2013 realizaram-se também 20 estações frente a Albufeira e 10 frente à praia da Falésia como regiões de controlo, onde a probabilidade de se encontrar descargas seria reduzida (ver a localização das estações na Figura 2.2).

3.1. Campanhas oceanográficas realizadas na região dos Olhos de Água

Realizaram-se 166 estações na região frente à praia dos Olhos de Água: 59 em Nov/2012, 42 em Abr/2013 e 65 em Nov/2013. Estas estações foram analisadas individualmente e, posteriormente, em conjunto. O diagrama temperatura/salinidade (diagrama T/S) conjunto das 166 estações está representado na Figura 3.1 e mostra as propriedades termohalinas características presentes em cada uma das campanhas.

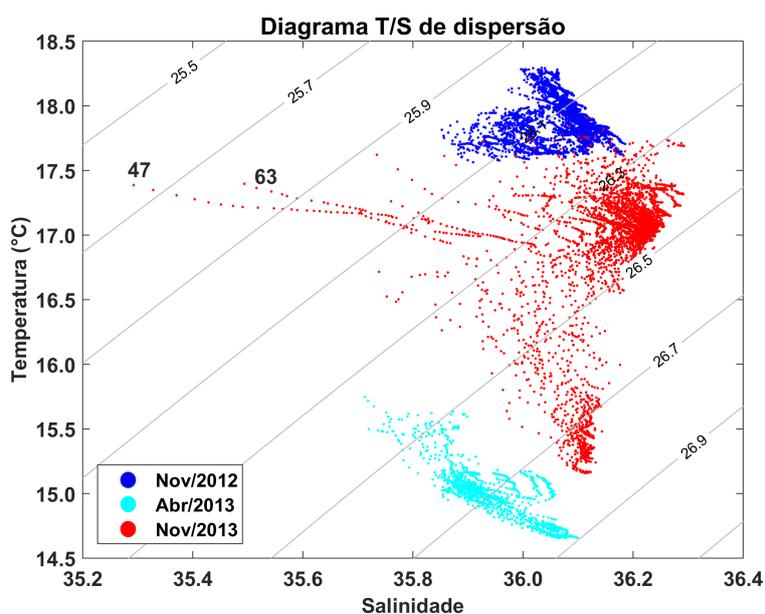


Figura 3.1: Diagrama T/S de dispersão das 166 estações realizadas frente à praia dos Olhos de Água durante as campanhas Nov/2012 (59) a azul escuro, Abr/2013 (42) a azul claro e Nov/2013 (65) a vermelho. Estão ainda identificadas as estações 47 e 63 da campanha Nov/2013.

A análise da Figura 3.1 mostra que as campanhas são distinguíveis pelos seus valores de temperatura: a campanha Nov/2012 apresenta os valores mais elevados de temperatura, entre 17,5 e 18,0 °C; em Abr/2013, os valores de temperatura são os mais baixos (entre 14,5 e 16,0 °C), uma vez que foi realizada logo após o Inverno oceanográfico; em Nov/2013 as temperaturas estão compreendidas entre 15,0 e 18,0 °C. As campanhas do mês de Novembro foram realizadas logo após o Verão oceanográfico, razão pela qual os valores de temperatura são mais elevados.

Os valores de salinidade diferem ligeiramente entre as campanhas, mas estão compreendidos principalmente entre 35,7 e 36,3 (ver Figura 3.1). Na campanha Nov/2013, existem duas estações com os valores de salinidade mais baixos registados (estações 47 e 63), estando devidamente identificadas na Figura 3.1.

Dado que cada campanha foi realizada em situações oceanográficas distintas, estas vão ser analisadas mais detalhadamente.

3.1.1. Campanha de Novembro de 2012

A primeira campanha foi realizada no dia 6 de Novembro de 2012 (Nov/2012), onde se efetuaram 59 estações ao largo da praia dos Olhos de Água. As estações estão localizadas numa malha compreendida entre as latitudes 37°2,0' N e 37°5,0' N e entre as longitudes 8°15,0' W e 8°10,0' W (ver Figura 2.2 - estações representadas a amarelo). A malha de estações não foi estendida para além de 3 milhas náuticas da costa devido às reduzidas dimensões da embarcação (ver secção 2.1).

As estações realizadas durante esta campanha decorreram numa situação de transição Verão-Inverno, após um ano hidrológico considerado seco (ver Figura 2.5 - ano hidrológico 2011-2012).

Os perfis conjuntos de temperatura e de salinidade, bem como os respetivos diagramas T/S das 59 estações realizadas estão representadas na Figura 3.2. Esta figura mostra que os valores de temperatura estão compreendidos entre 17,5 °C e 18,5 °C enquanto que os valores de salinidade estão entre 35,8 e 36,2. Os valores de sigma-t (densidade) também foram calculados para todas as estações.

A análise dos perfis de temperatura (Figura 3.2a) mostra que se podem distinguir dois grupos de estações com temperaturas bem diferenciadas: as estações mais próximas da costa, com valores de temperatura mais baixos (entre 17,5 °C e 18,0 °C) e as estações situadas mais ao largo (latitude de 37°2,0' N - ver Figura 2.2) com temperaturas mais elevadas ao longo de toda a coluna de água (ver o conjunto de perfis localizado mais à direita na Figura 3.2a). Os perfis de salinidade (Figura 3.2b) mostram pequenas variações de salinidade que ocorrem principalmente nos primeiros 10 m. As maiores variações de salinidade registadas durante esta campanha não excederam -0,11 e ocorreram nas estações mais próximas da costa.

O diagrama T/S conjunto (Figura 3.2c) mostra dois padrões distintos: as estações com características oceânicas costeiras (identificadas por OC na Figura 3.2c) e as estações que apresentam instabilidades na coluna de água possivelmente devidas à influência de descargas de águas subterrâneas (identificadas por DAS na Figura 3.2c).

As estações do grupo OC têm valores de salinidade mais elevados presentes em praticamente toda a coluna de água, com a temperatura a decrescer e, conseqüentemente, os valores de sigma-t (densidade) a aumentar de forma gradual com a profundidade. Estas estações são mais profundas (~ 20 – 30 m), são caracterizadas por uma coluna de água estável e estão localizadas às latitudes mais afastadas da costa (37°2,0' N e 37°3,0' N, ≈ 5 km da costa).

As estações do grupo DAS (ver Figura 3.2c) têm valores de temperatura e de salinidade inferiores aos das estações do grupo OC e no diagrama T/S é possível distingui-las por apresentarem inversões

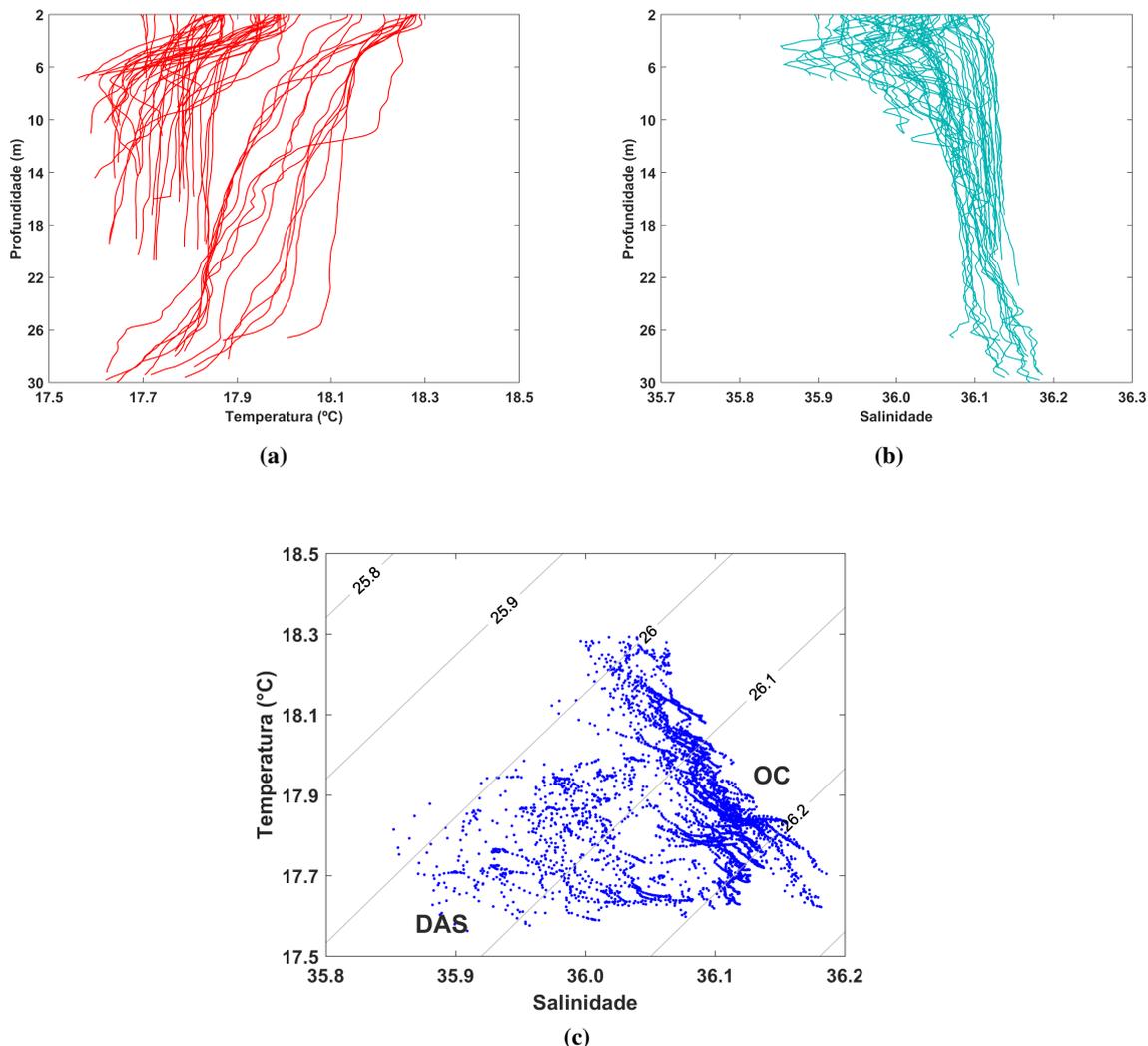


Figura 3.2: Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e diagrama T/S de dispersão (c) das 59 estações realizadas na campanha Nov/2012. As estações oceânicas costeiras (OC) e as que apresentam influências de Descargas de Águas Subterrâneas (DAS) estão identificadas no diagrama T/S de dispersão (de Sousa *et al.*, 2014).

nos valores de sigma-t. Estas inversões de sigma-t são resultantes de variações de temperatura e/ou de salinidade na coluna de água que, por sua vez, podem estar associadas à presença de águas provenientes de DAS.

Na Figura 3.3 estão representados os perfis de temperatura, de salinidade e de sigma-t, bem como os respectivos diagramas T/S de 2 estações com as características mencionadas acima: uma estação do grupo OC (estação 2 localizada mais ao largo) e uma estação do grupo DAS (estação 43, mais próxima da costa).

A estação do grupo OC (estação 2 a preto na Figura 3.3) mostra um aumento da salinidade ao longo da coluna de água enquanto que a temperatura decresce (Figuras 3.3a e b). Como se pode observar no perfil de densidade (σ_t) e também no diagrama T/S desta estação, o valor de sigma-t aumenta com a profundidade, tratando-se assim de uma estação com uma coluna de água estável (Figuras 3.3c e d). Estas características definem uma estação oceânica costeira típica.

A estação do grupo DAS (estação 43 a cinzento na Figura 3.3) apresenta ao longo do perfil uma diminuição da salinidade ($\Delta S = -0,07$ na Figura 3.3b), associada a uma diminuição dos valores da temperatura ($\Delta T = -0,23$ °C na Figura 3.3a). Estas diminuições refletem-se no diagrama T/S, onde é

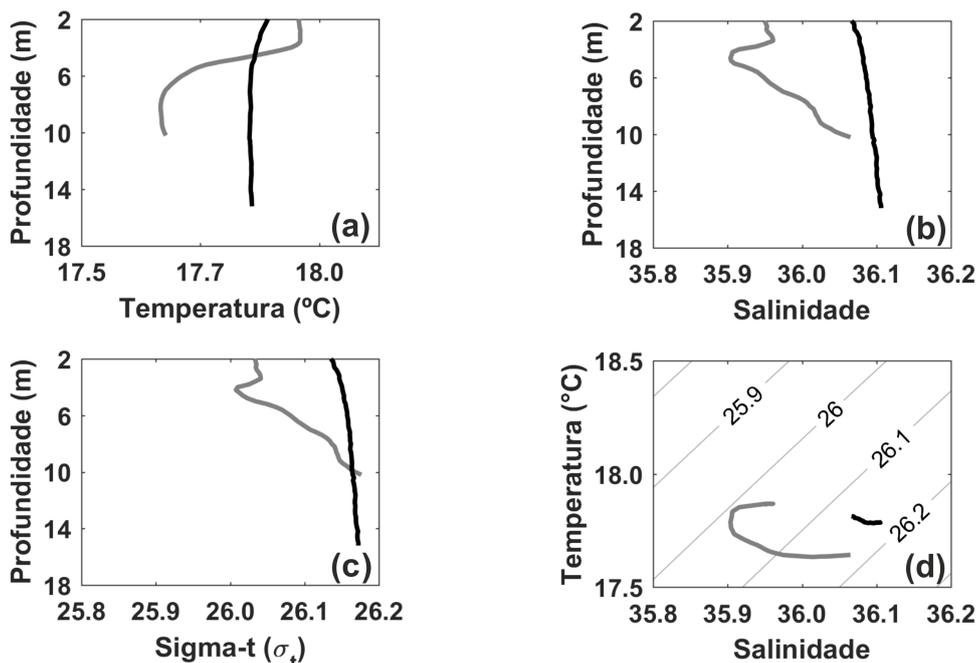


Figura 3.3: Perfis de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) e os respectivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características diferentes: a estação 2 do grupo OC (a preto) e a estação 43 do grupo DAS (a cinzento).

visível a inversão dos valores de sigma-t, indicando assim que existe instabilidade na coluna de água. Como se pode verificar, a forma do perfil de densidade (sigma-t) segue a forma do perfil de salinidade.

As diferenças observadas para os valores de salinidade e de sigma-t nas duas estações poderão indicar a influência de uma saída próxima da estação 43 (pertencente ao grupo DAS).

Finalmente, convém referir de novo que a inexistência de uma ecosonda a bordo da embarcação utilizada não permitiu que o CTD atingisse níveis mais profundos, pelo que não foram detetadas saídas de águas subterrâneas.

3.1.2. Campanha de Abril de 2013

Na segunda campanha realizada no dia 9 de Abril de 2013 (Abr/2013), efetuaram-se 42 estações ao largo da praia dos Olhos de Água. As estações localizaram-se numa malha limitada entre as latitudes $\approx 37^{\circ}3,5' N$ e $37^{\circ}5,0' N$ (ver as estações representadas a azul na Figura 2.2), numa região mais próxima da costa, com profundidades entre 2 e 15 m.

Esta campanha realizou-se numa situação de transição Inverno-Verão, após um ano hidrológico relativamente chuvoso (ver Figura 2.5, ano hidrológico 2012-2013).

Os perfis conjuntos de temperatura, de salinidade e os respetivos diagramas T/S das 42 estações realizadas durante esta campanha estão representados na Figura 3.4. Como esta campanha foi realizada no final do Inverno oceanográfico, as temperaturas apresentam valores mais baixos (entre $14,5^{\circ}C$ e $16,0^{\circ}C$) e os valores de salinidade estão compreendidos entre 35,7 e 36,1, aproximadamente na mesma gama de valores de salinidade da campanha anterior.

A análise dos perfis de temperatura (Figura 3.4a) mostra que também nesta campanha se podem distinguir dois grupos de estações com temperaturas diferenciadas: as estações mais próximas da costa, com temperaturas mais elevadas (entre $15,1^{\circ}C$ e $15,8^{\circ}C$) enquanto as restantes estações têm temperaturas entre $14,5^{\circ}C$ e $15,0^{\circ}C$. Relativamente aos perfis de salinidade (Figura 3.4b), verificou-se que as maiores

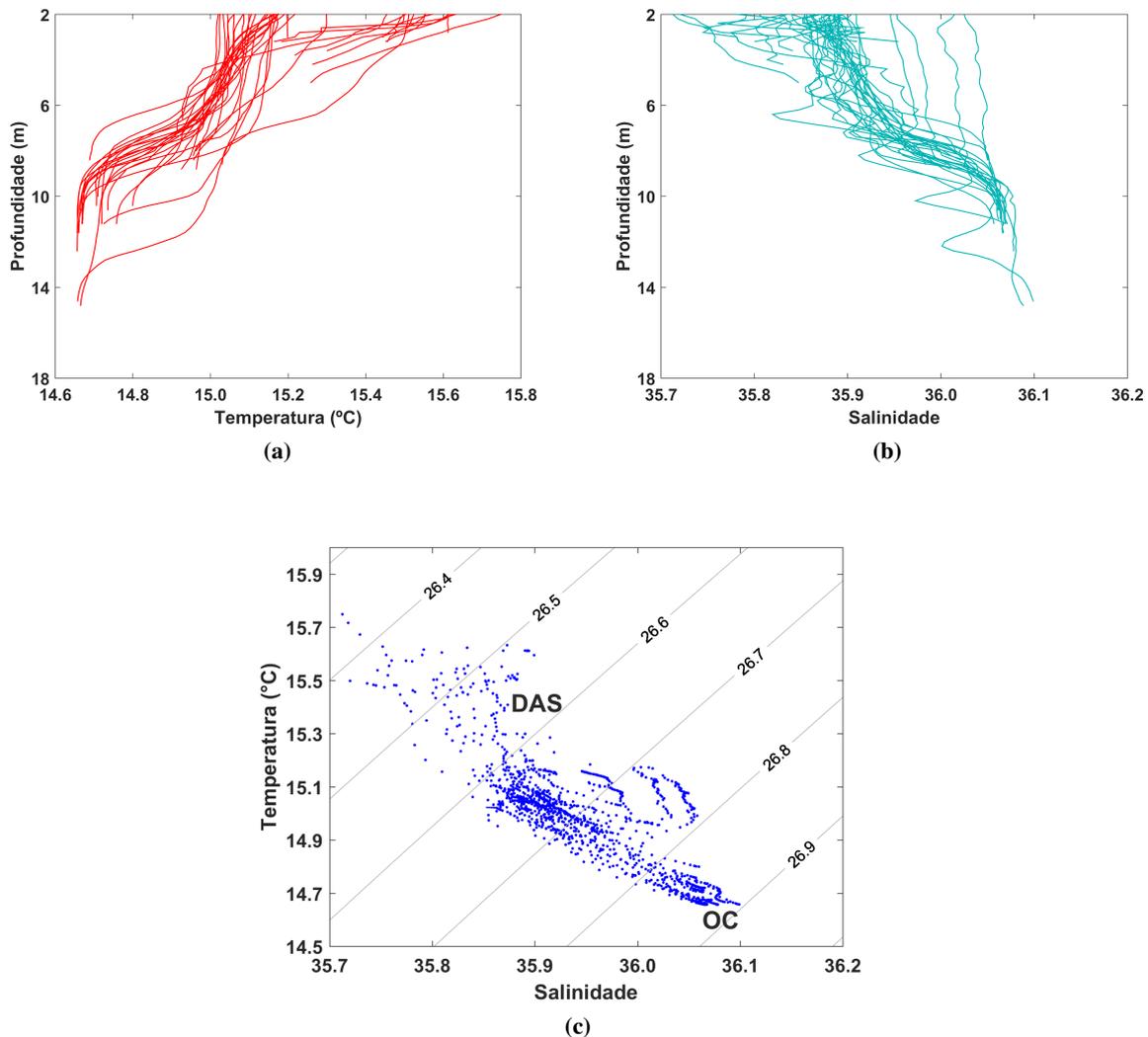


Figura 3.4: Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e diagrama T/S de dispersão (c) das 42 estações realizadas na campanha Abr/2013. Estão também identificadas as estações classificadas como Oceânicas Costeiras (OC) e com influência de Descargas de Águas Subterrâneas (DAS).

variações ocorrem, principalmente, junto ao fundo. Estas variações atingiram diferenças de $\Delta S = -0,16$ nas estações mais próximas da costa.

No diagrama T/S da Figura 3.4c, não há uma distinção tão evidente dos grupos de estações oceânicas costeiras e com possíveis influências de DAS (grupos OC e DAS, respetivamente), como foi possível distinguir na campanha Nov/2012. O critério de diferenciação é a existência ou não de inversões nos perfis de sigma-t.

Nas estações denominadas oceânicas costeiras (OC), os valores de salinidade aumentam com a profundidade enquanto a temperatura decresce com a mesma. Tratam-se de estações com uma coluna de água estável, uma vez que a densidade aumenta de forma gradual com a profundidade, não existindo inversões nos valores da densidade. No diagrama T/S (Figura 3.4c) estas estações aparecem com um certo alinhamento.

As estações com possíveis influências de DAS apresentam inversões nos valores de sigma-t (densidade), devido a intrusões de água menos densa (menores valores da salinidade e/ou da temperatura). O diagrama T/S destas estações apresenta uma forma curva (ver o conjunto de estações identificado como DAS na Figura 3.4c).

Assim, pode inferir-se que as estações típicas oceânicas costeiras (grupo OC) encontram-se na parte inferior do diagrama T/S (com temperaturas mais baixas, um perfil “alinhado” e densidades mais elevadas) e as estações do grupo DAS estão dispersas, com valores de temperatura ligeiramente mais elevados.

Na Figura 3.5 estão representados dois perfis de temperatura, de salinidade e de sigma-t bem como os respectivos diagramas T/S pertencentes a uma estação do grupo OC (estação 91) e a uma estação do grupo DAS (estação 84).

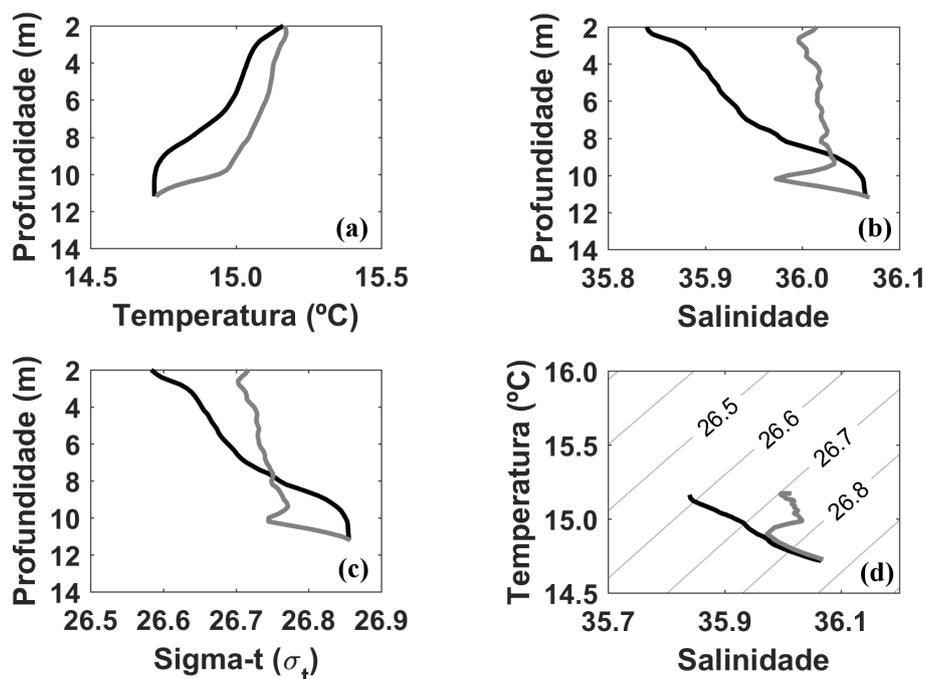


Figura 3.5: Perfis de temperatura (a), de salinidade (b), e de sigma-t (c) e os respectivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características diferentes: uma estação do grupo OC (estação 91) representada a preto e uma estação do grupo DAS (estação 84) representada a cinzento.

Note-se a forma bem diferente, e já descrita, dos diagramas T/S destas 2 estações: na estação do grupo OC (estação 91), a salinidade aumenta ao longo da coluna de água enquanto que a temperatura diminui, resultando num aumento gradual da densidade com a profundidade. Uma vez que não existem inversões nos valores do sigma-t, trata-se de uma estação com uma coluna de água estável (Figura 3.5d - perfil preto).

A estação com possível influência de uma DAS (estação 84, a cinzento na Figura 3.5) apresenta uma inversão no valor da salinidade junto ao fundo ($\Delta S = -0,09$, Figura 3.5b), associada a um decréscimo na temperatura ($\Delta T = -0,3$ °C, Figura 3.5a), bem como uma inversão no sigma-t bem visível no diagrama T/S (Figura 3.5d), indicando tratar-se de uma estação com instabilidades na coluna de água.

3.1.3. Campanha de Novembro de 2013

Na campanha realizada nos dias 11 e 12 de Novembro de 2013 (Nov/2013) efetuaram-se 65 estações na região ao largo da praia dos Olhos de Água, numa malha compreendida entre 37°3,0' N e 37°5,0' N e 8°15,0' W e 8°10,0' W. Nesta campanha repetiram-se várias estações que tinham sido realizadas nas campanhas anteriores. As profundidades das estações variaram entre 7 e 24 m.

Esta campanha foi realizada na transição entre o Verão e Inverno oceanográficos, após um ano hidrológico relativamente chuvoso (ver Figura 2.5, ano hidrológico 2012-2013).

Os perfis conjuntos de temperatura, de salinidade e os respectivos diagrama T/S das 65 estações realizadas ao largo da praia dos Olhos de Água estão representadas na Figura 3.6. Nesta campanha, os valores de temperatura estão compreendidos entre 15,0 °C e 18,0 °C e a salinidade entre 35,2 e 36,3. Note-se a diferença nos valores de salinidade relativamente às campanhas realizadas anteriormente.

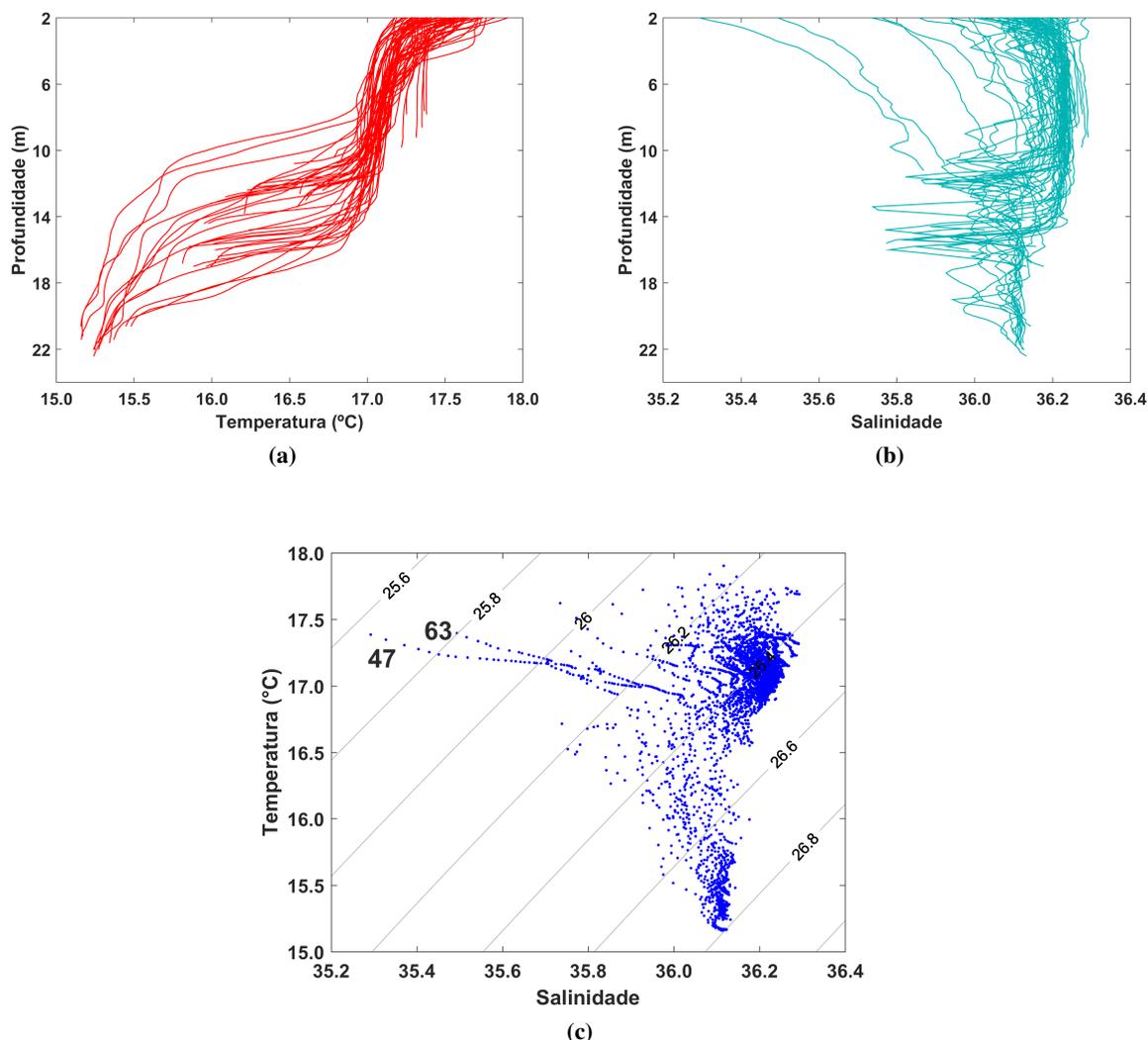


Figura 3.6: Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e os respectivos diagramas T/S (c) das 65 estações realizadas frente à praia dos Olhos de Água, durante a campanha Nov/2013.

A Figura 3.6 mostra que para profundidades superiores a 8 m, cerca de 50 das 65 estações apresentam variações de salinidade. Os decréscimos nos valores da salinidade estão associados a diminuições de temperatura (ver Figura 3.6a), tendo estas ocorrido, com frequência, entre 12 e 16 m. As maiores variações de salinidade e de temperatura registadas foram de $-0,46$ e $-1,8$ °C, respetivamente, em estações localizadas ao largo, junto ao fundo.

As estações com características oceânicas costeiras identificadas nas duas campanhas anteriores (Nov/2012 e Abr/2013) são difíceis de distinguir no diagrama T/S conjunto da Figura 3.6c, devido ao elevado número de estações com variações de salinidade encontradas. Estas variações de salinidade associadas às de temperatura, implicam uma diminuição no valor da densidade da água, traduzindo-se numa inversão de sigma-t e, conseqüente curvatura no diagrama T/S.

Apesar de as estações OC não se distinguirem no diagrama T/S conjunto, os valores de salinidade e de temperatura são mais elevados comparativamente com as estações do grupo DAS.

É de notar que existem duas estações identificadas no diagrama T/S da Figura 3.6 (estações 47 e 63) com valores de salinidade (e consequente, sigma-t) muito inferiores em relação às restantes estações. Apesar dos perfis de temperatura, de salinidade e de σ_t serem semelhantes a perfis com características oceânica costeira (a salinidade aumentar com a profundidade, a temperatura decrescer ao longo da coluna de água e não existirem inversões de sigma-t), estas estações não podem ser consideradas oceânicas costeiras, como se demonstrará na análise das secções verticais (Secção refsec: verticais).

Na Figura 3.7 estão representados dois exemplos de estações típicas encontradas nesta campanha: uma estação com características oceânica costeira (OC - estação 67, a preto) e uma estação com uma potencial DAS junto ao fundo (estação 27, a cinzento).

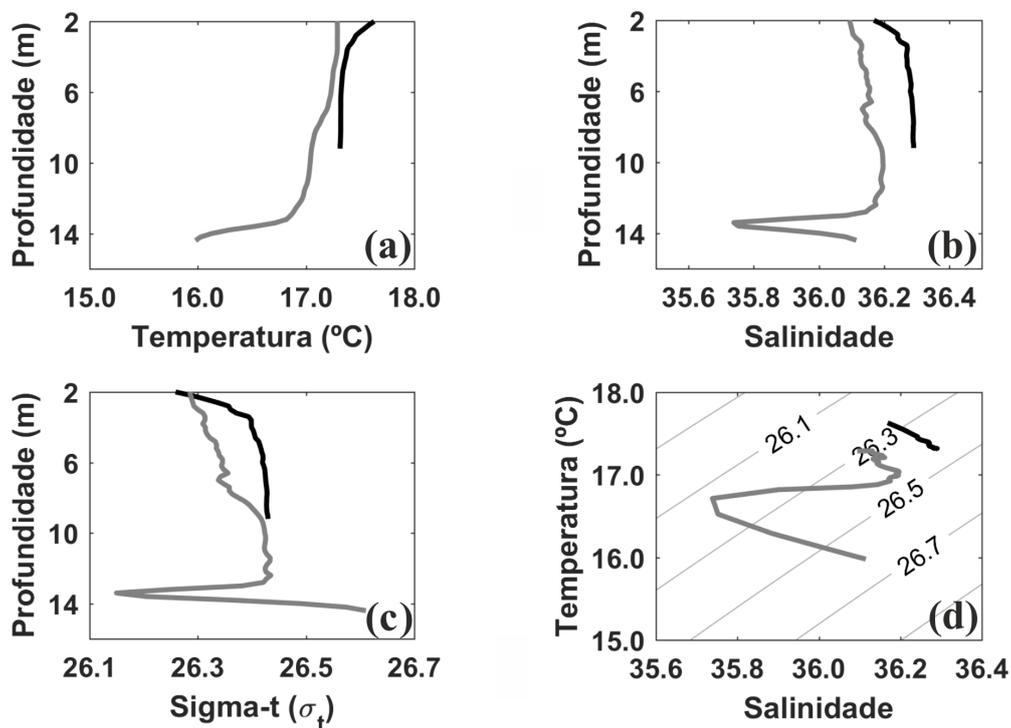


Figura 3.7: Perfis de temperatura (a), de salinidade (b), e de sigma-t (c) e respetivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características distintas: a estação 67, oceânica costeira (OC) representada a preto e a estação 27 com possível DAS junto ao fundo, representada a cinzento.

Verifica-se que na estação do grupo OC (a preto na Figura 3.7), a densidade aumenta gradualmente com a profundidade, indicando assim estabilidade na coluna de água.

Na estação com uma possível DAS (a cinzento na Figura 3.7) é interessante verificar que existe um $\Delta S = -0,46$ e um $\Delta T = -1,0$ °C junto ao fundo, sugerindo que existe uma DAS no local onde se efetuou a estação ou muito próximo desta (Figuras 3.7a e b). De notar que esta estação com possível DAS (ou influência) tem salinidades e temperaturas inferiores aos da estação oceânica costeira (estação 67).

Do conjunto de todos os perfis analisados e considerando apenas as estações com possíveis evidencias de DAS, podem identificar-se três casos:

- A influência de DAS encontra-se junto ao fundo, tal como está representado na Figura 3.7 a cinzento, e poderá indicar a existência de uma nascente no local ou muito próximo da localização da estação;

- A influência de DAS é encontrada próximo da superfície ou a outra profundidade na coluna de água. É identificada por apresentar valores mais baixos de salinidade (por vezes, não tão baixos como os encontrados junto ao fundo). Este tipo de estações não dá informação da localização da fonte submarina, mas pode indicar que se encontra na trajetória de uma pluma de DAS;
- Toda a coluna de água está sobre a influência de uma descarga e o sinal da mesma está presente desde a superfície até ao fundo. Foram identificadas através dos valores mais baixos de salinidade encontrados e como exemplos representam-se no diagrama T/S conjunto da Figura 3.6c, as estações 47 e 63.

3.2. Estações Oceanográficas realizadas em duas regiões de controlo

Com o objetivo de complementar os dados recolhidos nas campanhas oceanográficas descritas, realizaram-se também estações oceanográficas em duas regiões de controlo, Albufeira e praia da Falésia, durante a campanha de Novembro de 2013, partindo-se do pressuposto de que nestas 2 regiões a probabilidade de encontrar DAS seria reduzida.

Como já foi referido, estas estações realizaram-se numa situação de transição Verão-Inverno, após um ano relativamente chuvoso (Figura 2.5).

3.2.1. Albufeira

Na região frente a Albufeira realizaram-se 20 estações nos dias 11 e 12 de Novembro de 2013. Estas estações estão localizadas numa malha compreendida entre $37^{\circ}3,0' N$ e $37^{\circ}4,5' N$ e $8^{\circ}16,5' W$ e $8^{\circ}15,5' W$ (ver na Figura 2.2 o conjunto de estações a vermelho localizadas mais a Oeste). As profundidades das estações variaram entre 6 e 20 m.

Os perfis conjuntos de temperatura, de salinidade e os respetivos diagramas T/S das 20 estações estão representados na Figura 3.8. Esta figura mostra que os valores de temperatura estão compreendidos entre $15,5^{\circ}C$ e $17,5^{\circ}C$ e as salinidades entre 35,8 e 36,3, não atingindo valores tão baixos como na região frente à praia dos Olhos de Água.

A análise dos perfis de temperatura (Figura 3.8a) mostra que as maiores variações de temperatura (chegando a atingir $-1,5^{\circ}C$) ocorrem abaixo de 10 m. Tal como se verificou nos perfis de temperatura e de salinidade da região da praia dos Olhos de Água, quando existe uma diminuição da temperatura está também associada um decréscimo da salinidade, como está representado na Figura 3.8b. Assim, as maiores variações de salinidade também ocorrem abaixo de 10 m. No entanto, como se pode observar nos perfis conjuntos de salinidade, as variações também podem ocorrer próximo da superfície e a outras profundidades na coluna de água.

O diagrama T/S conjunto (Figura 3.8c) é muito semelhante ao da região em frente aos Olhos de Água (ver Figura 3.6c). Neste caso, também não se consegue diferenciar os tipos de estações identificadas previamente como oceânicas costeiras e DAS, mas no conjunto foram identificadas 17 estações como estando influenciadas por DAS e apenas 2 estações apresentavam características oceânicas costeiras.

No diagrama T/S (Figura 3.8c) também se identifica a estação 57A, com um comportamento muito semelhantes às estações 47 e 63 da região dos Olhos de Água (ver Figura 3.6c). Os valores de temperatura são muito semelhantes, no entanto, a salinidade não é tão baixa. Esta estação foi considerada como estando influenciada por uma DAS em toda a coluna de água.

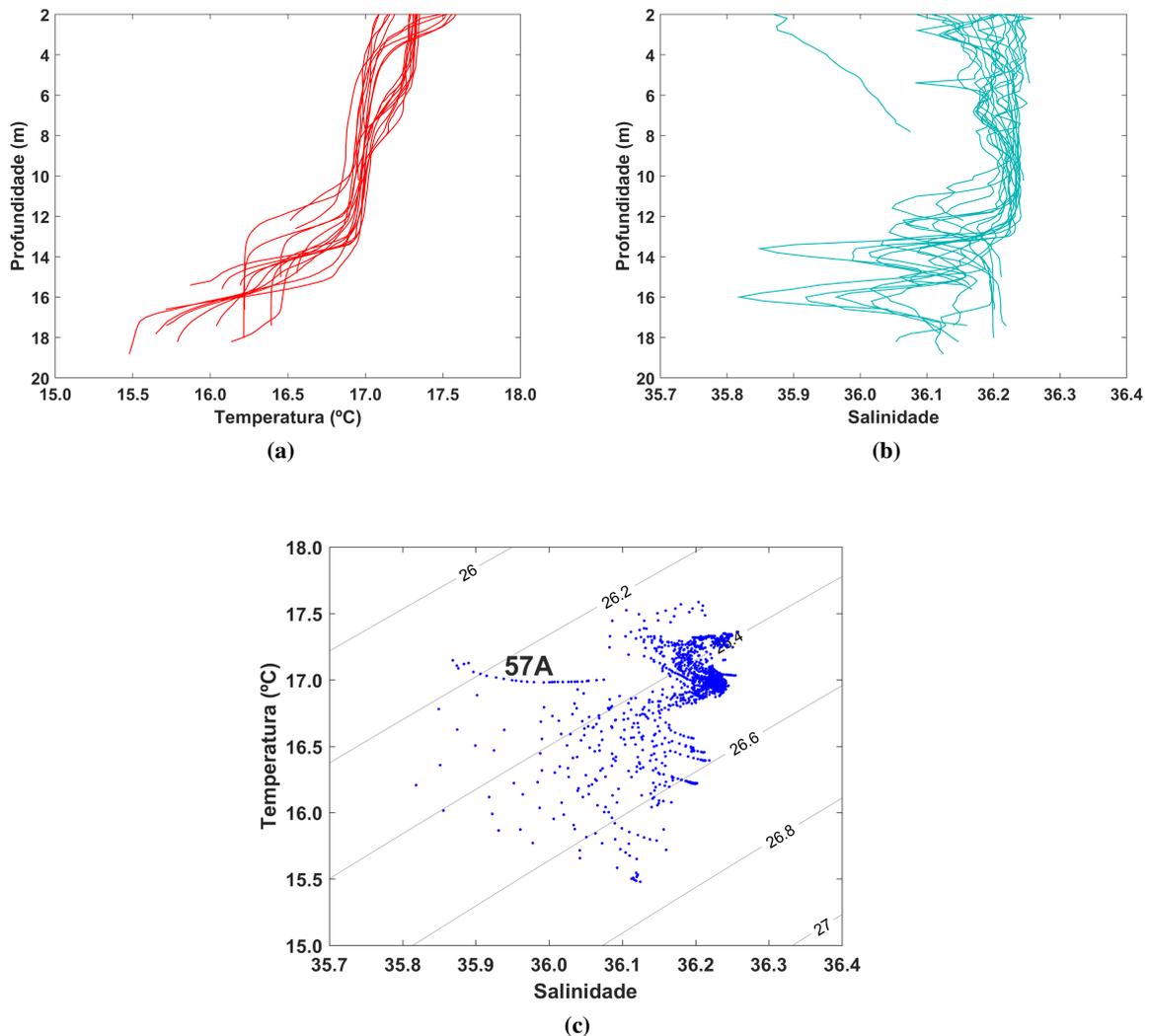


Figura 3.8: Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e diagrama T/S conjunto (c) das 20 estações realizadas na região de Albufeira durante a campanha Nov/2013.

Na Figura 3.9 estão representados os perfis de temperatura, de salinidade e de sigma-t bem como os respectivos diagramas T/S de 2 estações: uma estação oceânica costeira (estação 58) e uma estação com possível DAS junto ao fundo (estação 17).

A estação 58 (representada a preto na Figura 3.9) tem características típicas de uma estação oceânica costeira: os valores da temperatura decrescem ao longo da coluna de água e a salinidade aumenta (Figuras 3.9a e b). No diagrama T/S desta estação, não existem inversões nos valores do sigma-t, indicando assim que a densidade aumenta com a profundidade (ver Figura 3.9d - perfil preto), indicando uma coluna de água estável.

A estação com um sinal característico de uma DAS junto ao fundo (estação 17 a cinzento na Figura 3.9) apresenta no perfil da salinidade uma diminuição significativa ($\Delta S = -0,4$ - Figura 3.9b), a que corresponde também um decréscimo da temperatura ($\Delta T = -1,3$ °C - Figura 3.9a). O diagrama T/S desta estação apresenta inversão dos valores de sigma-t, com uma “forma curva”(ver Figura 3.9d), indicando forte instabilidade na coluna de água.

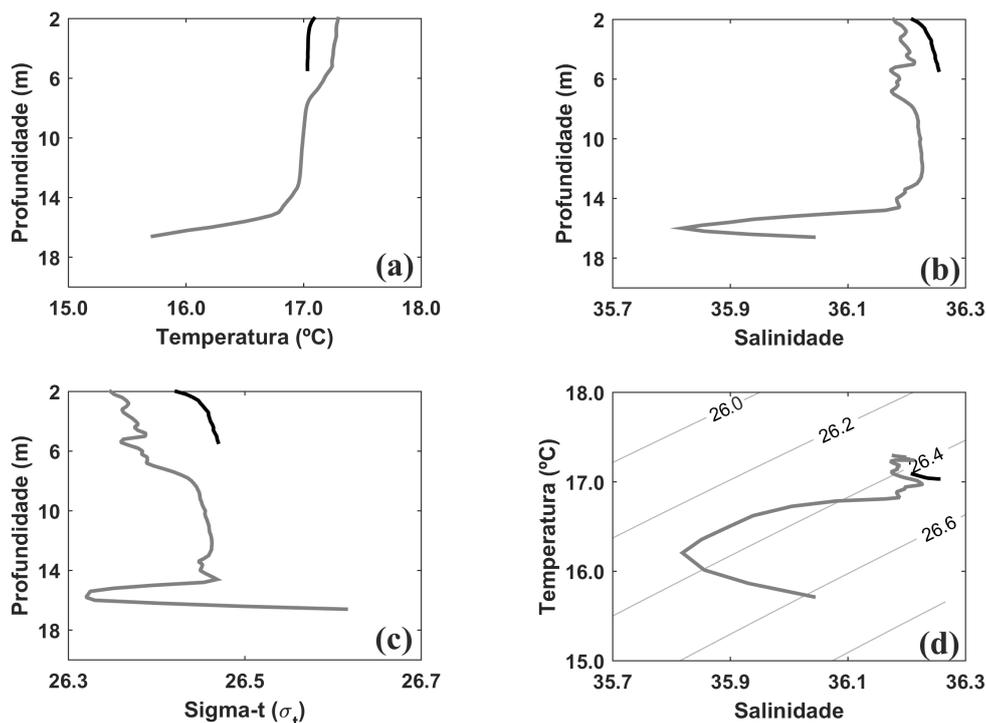


Figura 3.9: Perfis de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) e os respectivos diagramas T/S (d) de 2 estações com características diferentes: a estação 58, com características oceânica costeira (a preto) e a estação 17 com um sinal característico de uma DAS junto ao fundo (a cinzento).

As estações oceânicas costeiras na região de Albufeira têm valores de salinidade mais elevados e valores de temperatura mais baixos relativamente às estações com possíveis influências de DAS, tal como se verifica nos Olhos de Água.

Como nota final pode dizer-se que a região de Albufeira não pode ser considerada uma região de controlo, como anteriormente se supôs. Os tipos de perfis encontrados neste local apresentam variações de salinidade junto ao fundo ou na coluna de água, podendo indicar a presença de DAS.

3.2.2. Praia da Falésia

Realizaram-se 10 estações na região frente à praia da Falésia no dia 12 de Novembro de 2013, localizadas numa malha compreendida entre 37°3,5' N e 37°4,0' N e 8°9,5' W e 8°8,5' W (ver na Figura 2.2 o conjunto de estações a vermelho mais a leste). As profundidades destas estações estão compreendidas entre 8 e 12 m.

Os perfis conjuntos de temperatura, de salinidade e os respetivos diagramas T/S das 10 estações estão representados na Figura 3.10. Esta figura mostra que os valores de temperatura para esta região estão compreendidos entre 16,5 °C e 18,0 °C e os valores de salinidade entre 35,9 e 36,3 (Figuras 3.10a e b). Como se pode verificar, as temperaturas são ligeiramente mais elevadas do que na região de Albufeira.

A Figura 3.10a mostra que todas as estações têm temperaturas semelhantes, com um comportamento oceânico costeiro: a temperatura diminui ao longo da coluna de água. Observando os perfis de salinidade (Figura 3.10b), o comportamento oceânico costeiro não está presente, isto é, a salinidade não aumenta de forma gradual com a profundidade. Os perfis de salinidade mostram variações que podem ocorrer próximo da superfície (até ≈ 4 m) ou então a diferentes profundidades da coluna de água, podendo atingir

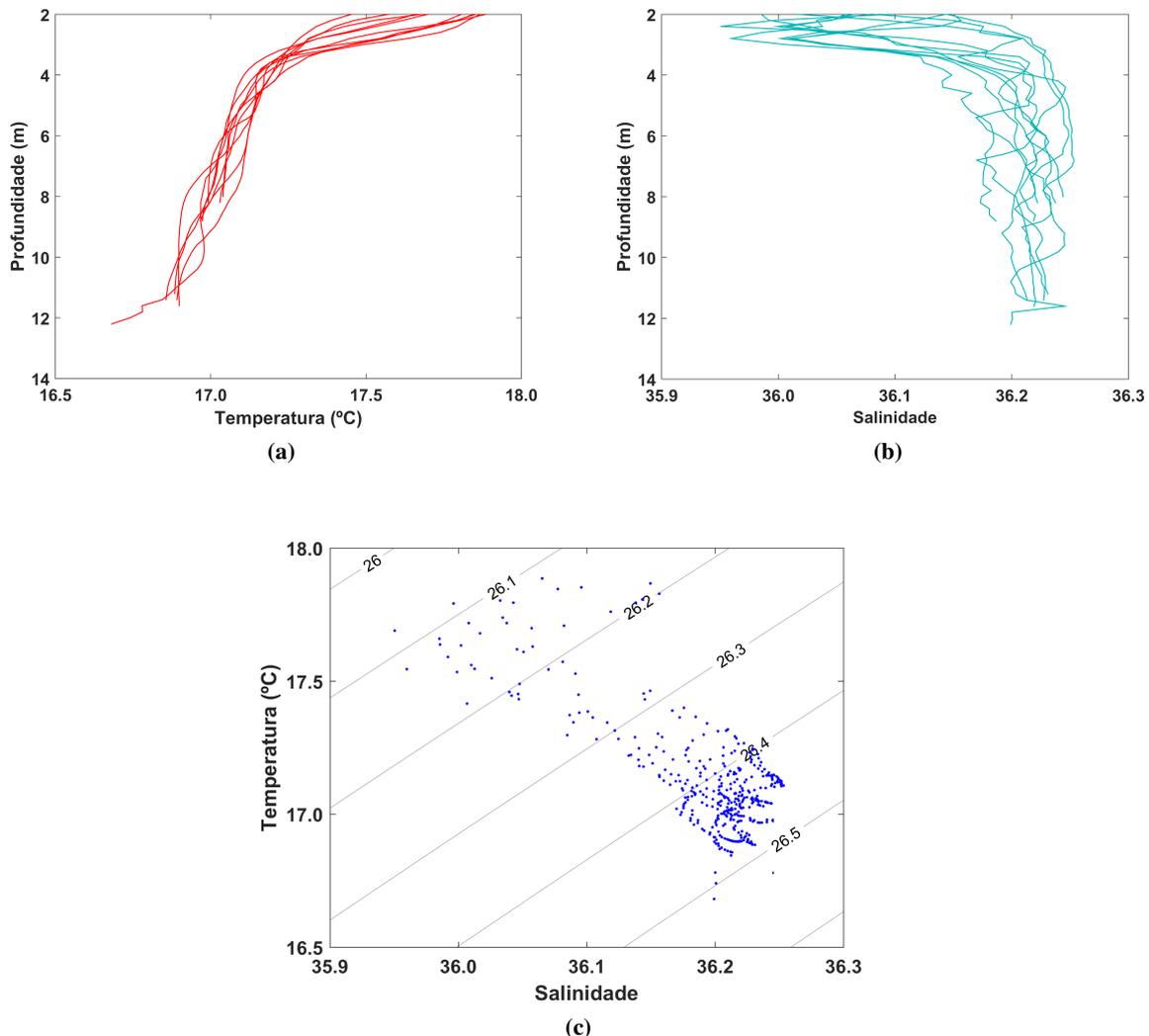


Figura 3.10: Perfis conjuntos de temperatura (a) e de salinidade (b) e respetivo diagrama T/S conjunto (c) das 10 estações realizadas na região da praia da Falésia durante a campanha Nov/2013.

$\Delta S = -0,18$. Associadas às maiores variações de salinidade próximas da superfície há diminuições de temperatura, que podem atingir $\Delta T = -0,7^\circ\text{C}$.

O diagrama T/S conjunto (Figura 3.10c) mostra que em todas as estações existem inversões nos valores de sigma-t, indicando que a coluna de água apresenta instabilidades que podem estar associadas a descargas de águas subterrâneas próximas. No entanto, como as maiores variações de salinidade ocorrem próximo da superfície, nada se pode inferir acerca da localização das DAS neste local.

Com as variações de salinidade identificadas, conclui-se que a região da praia da Falésia também não pode ser considerada uma região de controlo. Como as maiores variações foram encontradas junto à superfície, não sendo possível inferir a localização das DAS, pode afirmar-se que esta região encontra-se influenciada por DAS provenientes de outro local.

Como foi referido no início desta secção, as regiões de controlo foram realizadas durante a campanha Nov/2013. Na Figura 3.11 está representado o diagrama T/S conjunto com todas as estações efetuadas durante a campanha para a região ao largo da praia dos Olhos de Água, bem como para as supostas regiões de controlo de Albufeira e praia da Falésia.

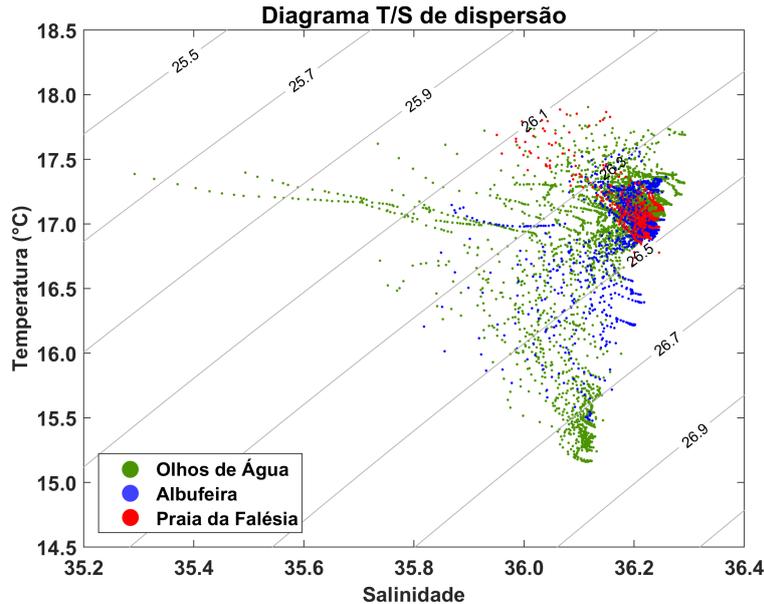


Figura 3.11: Diagrama T/S de dispersão das 95 estações realizadas na campanha Nov/2013: 65 na região dos Olhos de Água (a verde), 20 em Albufeira (a azul) e 10 na praia da Falésia (a vermelho).

O diagrama T/S da Figura 3.11 mostra que os valores de temperatura e de salinidade das regiões de controlo estão compreendidos no mesmo intervalo de valores da região dos Olhos de Água. A dispersão dos pontos no diagrama T/S correspondentes às 30 estações (20 em Albufeira e 10 na praia da Falésia) vem reforçar a ideia de que as estações tem características hidrológicas semelhantes às estações com descargas de água subterrânea ou com influência na coluna de água.

3.3. Distribuições Hidrológicas

Para uma análise de conjunto construíram-se secções verticais paralelas e perpendiculares à costa, e distribuições horizontais dos três parâmetros hidrológicos analisados até agora - temperatura, salinidade e sigma-t. Apresentam-se de seguida os resultados das secções mais relevantes em cada uma das campanhas realizadas. Nas figuras, a linha a preto representa a batimetria de fundo.

3.3.1. Novembro de 2012

A Figura 3.12 mostra as distribuições verticais da temperatura, da salinidade e de sigma-t (T , S e σ_t) ao longo da secção II, à latitude de $37^{\circ}4,5' N$, com uma extensão de $\approx 1,6$ km, realizada durante a campanha Nov/2012. Deve aqui referir-se que não existe informação dos parâmetros mencionados junto ao fundo, uma vez que durante a realização da referida campanha a embarcação ainda não possuía sonda.

A secção representada na Figura 3.12 foi escolhida porque os parâmetros T , S e σ_t atingiram os valores mais baixos observados durante toda a campanha. As menores salinidades encontram-se nas estações 50 e 51, que poderá eventualmente ser caracterizada por um padrão tipo “bolha” (cores azuis escuras na Figura 3.12b). Este padrão também aparece na densidade (Figura 3.12c; com $\sigma_t \leq 26,0 \text{ kg/m}^3$), mas no campo da temperatura não parece existir uma correspondência tão evidente (Figura 3.12a). Note-se contudo que, no mesmo local onde se observa este padrão de água menos salina, há uma aproximação das isotérmicas, isto é, o gradiente de temperatura aumenta.

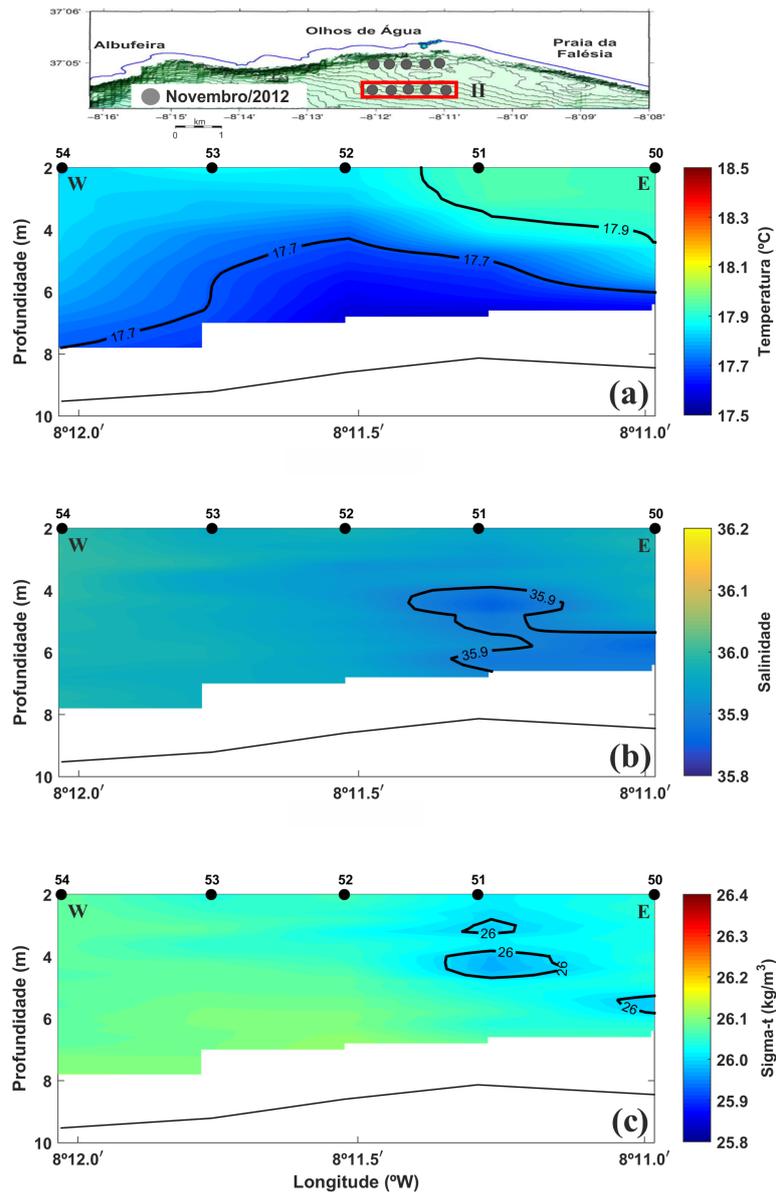


Figura 3.12: Secções de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) à latitude de $37^{\circ}4,5'$ N obtida durante a campanha Nov/2012. A localização da secção II, com uma extensão $\approx 1,6$ km, encontra-se devidamente identificada.

Verificou-se que em todas as secções paralelas à costa não se observou nenhuma outra relação entre a temperatura e a salinidade para além da que foi já referida. As possíveis evidências de DAS junto ao fundo diminuem com o aumento da distância à costa. Nas secções de salinidade mais afastadas da costa observaram-se potenciais influências de descargas provenientes de outros locais, pois detetou-se a presença de água menos salgada (menos densa) a várias profundidades na coluna de água, e não junto ao fundo.

A Figura 3.13 mostra um exemplo de uma secção perpendicular à costa (secção P8). Esta secção localiza-se a $8^{\circ}11,2'$ W, engloba um maior número de estações e mostra a distribuição meridional dos parâmetros em estudo entre a costa e o largo (com uma extensão $\approx 5,5$ km).

A Figura 3.13a mostra dois locais com temperaturas à superfície mais elevadas ($T \geq 17,9^{\circ}\text{C}$) e com valores de salinidade $\approx 36,0$ (Figura 3.13b). As menores salinidades estão localizadas junto à costa, com temperaturas também mais baixas, parecendo assim indicar que existem descargas de águas subterrâneas na vizinhança das estações, que influenciam a coluna de água. O padrão tipo “bolha” que se observou na

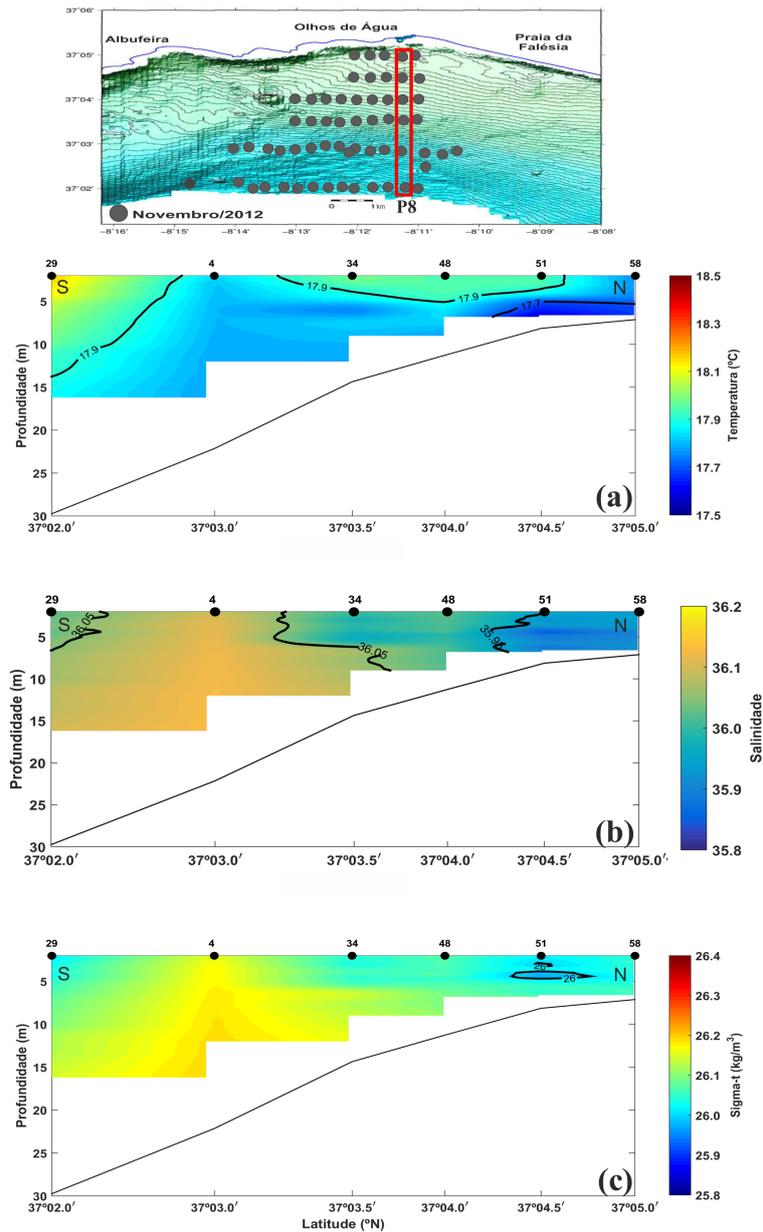


Figura 3.13: Secções de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) à longitude de $8^{\circ} 11,2'$ W obtida durante a campanha Nov/2012. A localização da secção P8, com uma extensão $\approx 5,5$ km, encontra-se devidamente assinalada.

Figura 3.12c também está presente na Figura 3.13c (ver estação 51), podendo eventualmente atribuir-se um carácter tridimensional e o padrão observado na estação 51 ser uma bolha de água menos salina.

A distribuição meridional da salinidade, com valores mais baixos próximos da costa e aumentando de forma gradual com a distância foi uma constante em todas as secções perpendiculares. No entanto, em todas as estações mais ao largo a salinidade volta a diminuir, com valores mais baixos junto à superfície, parecendo indicar a existência de DAS vinda de outros locais.

Para analisar a variação dos parâmetros de T e S em toda a área de estudo construíram-se superfícies de nível, espaçadas de metro a metro, a partir de 2 m de profundidade. A Figura 3.14 mostra as variações da temperatura e da salinidade para toda a área ocupada durante a campanha Nov/2012.

Relativamente ao campo da temperatura, os valores mais elevados foram encontrados nas estações mais ao largo em toda a coluna de água ($T \geq 18,0^{\circ}\text{C}$), enquanto que as menores temperaturas podem ser encontradas nas estações mais próximas da costa ($T \approx 17,7^{\circ}\text{C}$). A distribuição horizontal da temperatura

não varia muito nos primeiros 4 m de profundidade (Figura 3.14a-c); a partir desta profundidade, há uma diminuição da temperatura nas estações localizadas entre 37°3,0' N e 37°4,0' N.

A salinidade apresenta sempre valores inferiores a 36,0 nas estações mais próximas da costa até à profundidade de 6 m (ver Figura 3.14j-n, região compreendida entre 37°4,0' N e 37°5,0' N). Para as estações localizadas a 37°3,0' N, a salinidade tem os valores mais elevados registados em toda a campanha e próximos de 36,1. Nas estações mais ao largo, a salinidade volta a diminuir, mas com valores mais elevados quando comparados com a salinidade das estações mais próximas da costa.

Para uma melhor visualização do conjunto dos dados de salinidade obtidos na campanha Nov/2012 construiu-se uma representação tridimensional que está representada na Figura 3.15. Como se verificou ser a salinidade o melhor parâmetro para detetar possíveis DAS ou influências destas, não se encontra aqui representado o campo da temperatura.

As estações das secções I e II, identificadas na Figura 3.15, apresentam os valores de salinidade mais baixos de toda a campanha. Estas baixas salinidades estão presentes em toda a coluna de água, indicando a possível presença de DAS junto ao fundo destas estações ou na proximidade das mesmas. Deve também referir-se que estas estações podem ter uma contribuição das descargas intertidais e subtidais a partir de terra.

Os tons azulados presentes nas estações das secções III e IV (ver Figura 3.15) encontrados a diferentes profundidades na coluna de água correspondem a água menos salina. Dado que esta água menos salgada ($S \approx 35.95$) aparece à superfície ou próxima desta, e considerando que a fonte de água doce na região é proveniente de DAS ou das descargas intertidais e subtidais referidas anteriormente, estes valores podem indicar a influência de DAS quer no próprio local ou na trajetória de uma pluma.

Ao longo da secção V (37°3,0' N) as estações têm um comportamento típico oceânico costeiro, considerando apenas a salinidade, pois esta aumenta de forma gradual com a profundidade. À superfície existem valores de salinidade ligeiramente mais baixos, que poderá ser resultado (não comprovado) da ascensão de água proveniente de DAS. Apesar de a temperatura não se encontrar aqui representada, nesta secção a temperatura diminui com a profundidade e é ligeiramente mais elevada à superfície, no mesmo local onde aparecem os valores de salinidade ligeiramente mais baixos.

Por fim, na secção mais ao largo (secção VI, Figura 3.15) existem estações com valores anómalos de salinidade ao longo da coluna de água ($S \approx 36,0$, por vezes inferior). Apesar de 6 das 13 estações apresentarem comportamento típico oceânico costeiro (considerando apenas a salinidade), as restantes estações apresentam evidências de influência de DAS. Esta influência não aparenta ser local, uma vez que as baixas salinidades aparecem próximo da superfície numa coluna de água com ≈ 30 m. É possível que estas influências sejam o resultado de uma pluma originada a sul desta secção, em maiores profundidades, e que tenha ascendido até à superfície, devido à sua menor densidade.

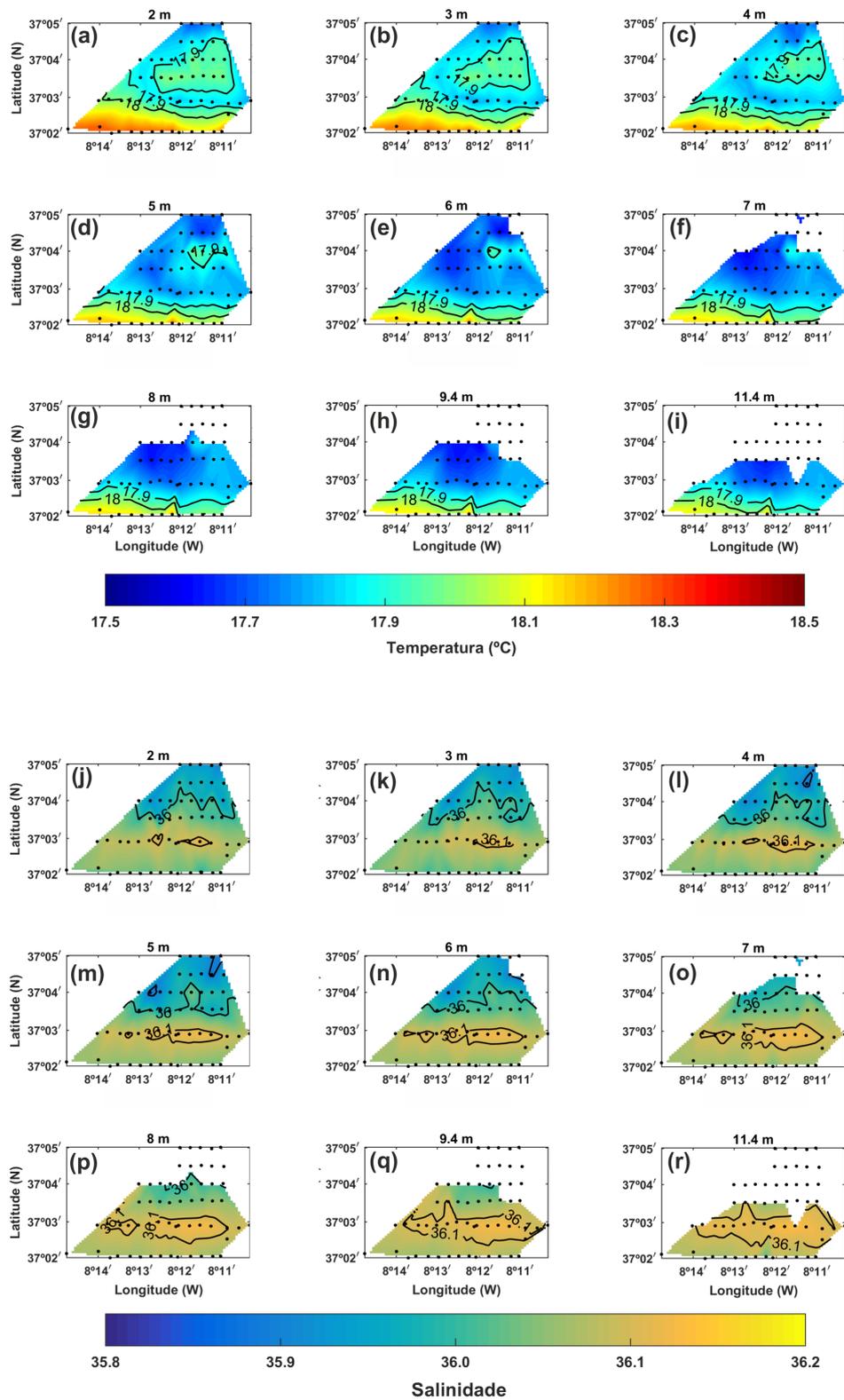


Figura 3.14: Superfícies de nível de temperatura (a-i) e de salinidade (j-r) para a campanha Nov/2012. Os pontos representam a malha das estações e as profundidades das superfícies de nível estão devidamente identificadas. Não existe informação para os parâmetros T e S quando a profundidade da estação não atinge a superfície de nível considerada.

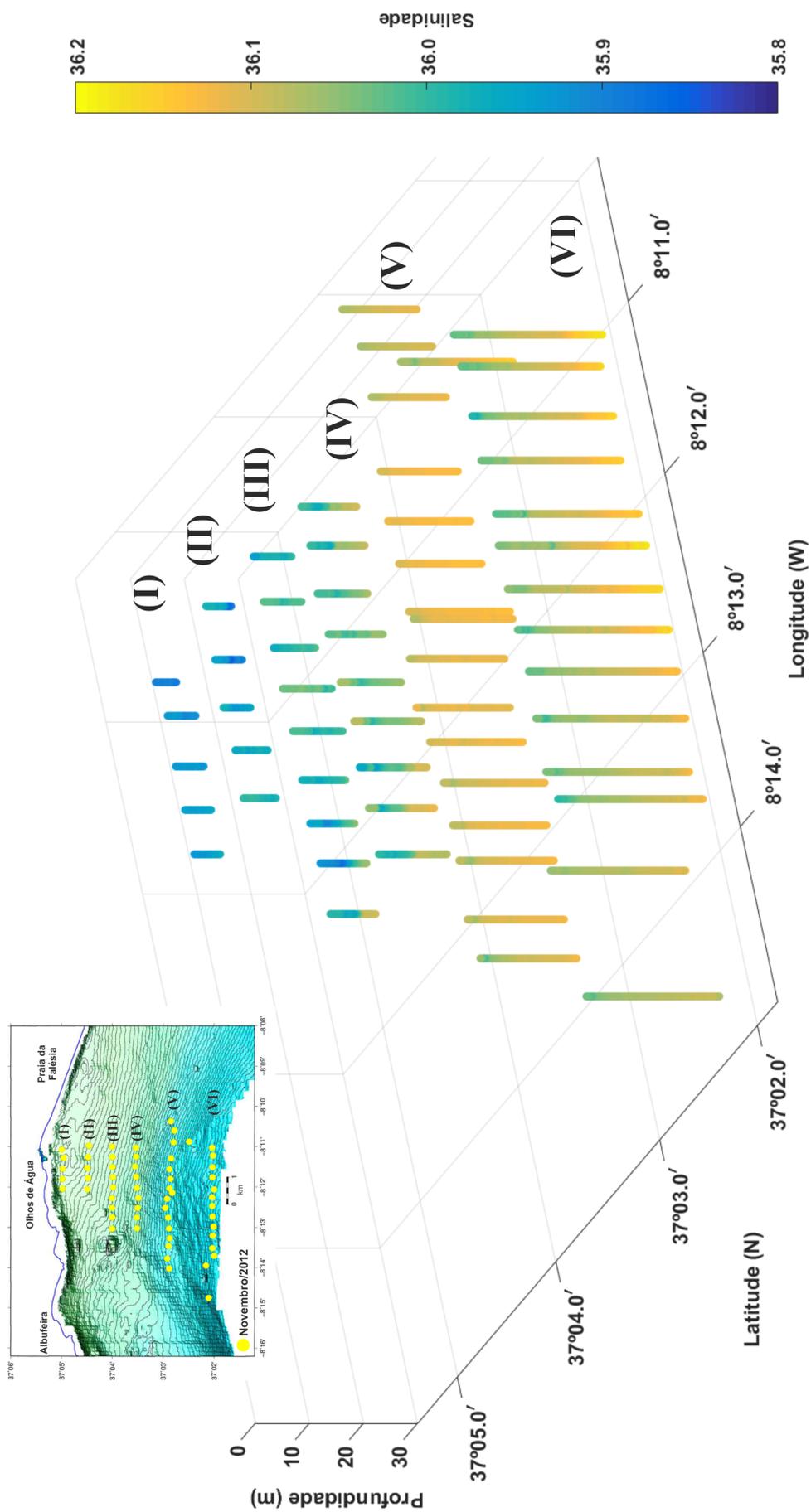


Figura 3.15: Representação da salinidade ao longo da coluna de água para as 59 estações realizadas durante a campanha Nov/2012. As secções paralelas à costa estão identificadas no diagrama e na carta.

3.3.2. Abril de 2013

Na campanha realizada em Abril de 2013 foram atingidas as temperaturas mais baixas, dado que esta se realizou após o Inverno oceanográfico. Na Figura 3.16 estão representadas as distribuições de T, S e σ_t ao longo da secção I, mais próxima da costa e com uma extensão de ≈ 4 km.

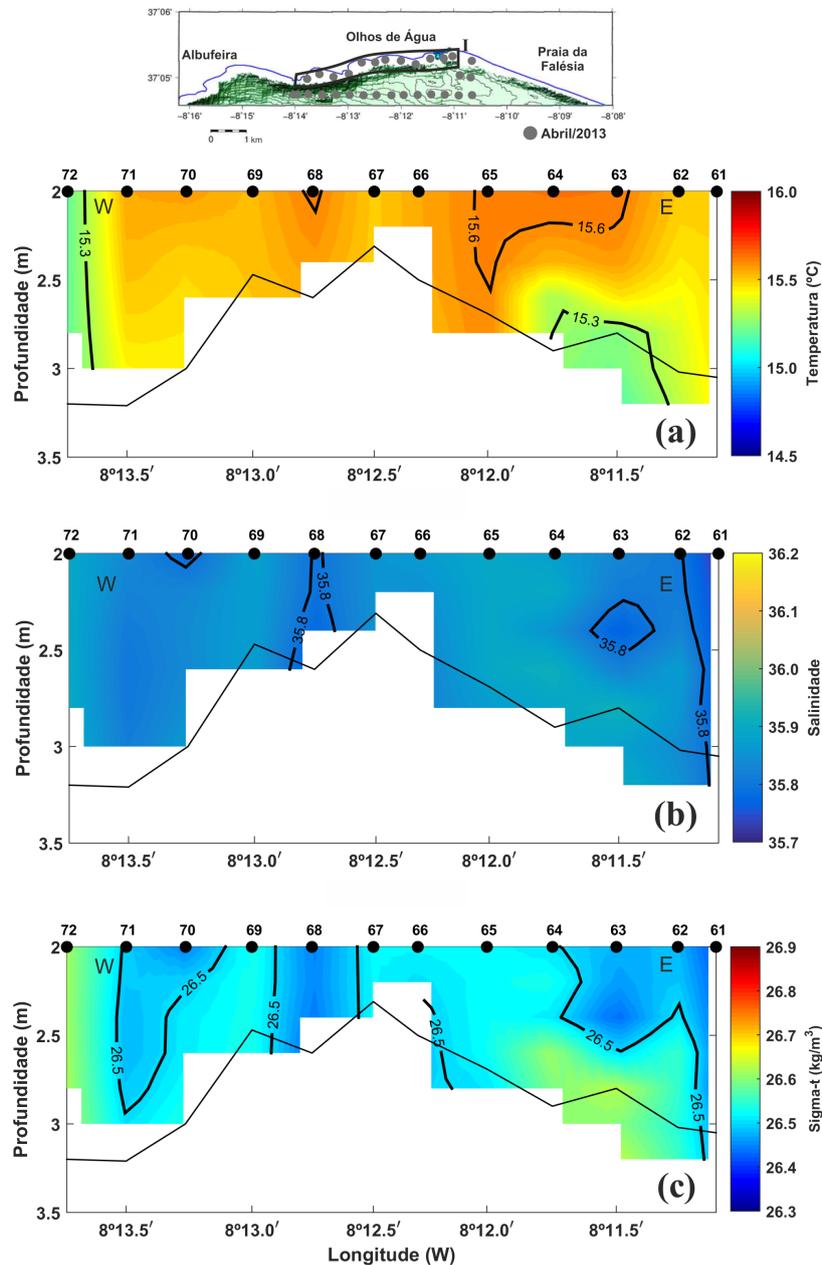


Figura 3.16: Secções de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) para a secção I mais próxima da costa, com uma extensão ≈ 4 km. A localização da secção I encontra-se assinalada na carta.

A distribuição vertical de temperatura ao longo da costa (Figura 3.16a) mostra valores mais elevados nas estações 63 a 65 e 68, onde se observam também salinidades e densidades mais baixas (ver Figuras 3.16b e c). Deve aqui mencionar-se que estes valores de temperatura são os mais elevados registados durante toda a campanha e as salinidades atingem os valores mais baixos ($S \leq 36,0$); as correspondentes densidades também mais baixas podem indicar a presença de DAS nas estações mencionadas ou então muito próximas delas.

Como na região não existem descargas de rios ou de exutores submarinos (ver Anexo A), os baixos valores de salinidade só poderão resultar de DAS ou de nascentes intertidais, subtídais ou submarinas próximo da costa.

As restantes distribuições verticais paralelas à costa diferem da anterior tanto na temperatura como na salinidade: a temperatura em todas as outras secções apresenta um comportamento característico de estações oceânicas costeiras - decresce com a profundidade, e os valores são mais baixos ($T \leq 15,2^\circ\text{C}$). A salinidade em algumas secções apresenta valores mais baixos na coluna de água, mas não junto ao fundo.

Relativamente às secções perpendiculares à costa, mostra-se como exemplo uma secção à longitude de $8^\circ 13,5' \text{ W}$ (P1), com uma extensão $\approx 2 \text{ km}$, englobando o maior número de estações e que está representada na Figura 3.17.

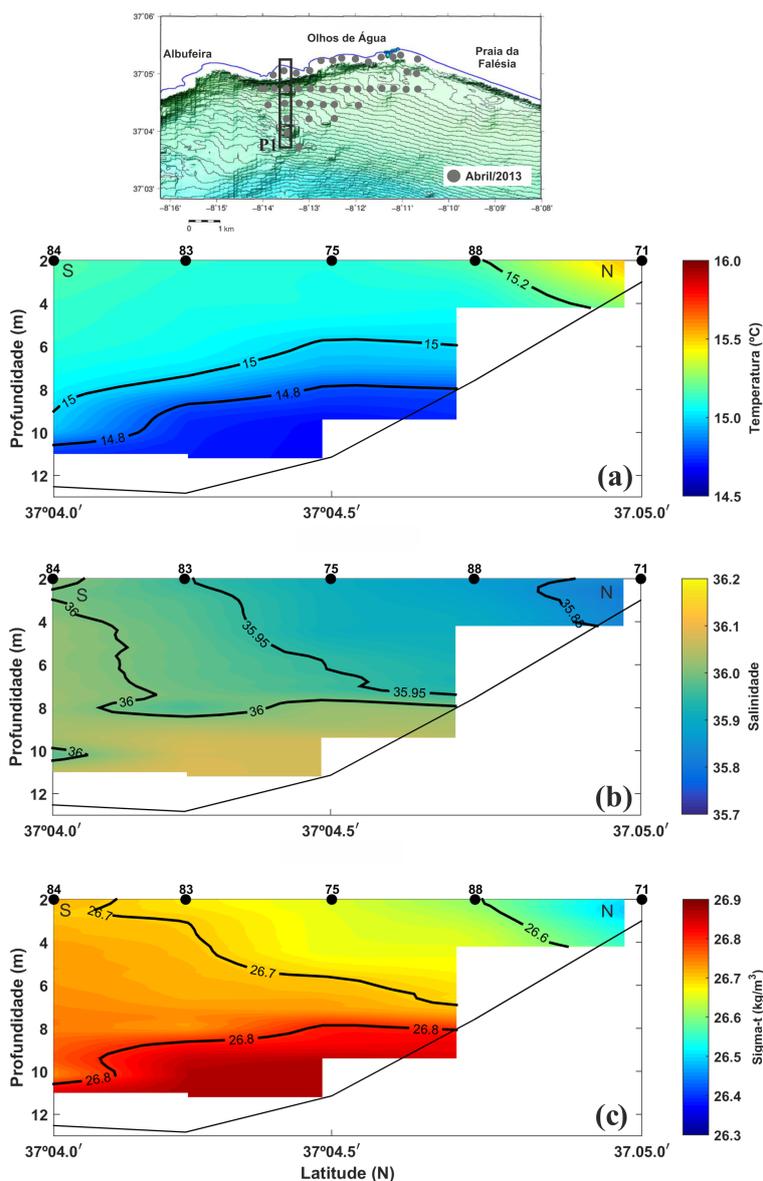


Figura 3.17: Secções de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) à longitude de $8^\circ 13'30'' \text{ W}$, com uma extensão $\approx 2 \text{ km}$. A localização da secção P1 encontra-se assinalada na carta.

A secção P1 representada na Figura 3.17 vem reforçar o que foi mostrado na figura anterior: temperaturas mais elevadas junto à costa associadas a baixas salinidades e densidades. Apesar de não se

observar uma variação latitudinal da temperatura (Figura 3.17a), os valores de salinidade (e de sigma-t) aumentam com a distância à costa (Figuras 3.17b e c). Na estação 84, próximo do fundo e também à superfície, existem valores de salinidade ligeiramente inferiores aos da restante coluna de água, não existindo qualquer alteração significativa da temperatura ou da densidade.

Nas outras secções perpendiculares construídas, o comportamento da temperatura é muito semelhante ao da Figura 3.17a. A distribuição da salinidade, de uma forma geral, não difere muito da representada na Figura 3.17b - aumenta em direção ao largo. No entanto, ocorrem pontualmente pequenas variações de salinidade a várias profundidades na coluna de água.

Para analisar a variação dos parâmetros de T e S em toda a área de estudo foram calculadas distribuições horizontais, espaçadas de metro a metro, a partir de 2 m de profundidade. A Figura 3.18 mostra a variação de T e S para a região dos Olhos de Água em Abril de 2013.

A distribuição horizontal da temperatura reforça o que foi previamente descrito: as temperaturas mais elevadas encontram-se nas estações localizadas junto à costa (com $T \geq 15,5^\circ\text{C}$), decrescendo em direção ao largo. Em profundidade, apenas a estação 84, que está localizada sobre a Pedra dos Arrifes (um afloramento rochoso em frente aos Olhos de Água, à profundidade de 13 m) apresenta temperaturas mais elevadas visíveis até 9 m de profundidade ($15,0^\circ\text{C} \leq T \leq 15,1^\circ\text{C}$ - Figuras 3.18a-h).

Os valores mínimos da salinidade para esta campanha encontram-se junto à costa e os máximos nas estações ao largo. A variação de salinidade em profundidade mostra uma diminuição também em direção ao largo. Na estação 84 encontram-se, em profundidade, valores de salinidade mais baixos ($S \leq 36,0$ - Figuras 3.18p e q). Estas baixas salinidades associadas a temperaturas ligeiramente mais elevadas registadas para esta estação, podem ser um indício de uma descarga próxima da Pedra dos Arrifes.

Nesta campanha as maiores variações de salinidade encontradas foram de $\Delta S = -0,16$ para as estações mais próximas da costa e $\Delta S = -0,09$ nas estações ao largo.

Para uma análise conjunta de toda a região abrangida durante a campanha, construiu-se um diagrama tridimensional com todas as estações realizadas, que está representado na Figura 3.19.

Da análise conjunta da Figura 3.19 e da secção I (com 12 estações) representada na Figura 3.16, pode concluir-se que as estações localizadas junto à costa estão sobre saídas de DAS, não excluindo o contributo que as nascentes tidais podem ter nesta secção. Para além dessas, a estação 101 (ver figura 3.19) também apresenta salinidades muito baixas e, sendo assim, esta também deve estar sobre uma saída de DAS. As restantes estações das secções II e III apresentam perfis tipicamente oceânicos costeiros, com a salinidade a aumentar com a profundidade. As estações localizadas à latitude de $\approx 37^\circ 4,0' \text{ N}$, com $\Delta S = -0,09$, poderão estar sobre a influência de DAS, possivelmente localizadas mais a sul.

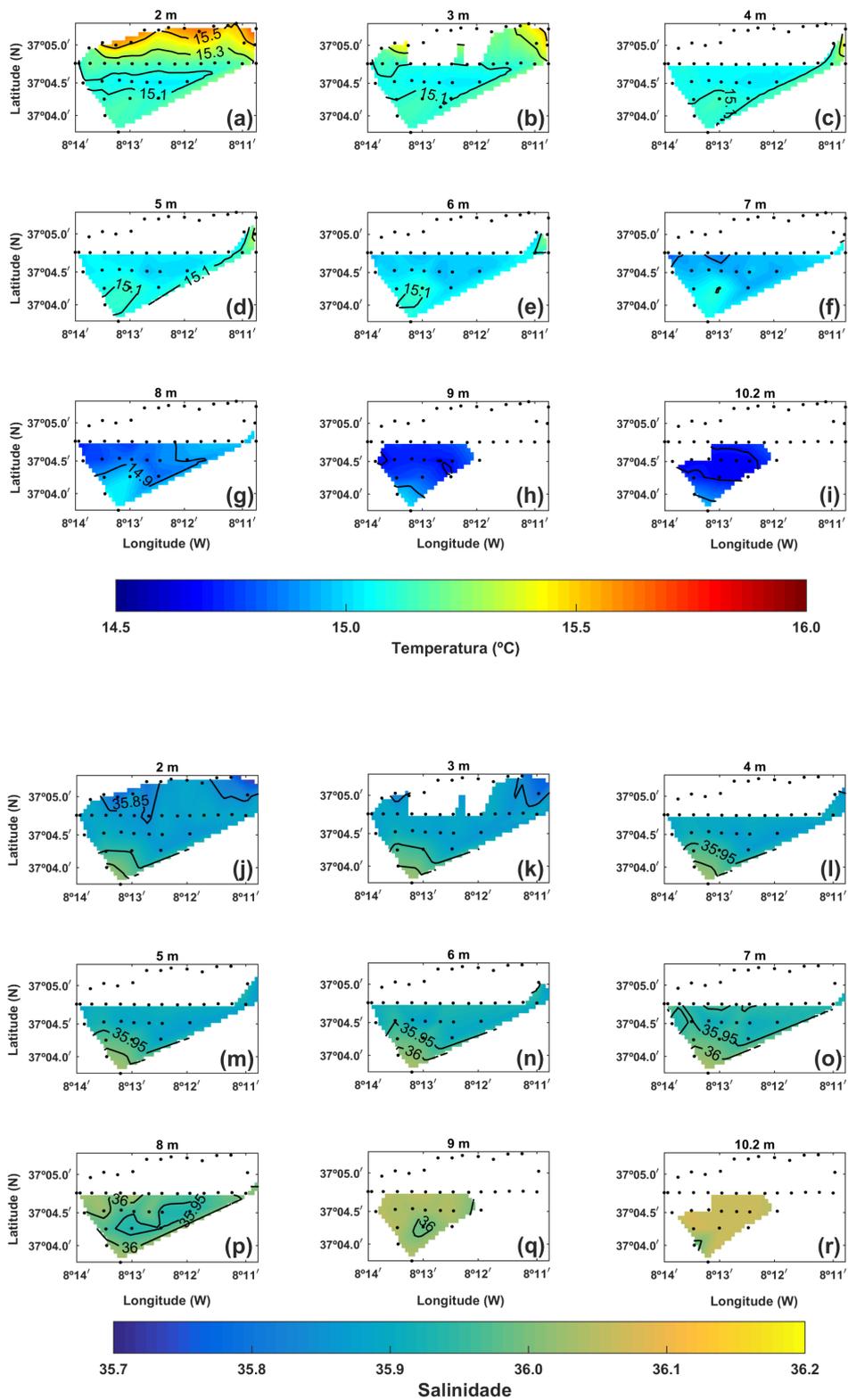


Figura 3.18: Superfícies de nível de temperatura (a-i) e de salinidade (j-r) obtidas durante a campanha Abr/2013. Os pontos representam a malha das estações e as profundidades estão devidamente identificadas. Não existe informação quando a profundidade da estação não atinge a superfície de nível considerada.

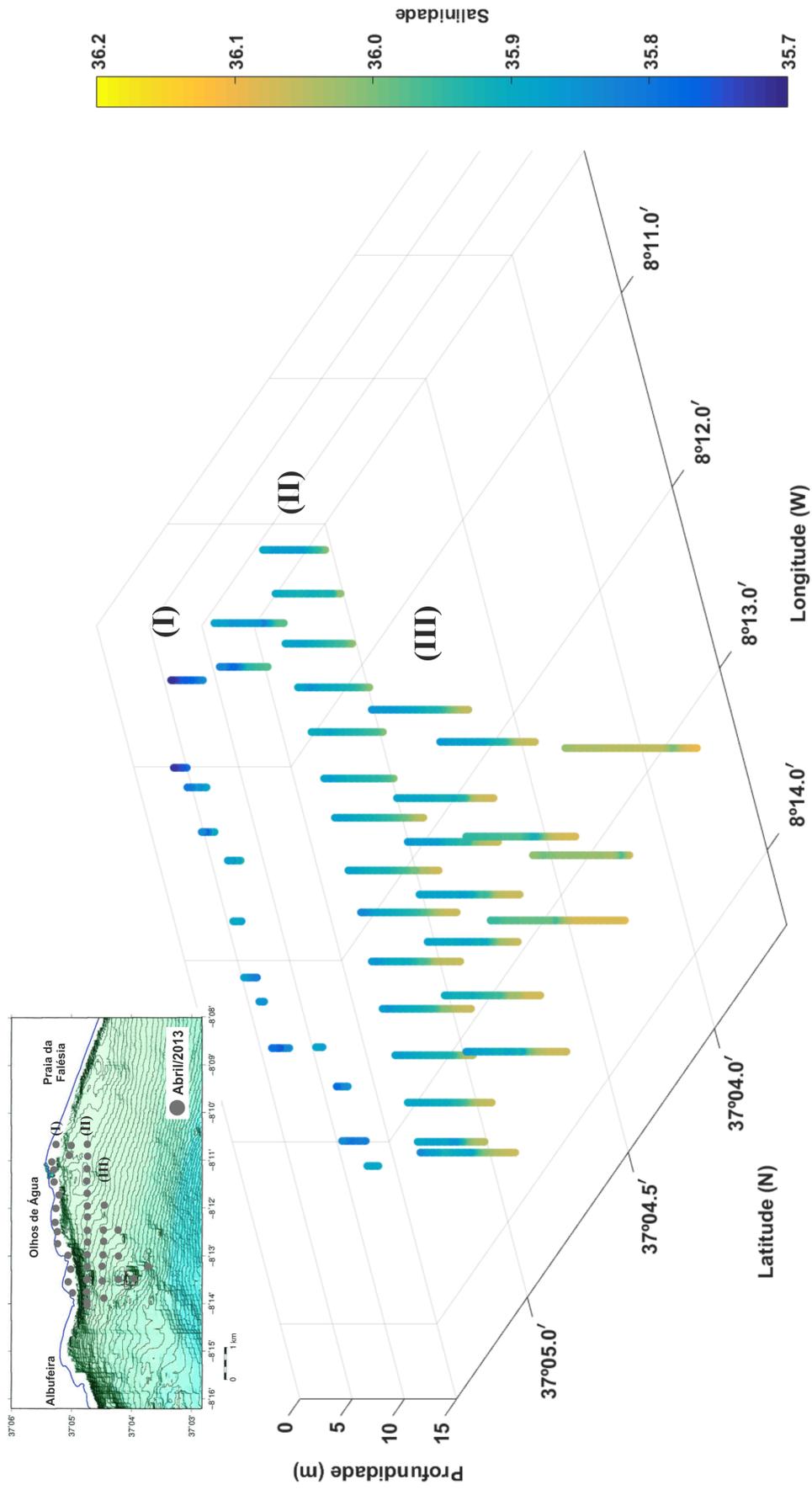


Figura 3.19: Representação da salinidade ao longo da coluna de água para as 42 estações realizadas durante a campanha Abr/2013. As secções paralelas à costa estão devidamente identificadas.

3.3.3. Novembro de 2013

Os dados hidrológicos recolhidos durante a campanha Nov/2013 permitiram identificar os diferentes tipos de estações descritos na Secção 3.1.3. Convém relembrar que esta campanha foi realizada após um ano considerado relativamente chuvoso (ver Figura 2.5), podendo induzir assim um maior número de DAS, bem como saídas com maior caudal FREEZE (2014). Verificou-se que nesta campanha ocorreram as maiores variações de temperatura, de salinidade e também de densidade. Do conjunto das secções verticais relativas a esta campanha, a secção II (com uma extensão $\approx 4,5$ km) representada na Figura 3.20 mostra um sinal na salinidade que até à data não tinha sido observado: uma estação com influência de DAS em toda a coluna de água (estação 47).

Na Figura 3.20, o fundo está representado acima da profundidade a que foram recolhidos os dados. Isto deveu-se à fase da maré no dia 12 de Novembro de 2013, durante as horas da manhã, quando decorreram estas estações. No anexo B estão descritas as variações da maré para este dia.

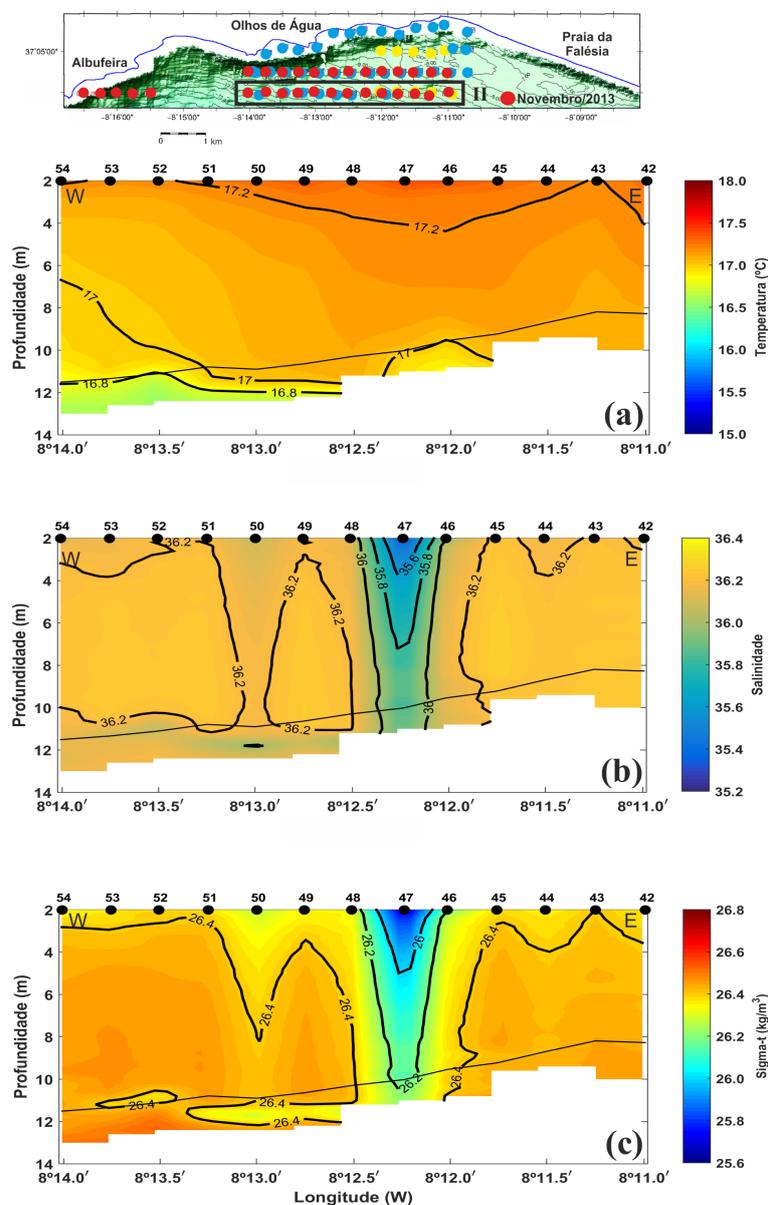


Figura 3.20: Secções verticais de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) à latitude de $37^{\circ}4'30''$ N, com uma extensão $\approx 4,5$ km. A localização da secção II encontra-se identificada na carta e as estações estão representadas a vermelho.

No campo da salinidade, a estação 47, já identificada anteriormente por apresentar salinidades muito baixas (ver Figura 3.6c - diagrama T/S conjunto para a campanha Nov/2013) tem um comportamento muito distinto das restantes estações desta secção. Nesta estação, os valores mais baixos de salinidade aparecem à superfície e toda a coluna de água tem $S \leq 36,0$ (Figura 3.20b). Isto pode indicar a existência de uma descarga em contínuo ou uma coincidência do posicionamento do CTD exatamente sobre a DAS. Nesta secção também há evidências de água mais doce junto ao fundo na estação 50, com uma possível propagação até à superfície. Estes valores anómalos da salinidade refletem-se no campo da densidade (Figura 3.20c), com água menos densa junto ao fundo e também próximo da superfície.

Por outro lado, na distribuição da temperatura os valores são mais elevados junto à superfície e diminuem com a profundidade (Figura 3.20a). Nas estações onde se observam mínimos de salinidade próximos da superfície, a temperatura é ligeiramente mais elevada ($T \geq 17,2$ °C).

Apesar de não existir uma relação evidente entre as secções de temperatura e de salinidade, há um gradiente vertical de temperatura junto ao fundo quando as variações de salinidade são mais pronunciadas (ver como exemplo a estação 50 nas Figuras 3.20a e b).

Na região dos Olhos de Água foram ainda identificadas outras duas estações com um comportamento na salinidade muito semelhante ao da estação 47: as estações 59 e 63, ambas localizadas na secção mais próxima da costa.

A Figura 3.21 mostra um exemplo de uma secção perpendicular à costa à longitude de $8^{\circ}13,8'$ W e com uma extensão de $\approx 3,3$ km; esta secção tem a particularidade de o sinal da temperatura acompanhar o sinal da salinidade. A variação latitudinal de sigma-t não é mostrada uma vez que os resultados são muito semelhantes à secção de salinidade, como tem sido observado em todas as secções anteriores.

Na distribuição vertical da temperatura (Figura 3.21a) observa-se uma diminuição gradual da temperatura com a profundidade ao longo de toda a secção meridional, com valores mais elevados nos primeiros 5 m e superiores a $17,5$ °C na estação 83 à superfície.

No campo da salinidade (Figura 3.21b) verifica-se a existência de valores mais baixos junto ao fundo nas estações 28 e 15 e a diferentes profundidades ao longo da coluna de água da estação 83. Estas baixas salinidades junto ao fundo podem indicar a presença de potenciais DAS.

As secções de T e S (Figura 3.21) mostram que nos locais onde há valores mais baixos de salinidade, junto ao fundo, existe também uma maior variação de temperatura. Esta secção vem reforçar o que foi referido anteriormente (ver Figuras 3.6a e b), onde uma diminuição acentuada da salinidade próxima do fundo, vem acompanhada por uma respetiva diminuição da temperatura. Verificou-se este mesmo comportamento em todas as secções perpendiculares à costa, indicando assim uma forte possibilidade de existência de DAS.

Uma forma de analisar a variação dos parâmetros de T e S em toda a área de estudo foi através de superfícies de nível, espaçadas de metro a metro, a partir de 2 m de profundidade, que estão representadas na Figura 3.22.

A distribuição da temperatura (Figuras 3.22a-i) mostra que para os primeiros 4 m de profundidade as temperaturas são superiores a $17,0$ °C, com uma faixa de temperatura superior a $17,5$ °C na região leste entre $37^{\circ}3,5'$ N e $37^{\circ}4,0'$ N (Figuras 3.22a-c). A partir de 8 m de profundidade, as temperaturas são mais baixas em algumas estações localizadas mais ao largo.

No campo da salinidade (Figuras 3.22j-r) existem valores anómalos que estão presentes até 10 m de profundidade (Figuras 3.22j-o). Estas salinidades inferiores a 36,0 correspondem ao mesmo tipo de estações que já foi descrito na Figura 3.20 (estação 47 - exurgência permanente). Para as profundidades de 12 e 16 m também existem valores de salinidade anómalos (tons azuis esverdeados nas Figuras 3.22p e r, com $S \leq 36,0$).

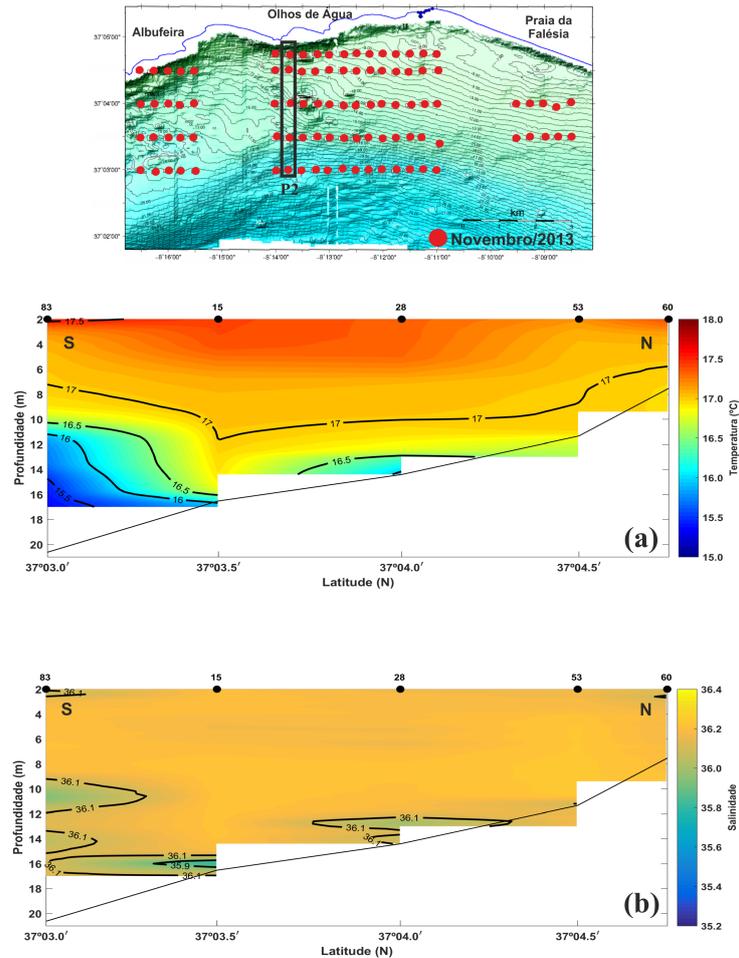


Figura 3.21: Secções de temperatura (a) e de salinidade (b) à longitude de $8^{\circ}13,8' W$, com uma extensão $\approx 3,3$ km. A localização da secção P2 encontra-se assinalada na carta.

Da análise das distribuições horizontais da temperatura e da salinidade, não é evidente existir uma relação nos primeiros metros onde existem salinidades anómalas, pois o campo da temperatura é homogéneo.

Com o objetivo de localizar todas as variações de temperatura e de salinidade e as respetivas profundidades a que ocorreram, de forma a tornar possível a localização das DAS, construiu-se um diagrama tridimensional com os perfis de temperatura (Figura 3.23a) e de salinidade (Figura 3.23b) apenas com as estações realizadas na região dos Olhos de Água.

O diagrama de salinidade da Figura 3.23b mostra que 50 das 65 estações apresentam variações de salinidade ao longo da coluna de água. No entanto, das 50 estações com comportamento distinto do oceânico costeiro (a salinidade em vez de aumentar de forma linear com a profundidade apresenta inversões), apenas 35 estações apresentam fortes variações de salinidade junto ao fundo que podem estar associadas a DAS (ver estações localizadas preferencialmente à latitude de $37^{\circ}4,0' N$ e de $37^{\circ}3,5' N$ correspondentes às secções IV e III na Figura 3.23). As profundidades a que ocorrem estas variações estão compreendidas entre 13 e 17 m. As restantes estações têm influências ao longo da coluna de água (secção V à latitude $37^{\circ}3,0' N$ na Figura 3.23b), possivelmente resultado da propagação de uma pluma de DAS.

Ainda no diagrama da salinidade, podem observar-se 3 estações com valores de salinidade muito baixos (ver est. números 47, 59 e 63 na Figura 3.23b); estas estações não apresentam variações de sa-

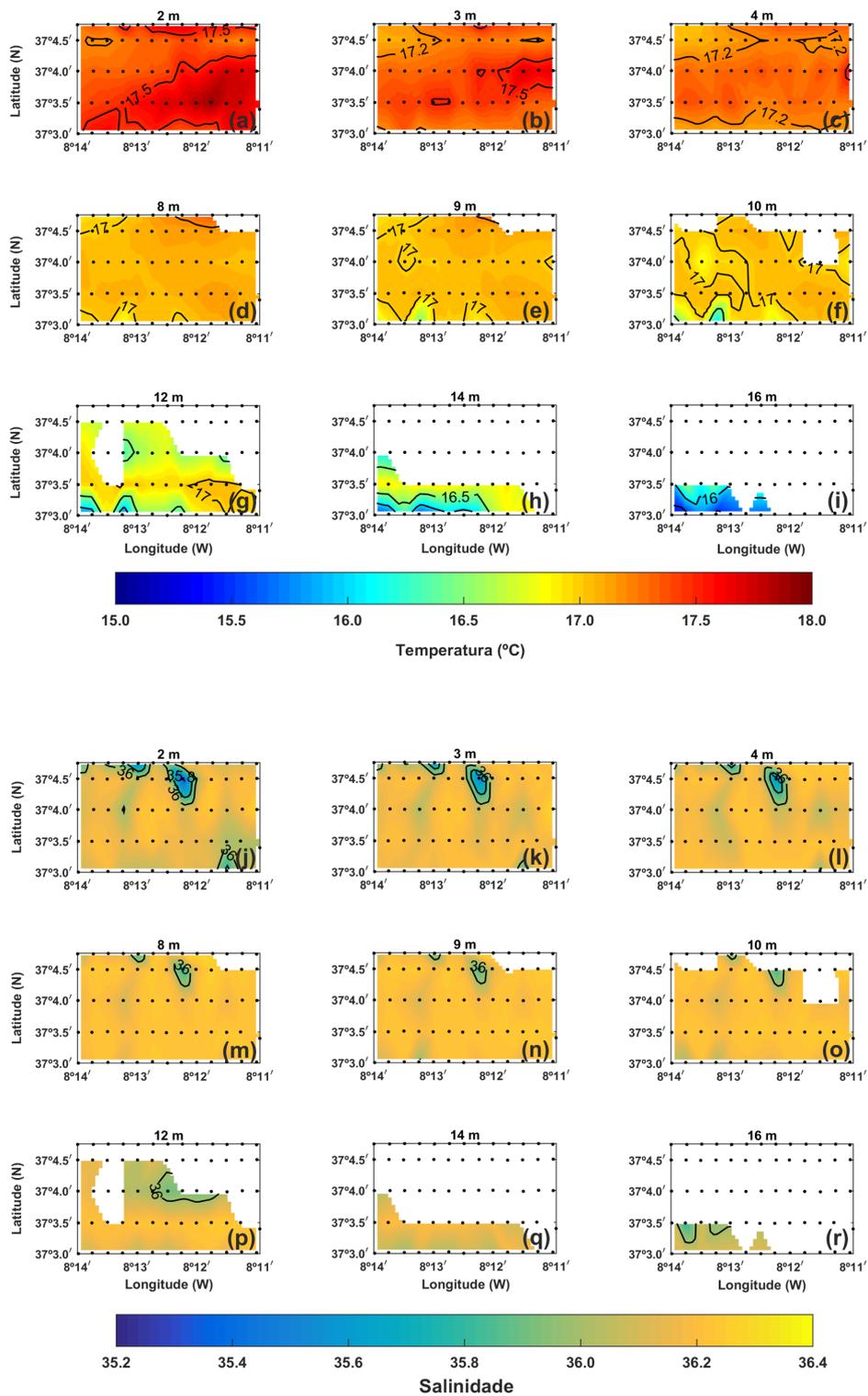


Figura 3.22: Superfícies de nível de temperatura (a-i) e de salinidade (j-r) para a campanha Nov/2013. As profundidades das superfícies de nível estão devidamente identificadas. Os pontos pretos representam a localização das estações. Os espaços em branco indicam que não existe informação para o local, uma vez que a profundidade das estações é menor do que a profundidade da superfície de nível.

linidade significativas, podendo ser facilmente confundidas com estações com comportamento oceânico costeiro (OC). As estações típicas OC encontram-se na parte leste das secções I e II.

O diagrama de temperatura (Figura 3.23a) mostra estações com características oceânicas costeiras, onde a temperatura decresce de forma linear entre a superfície e o fundo. As estações mais próximas da costa (secção I na Figura 3.23a) apresentam temperaturas mais elevadas em toda a coluna de água, enquanto que as estações mais afastadas da costa apresentam temperaturas mais baixas junto ao fundo ($T < 16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na secção V, Figura 3.23a).

A análise dos dois diagramas (Figuras 3.23a e b), mostra que os valores mais baixos de temperatura obtidos nas secções IV e V (mais afastadas da costa) estão associados às variações de salinidade, quer junto ao fundo, como é o caso da secção IV, quer ao longo da coluna de água, como acontece na secção V.

É interessante verificar que nas estações 47, 59 e 63 não existem variações significativas da temperatura que possam ser relacionadas com os baixos valores de salinidade.

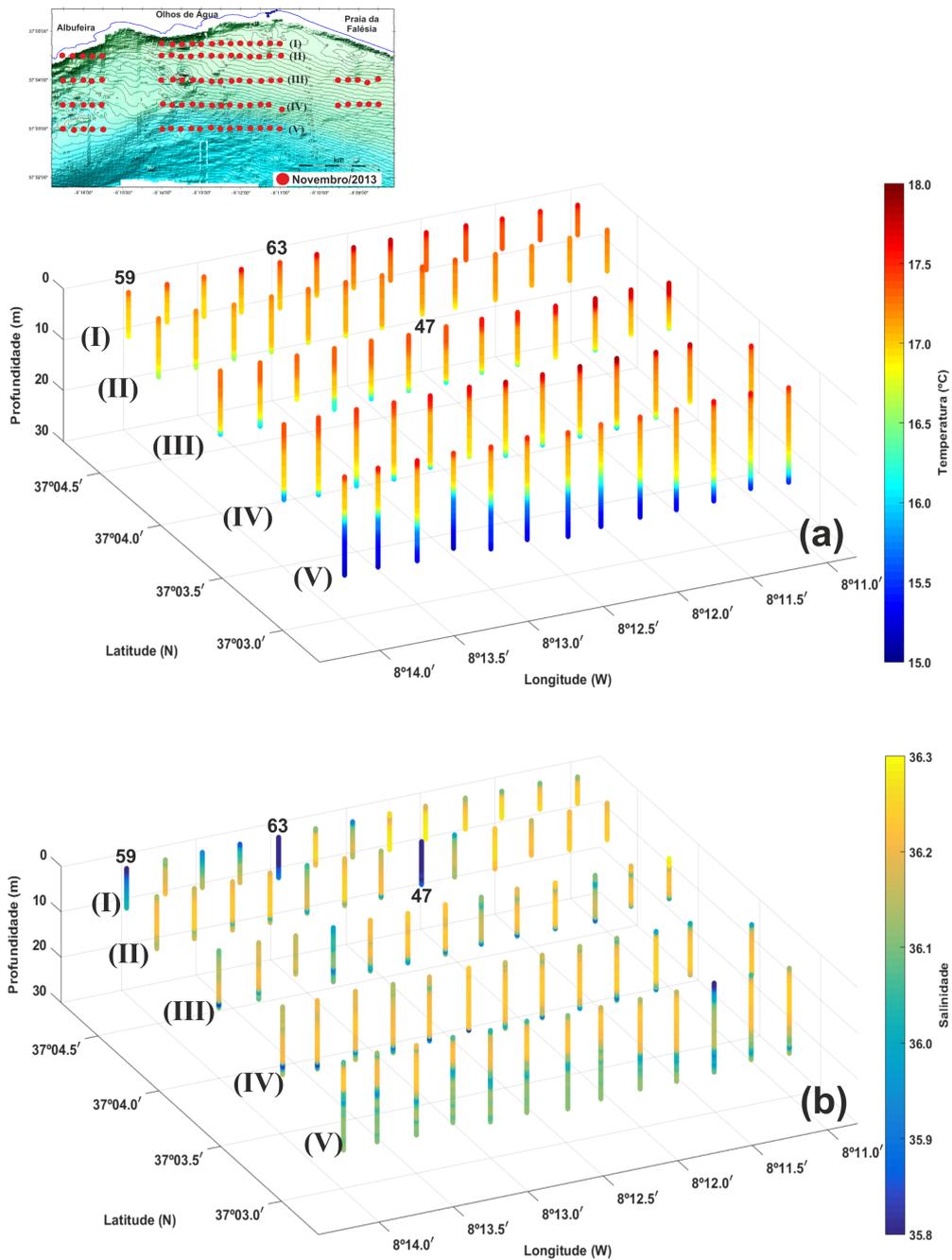


Figura 3.23: Representação da temperatura (a) e da salinidade (b) ao longo da coluna de água para as 65 estações realizadas frente à região dos Olhos de Água durante a campanha Nov/2013. A localização das secções está devidamente identificada.

3.3.4. Zonas de controlo - Albufeira e praia da Falésia

Como foi referido na Secção 3.2, nas regiões que inicialmente se consideraram de controlo, isto é, regiões com pouca probabilidade de existirem DAS, encontraram-se variações de salinidade significativas junto ao fundo (em Albufeira) e próximo da superfície (praia da Falésia). Não existindo outras origens de água doce na região em estudo para além das descargas intertidais, subtidaís e submarinas, estas variações de salinidade só podem estar associadas a DAS.

A Figura 3.24 mostra as distribuições verticais de T, S e σ_t para a secção A1 mais próxima da costa, em frente a Albufeira, com uma extensão de 1,5 km. Nesta figura é também de notar que o fundo se encontra acima dos dados que foram registados devido à fase da maré no dia 12 de Novembro de 2012, no período em que foram realizadas as estações (tabela de marés no Anexo B).

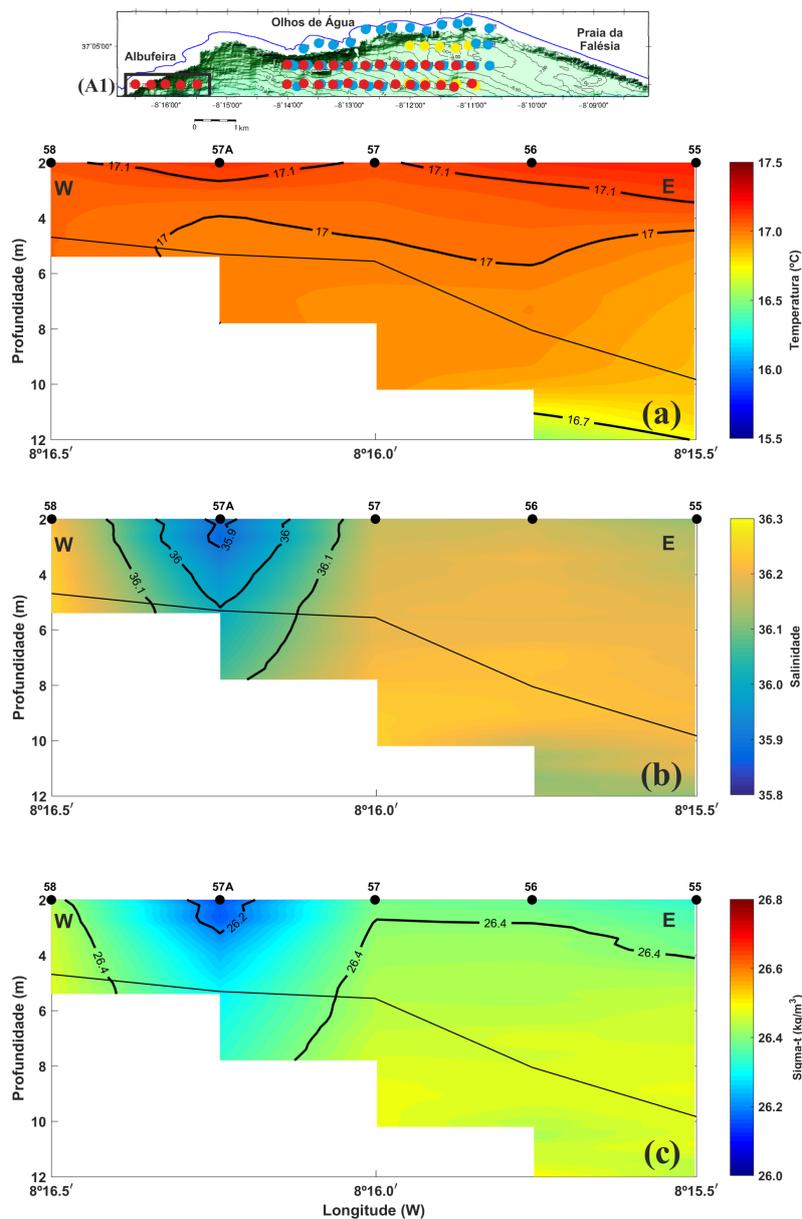


Figura 3.24: Distribuições verticais de temperatura (a), de salinidade (b) e de sigma-t (c) da secção A1 paralela à costa, localizada a 37°4,6' N, com uma extensão \approx 1,5 km. A secção está devidamente identificada na carta.

A distribuição da temperatura mostra valores mais elevados à superfície ($T \geq 17,1^\circ\text{C}$), decrescendo em profundidade (Figura 3.24a). A secção de salinidade mostra uma estação (57A) com um comportamento semelhante ao descrito na Figura 3.20: os valores de salinidade são mínimos à superfície e toda a coluna de água tem valores de salinidade mais baixos; note-se que os valores de salinidade não são tão baixos como os registados nas estações 47 ou 63 na região dos Olhos de Água (ver Figura 3.20). A distribuição da densidade é muito idêntica à da salinidade (Figura 3.24c).

As outras secções paralelas à costa mostram padrões que já foram descritos na região dos Olhos de Água: grandes variações de salinidade detetadas junto ao fundo, acompanhadas por um decréscimo mais acentuado da temperatura.

A Figura 3.25 mostra um exemplo de uma secção perpendicular à costa (secção P5), localizada a $8^\circ 15,5' \text{ W}$ e com uma extensão $\approx 2,8 \text{ km}$.

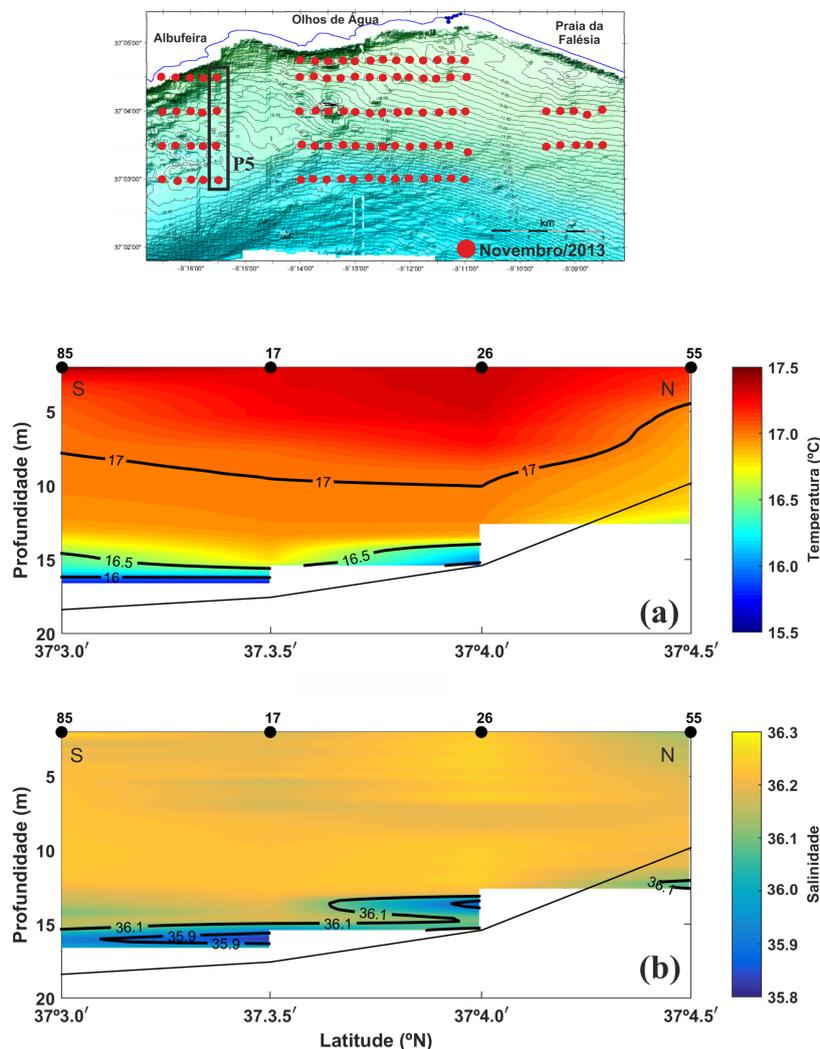


Figura 3.25: Secções de temperatura (a) e de salinidade (b) da secção perpendicular à costa, P5, localizada à longitude de $8^\circ 15,5' \text{ W}$ e com uma extensão $\approx 2,8 \text{ km}$. A secção está devidamente identificada na carta.

A distribuição da temperatura representada na Figura 3.25a mostra valores elevados à superfície ($T \approx 17,5^\circ\text{C}$) e um aumento do gradiente de temperatura junto ao fundo nas estações 26, 17 e 85. Este gradiente de temperatura aparece associado às baixas salinidades registadas junto ao fundo nestas estações (Figura 3.25b), parecendo assim indicar a presença de DAS nos locais das estações.

Na Figura 3.26 estão representadas as variações horizontais dos parâmetros T e S com um comportamento muito semelhante aos das estações da região dos Olhos de Água. Há estações com valores de salinidade anômalos tanto à superfície (estação 57A) como às profundidades onde se encontram as potenciais saídas de DAS (Figuras 3.26e e h). Relativamente à temperatura, os valores mais elevados ocorrem nos primeiros 6 m, com $T \geq 17,0^\circ\text{C}$. Para profundidades superiores a 11 m verificou-se que os padrões de temperatura e de salinidade são muito semelhantes, com maiores variações de temperatura nos locais onde ocorrem também as maiores variações de salinidade.

Deve referir-se que não se apresentam aqui as secções localizadas frente à praia da Falésia porque as variações de S mais significativas ocorrem apenas próximo da superfície. Nas secções de salinidade há evidência de uma pluma próximo da superfície, com temperaturas mais elevadas ($T \geq 17,5^\circ\text{C}$ nos primeiros 3 m), que poderia ser confirmada com recurso a imagens de satélite.

Para englobar toda a área ocupada na campanha Nov/2013, construiu-se um diagrama com os perfis de salinidade para a região de Olhos de Água e para as duas regiões de Albufeira e praia da Falésia que está representado na Figura 3.27.

Considerando as três áreas de estudo, é possível identificar 4 estações (3 nos Olhos de Água e 1 em Albufeira) que apresentam valores de salinidade muito baixos em toda a coluna de água (comparativamente com os restantes valores registados durante a campanha). Estas estações estão fortemente influenciadas por DAS, com descargas de tal modo intensas que deixa o seu registo em toda a coluna de água e onde as salinidades mais baixas são encontradas à superfície. Todas as estações descritas estão localizadas próximas da costa e identificadas pelo respetivo número na Figura 3.27.

Para além das secções III e IV dos Olhos de Água que têm salinidades mais baixas junto ao fundo, podem incluir-se as secções A2 e A3 (à mesma latitude) da região de Albufeira que também apresentam mínimos de salinidade junto ao fundo. Estas baixas salinidades junto ao fundo, contrariando o comportamento dito oceânico costeiro, vem reforçar a ideia de que existem DAS nalguns locais.

A secção mais ao largo de Albufeira (A4) juntamente com a secção V dos Olhos de Água (ambas à latitude de $37^\circ 3' \text{ N}$) mostram que as baixas salinidades não ocorrem junto ao fundo, mas sim a diferentes profundidades da coluna de água, parecendo assim indicar que se encontram provavelmente no caminho da propagação de uma pluma de descargas de águas subterrâneas.

Por fim, na região da praia da Falésia, verifica-se que em ambas as secções (F1 e F2 da Figura 3.27) se observam mínimos de salinidade à superfície, indicando aqui também que as estações se encontram na trajetória de propagação das DAS.

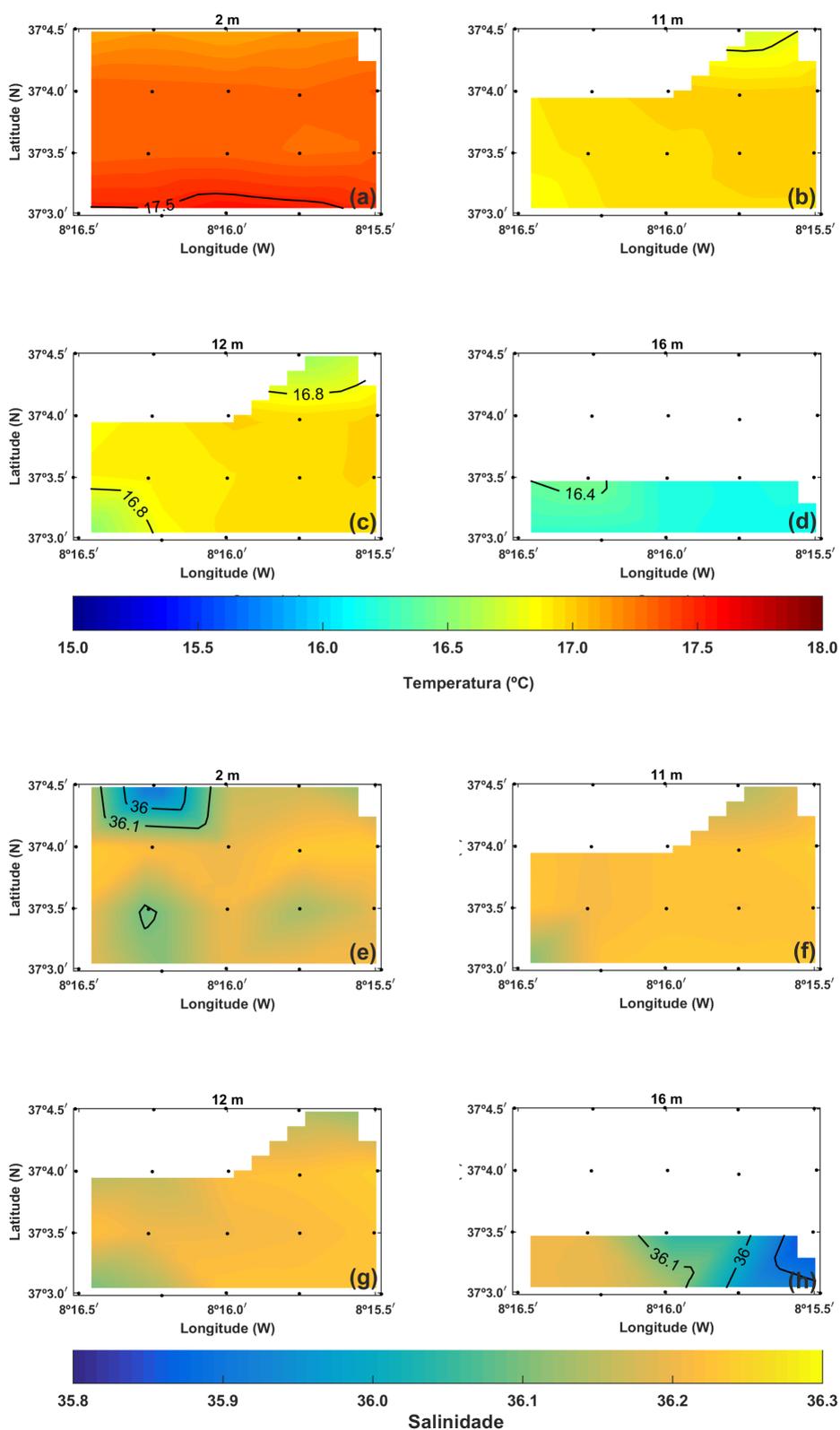


Figura 3.26: Superfícies de nível de temperatura (a-d) e de salinidade (e-h) obtidas para a região de Albufeira, durante a campanha Nov/2013. As profundidades das superfícies de nível estão devidamente identificadas. Os pontos pretos representam a localização das estações. Os espaços em branco indicam que não existe informação para o local, uma vez que a profundidade das estações é menor do que a profundidade da superfície de nível.

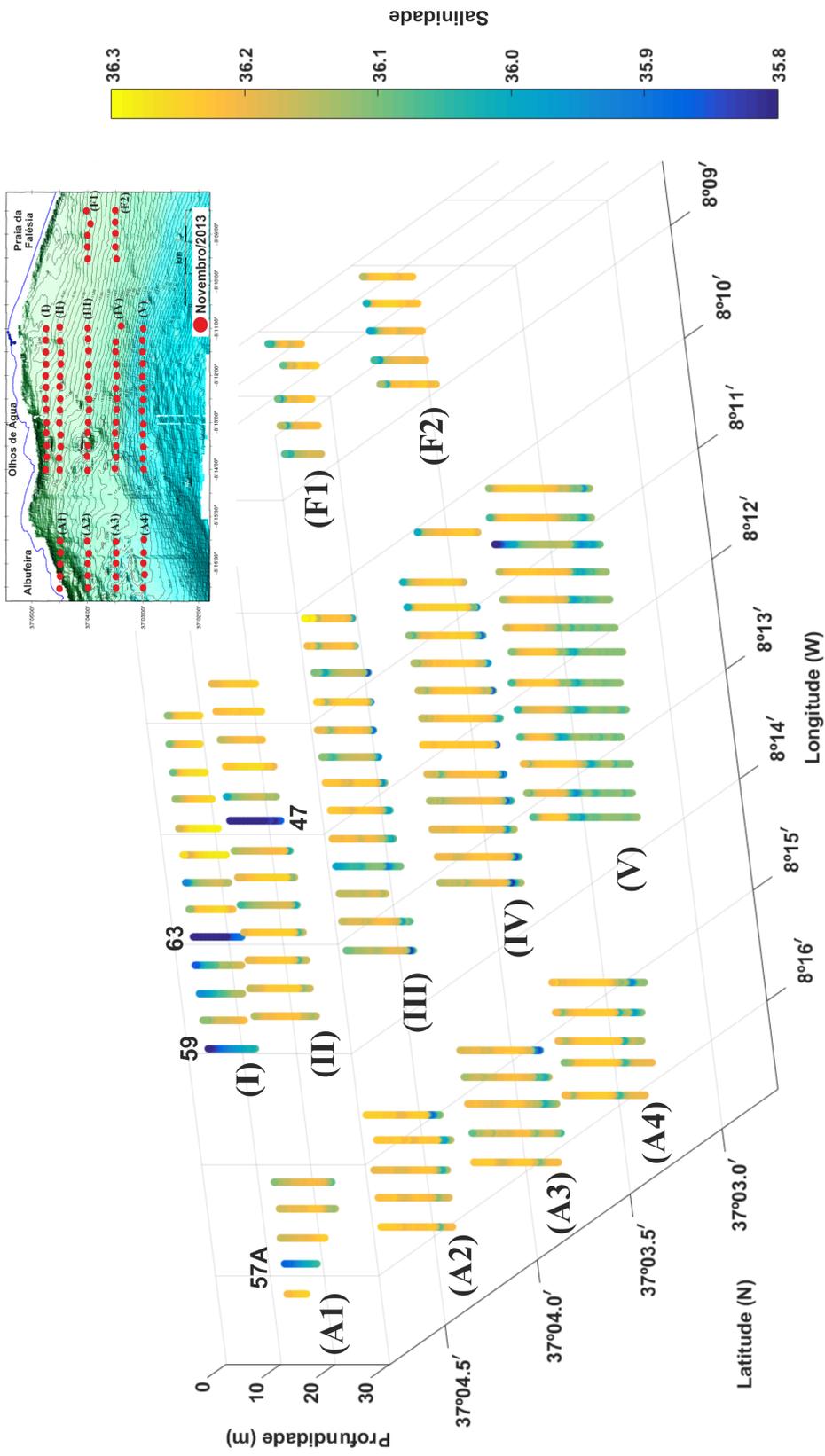


Figura 3.27: Representação dos perfis de salinidade ao longo da coluna de água de todas as estações realizadas durante a campanha de Nov/2013: 20 em frente a Albufeira, 65 ao largo dos Olhos de Água e 10 na praia da Falésia.

Capítulo 4

Discussão

A análise detalhada dos dados hidrológicos descrita no capítulo anterior levou à identificação dos locais onde ocorrem as Descargas de Águas Subterrâneas (DAS) na plataforma continental.

A localização das DAS está representada na Figura 4.1 onde se utilizaram triângulos de cores diferentes para indicar cada uma das campanhas oceanográficas. Também estão representadas na mesma figura, duas DAS submarinas localizadas a cerca de 120 m da praia dos Olhos de Água identificadas a partir de mergulho (triângulos laranja) e as descargas intertidais detetadas ao longo da linha de costa, representadas por pequenos círculos azuis escuros. Estas últimas descargas foram identificadas e localizadas através de atividades realizadas no período entre 2010 e 2012 (intertidais) e em Julho de 2013 (mergulho), no âmbito do projeto FREEZE.

Foram efetuadas medições trimestrais de temperatura e condutividade nas descargas intertidais durante os anos de 2010, 2011 e 2012. Estas descargas caracterizam-se por apresentarem uma temperatura média de 19 °C e uma condutividade entre 800 e 1200 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Fernandes *et al.*, 2015). Por outro lado, nas descargas submarinas a temperatura e a condutividade registadas através de mergulho em Julho de 2013 foram de 19,8 °C e 9000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ($S \approx 5$), respetivamente; enquanto a água do mar, no mesmo período, estava a uma temperatura de 21,8 °C, com uma condutividade de 56 000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Leitão *et al.*, 2015).

Os valores medidos pela sonda CTD revelaram-se um pouco diferentes. A salinidade mais baixa registada nas três campanhas foi de 35,2 à superfície numa estação em frente aos Olhos de Água. Esta estação foi identificada como estando influenciada com água proveniente de DAS em toda a coluna de água. Verifica-se assim uma grande diferença entre este valor de salinidade e o valor registado nas descargas submarinas. Isto poder-se-á dever ao efeito muito localizado destas descargas, que se misturam rapidamente com a água do mar (Swarzenski *et al.*, 2001; Leitão *et al.*, 2015). Convém ter em atenção dois fatores que são importantes nesta comparação: a medição de salinidade nas descargas submarinas foi registada por uma sonda mesmo à saída de uma delas e o CTD não atingiu o fundo por medidas de segurança. Um segundo fator também importante resulta do facto das sondas utilizadas nas duas medições serem diferentes, podendo existir um erro associado nestas medições.

Os dados de sísmica foram recolhidos em duas campanhas realizadas no âmbito do Projeto FREEZE: o “Freeze2010” nos dias 10 a 16 de Maio de 2010 e o “TOPOMED-FREEZE-2011”, decorreu de 4 a 15 de Abril de 2011, ambas a bordo da embarcação XUNAUTA, da SUBNAUTA S.A. (Lisboa). Na campanha Freeze2010 recolheram-se dados batimétricos e perfis de reflexão sísmica de alta resolução e na segunda campanha, recolheram-se apenas dados sísmicos. O objetivo desta campanha era completar a malha da primeira campanha, estendendo-a para a região mais ao largo, onde foi detetado o *slick* na imagem SAR (Figura 2.1). Na Figura 4.1 os triângulos pretos correspondem às DAS deteta-

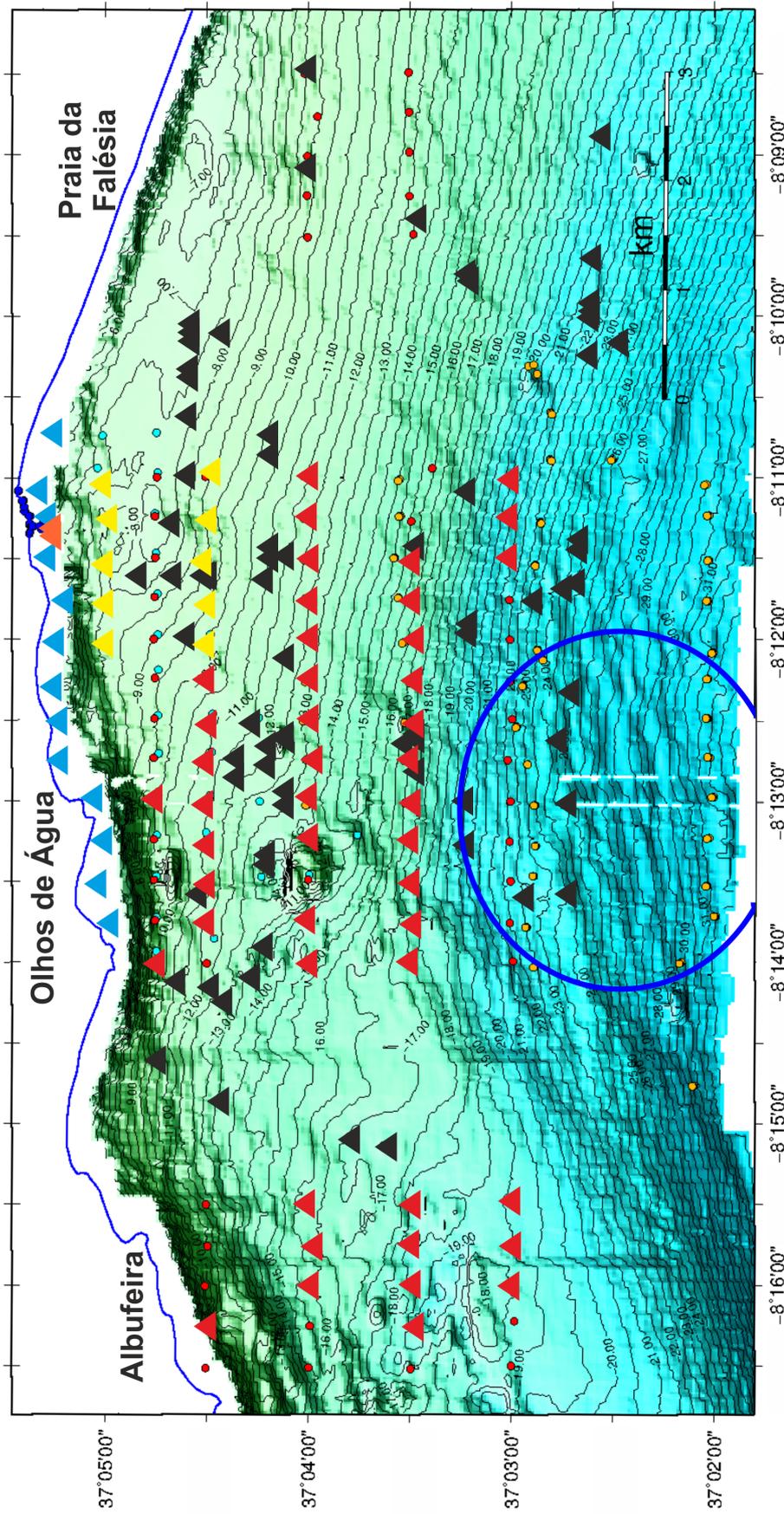


Figura 4.1: Localização das DAS detetadas nas campanhas Nov/2012 (a amarelo), Abr/2013 (a azul) e Nov/2013 (a vermelho) e através da análise dos perfis de reflexão sísmica (a preto). A laranja estão representadas 2 nascentes submarinas localizadas com mergulho (Julho/2013) e os círculos azuis escuros junto à costa correspondem às nascentes intertidais observadas na praia dos Olhos de Água durante o período 2010-2012. Representação esquemática do *slip* detetado na imagem SAR em Fevereiro de 2010.

das através da análise dos perfis sísmicos de alta resolução nas duas campanhas referidas anteriormente (FREEZE, 2014).

As duas campanhas sísmicas foram realizadas em anos considerados relativamente chuvosos (ver Figura 2.5, anos hidrológicos 2009-2010 e 2010-2011, com precipitações anuais acumuladas superiores a 800 mm).

A localização preferencial das DAS detetadas a partir da sísmica está descrita com algum detalhe em FREEZE (2014) e em Fernandes *et al.* (2015). Estas descargas encontram-se tipicamente ao longo de alinhamentos estruturais e paleolinhas de costa identificadas entre as batimétricas de 60 a 40 m e de 20 a 13 m.

As DAS identificadas a partir da análise dos dados CTD encontram-se preferencialmente entre as batimétricas de 7 e 18 m e junto à costa. Esta situação é semelhante aos resultados obtidos através dos perfis sísmicos, com as descargas a ocorrerem nos intervalos onde foram identificadas as paleolinhas de costa (FREEZE, 2014).

Na secção 3.3.3 identificaram-se algumas estações com um comportamento diferente do que inicialmente era expectável: as estações 47, 59 e 63 na região dos Olhos de Água e a 57A na região de Albufeira consideraram-se como estando sob a influência de DAS em toda a coluna de água. Pelos baixos valores de salinidade, podem tratar-se de estações que estão sobre saídas de DAS com um grande caudal, aquilo a que se chama uma exsurgência permanente. Terrinha *et al.* (2014) identificaram algumas fraturas na região ao largo de Albufeira e Olhos de Água que estão representadas na Figura 4.2.

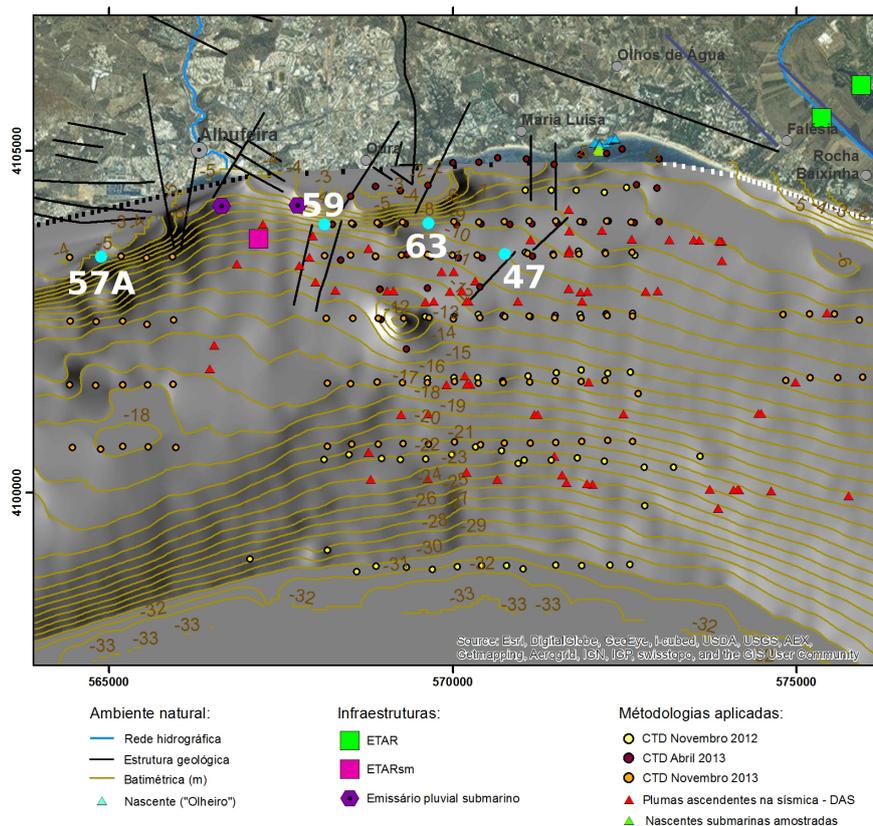


Figura 4.2: Localização de todas as estações realizadas nas 3 campanhas CTD (círculos), das DAS detetadas a partir dos perfis de reflexão sísmica (triângulos vermelhos), das principais estruturas geológicas na região de Albufeira e Olhos de Água identificados por Terrinha *et al.* (2014) e dos principais equipamentos que podem influenciar a água (os emissários pluviais submarinos e a ETAR). Os círculos azuis turquesa representam as estações com influência de DAS em toda a coluna de água. Copyright FREEZE (2014).

Na Figura 4.2 pode observar-se que as estações referidas anteriormente encontram-se no alinhamento de algumas estruturas já identificadas por Terrinha *et al.* (2014). De oeste para leste, (i) a estação 57A não está associada a nenhuma estrutura geológica local previamente identificada pela sísmica (o que não quer dizer que não possa existir e ainda não tenha sido identificada); (ii) a estação 59 encontra-se entre 2 estruturas geológicas identificadas pela sísmica, que também detetou a assinatura de 5 descargas no local; (iii) a estação 63 situa-se no prolongamento da falha da Oura e, finalmente, (iv) a estação 47 está localizada sobre a escarpa de falha, na zona de transição entre fundos de rocha e de areia. É possível que se tratem de fortes DAS controladas por estas estruturas geológicas; no entanto, não se sabe ao certo se estas controlam as saídas (Terrinha *et al.*, 2014; FREEZE, 2014). Vários outros autores também identificaram DAS associadas a diversas estruturas geológicas noutros locais do Globo (Povinec *et al.* 2006; Zektser *et al.* 2006; Cardenas *et al.* 2010; Garcia-Solsona *et al.* 2010; Mejías *et al.* 2012; Wilson & Rocha 2012).

Poder-se-ia colocar a hipótese das estações estarem sob influência de infraestruturas submersas que potencialmente afetariam a água do mar. No relatório das águas balneares para o ano 2016 (ver Anexo A) estão identificados 2 emissários pluviais submarinos e um pontop de descarga da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Estas estruturas encontram-se exatamente na região entre as 2 áreas ocupadas com estações oceanográficas (Albufeira e Olhos de Água), parecendo indicar assim não existir qualquer influência direta sobre as estações identificadas como DAS.

Como nota final, convém reforçar que a região da praia da Falésia não pode ser considerada uma região de controlo (ver Figura 4.1), pois apesar dos perfis de salinidade não mostrarem descargas junto ao fundo, a análise dos perfis sísmicos indicou a existência de DAS nessa região. Os decréscimos de salinidade próximos da superfície podem ser resultado da ascensão de plumas provenientes das DAS locais.

A Figura 4.3a mostra um exemplo do sinal obtido a partir da análise de perfis sísmicos onde são visíveis perturbações na coluna de água correspondentes às DAS (Fernandes *et al.*, 2015). Para além da linha sísmica efetuada a 3,3 km da costa, está também representada a secção de salinidade mais próxima realizada durante a campanha Nov/2013.

Na secção de salinidade da Figura 4.3b representaram-se também as DAS identificadas pela sísmica (triângulos a preto). Note-se que, junto ao fundo, os valores de salinidade são muito baixos chegando a atingir $\Delta S \geq 0,40$. Pode assim concluir-se que existe uma forte concordância entre as fontes detetadas pela sísmica e pelo CTD. Para as outras campanhas, apesar das variações de salinidade não serem tão elevadas como em Nov/2013, há uma boa correspondência entre as fontes detetadas pela sísmica e pelo CTD.

Uma outra questão que se pode levantar tem a ver com a possível recorrência do *slick* detetado na imagem SAR obtida em 9Fev2010 (ver Figura 2.1). O *slick* foi detetado numa região com profundidades entre 20 e 30 m. As estações CTD que atingiram estas profundidades foram realizadas apenas durante as campanhas Nov/2012 e Nov/2013. A Figura 4.4 mostra a secção V da campanha Nov/2013, localizada mais ao largo (≈ 2 km da costa) e que se encontra na mesma região do *slick*.

A Figura 4.4b mostra valores de salinidade mais baixos a diferentes profundidades na coluna de água (ver tons azuis esverdeados na referida figura), indicando assim influência de DAS. Como na proximidade desta secção não existe nenhum equipamento que possa provocar alterações na água, estas baixas salinidades só podem ter proveniência nas DAS. Recorrendo à informação da sísmica, os baixos valores de salinidade na coluna de água podem resultar da propagação de uma ou mais plumas de DAS, originadas pelas descargas identificadas a sul desta secção (ver Figura 4.1). Como a água proveniente das DAS é menos densa, no seu percurso em direção à costa (ondulação de sudoeste frequentemente observada no

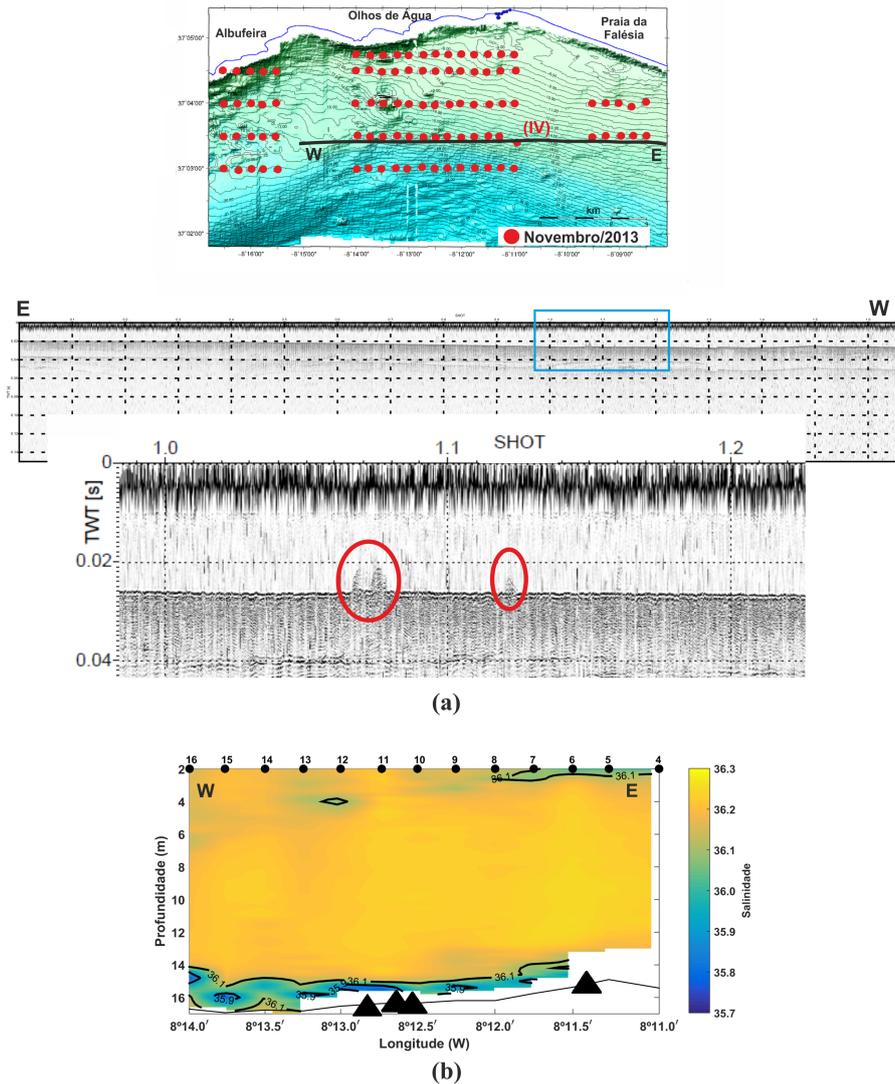


Figura 4.3: Perfil de reflexão sísmica localizado a 3,3 km da costa (perfil F 5-1504 de Fernandes *et al.*, 2015), com a identificação do sinal de DAS na coluna de água (a vermelho) (a) e secção IV de salinidade à latitude de 37°3,5' N realizada durante a campanha Nov/2013 (b). Os triângulos a preto na secção de salinidade correspondem às DAS identificadas e localizadas a partir do perfil de reflexão sísmica. A localização do perfil sísmico e da secção de salinidade encontram-se devidamente identificados.

local) tem tendência a ascender até atingir a superfície, explicando assim os decréscimos de salinidade observados a várias profundidades.

As salinidades mais baixas encontradas próximo da superfície estão localizadas na região onde foi identificado o *slick* (para uma melhor visualização, o *slick* também está identificado na Figura 4.4). Apesar do *slick* detetado na imagem de 9Fev2010 ter ocorrido durante um Inverno considerado pelo Instituto de Meteorologia (2010) como chuvoso a extremamente chuvoso e, neste estudo, os dados terem sido recolhidos num ano relativamente chuvoso (Instituto de Meteorologia, 2012), tudo parece indicar que o *slick* poderia voltar a estar presente.

A Figura 4.4a mostra temperaturas mais elevadas à superfície e um forte gradiente vertical de temperatura às profundidades correspondentes às maiores variações de salinidade (ver transição de cores laranja/azuis na Figura 4.4a). As temperaturas mais elevadas próximo da superfície ($T \geq 17,5^\circ\text{C}$, tons vermelhos na Figura 4.4a) pode ser outro indicador de água proveniente das DAS. Alguns padrões

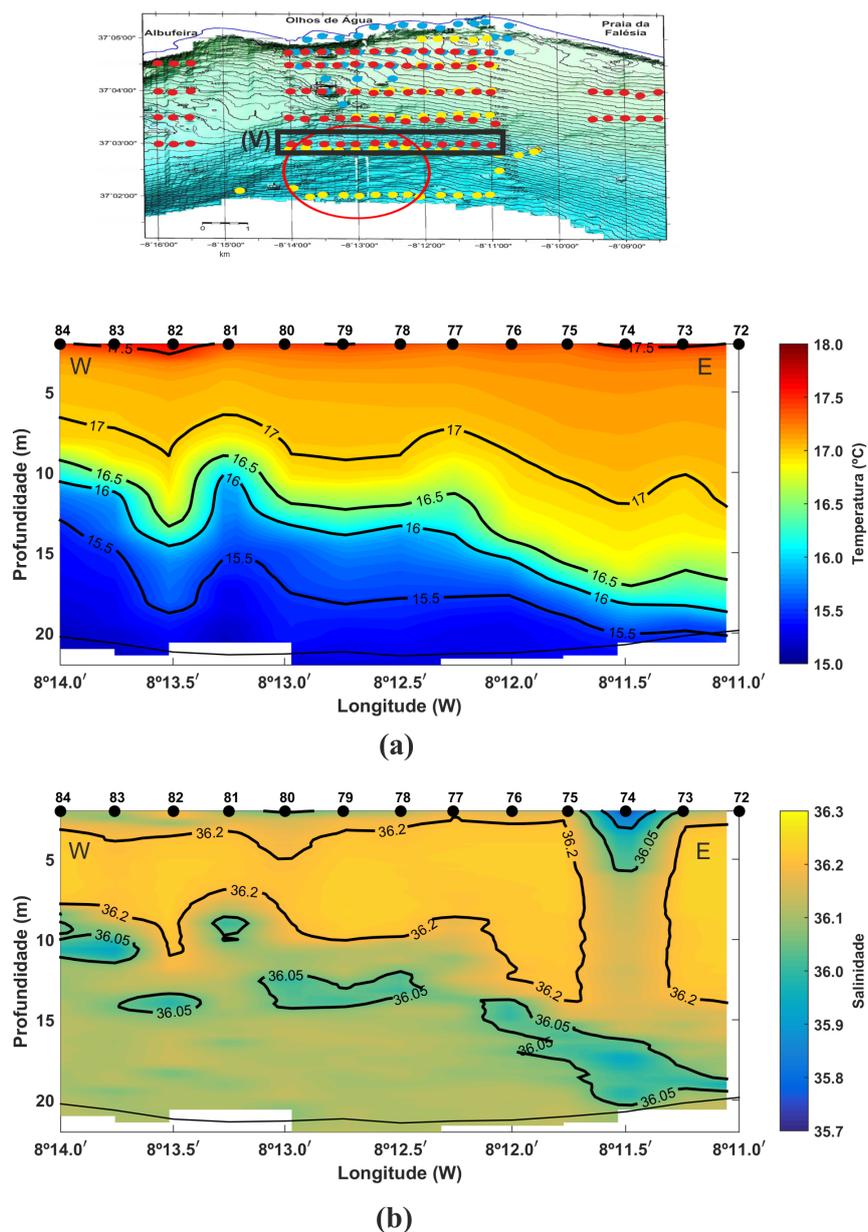


Figura 4.4: Secção V de temperatura (a) e de salinidade (b) realizada em Nov/2013. A identificação da secção bem como a representação esquemática do *slick* estão assinaladas na carta.

com temperaturas mais elevadas foram identificados em imagens obtidas com o satélite Landsat 8, com $T \approx 19,0\text{--}20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. A localização desses padrões coincidia não só com as DAS identificadas pela sísmica, como também com o próprio *slick* (FREEZE, 2014). Nas campanhas aqui descritas, estas temperaturas nunca foram registadas pelo CTD, talvez devido aos processos de mistura entre as águas que saem das DAS mais quentes e a água do mar mais fria (ou mais quente), mascarando o sinal das DAS, e aparecendo à superfície com temperaturas ligeiramente mais baixas.

As salinidades mais baixas e os valores de temperatura mais elevados registados próximo da superfície vem reforçar que o *slick* na região poderá ser um padrão recorrente. De notar ainda que o *slick* foi localizado sobre as batimétricas de 20 – 30 m, geologicamente descritas como paleolinhas de costa, locais preferenciais para as DAS (Fernandes *et al.*, 2015).

Apesar das campanhas terem sido realizadas sobre condições meteorológicas distintas, as DAS ocorreram e foram detetadas em todas elas. Como há um conjunto de estações à longitude de $8^{\circ}12,5' W$ que foi repetido durante as campanhas Nov/2012 e Nov/2013, faz-se aqui um estudo integrado na tentativa de ver se as DAS são recorrentes mesmo em anos hidrológicos considerados diferentes.

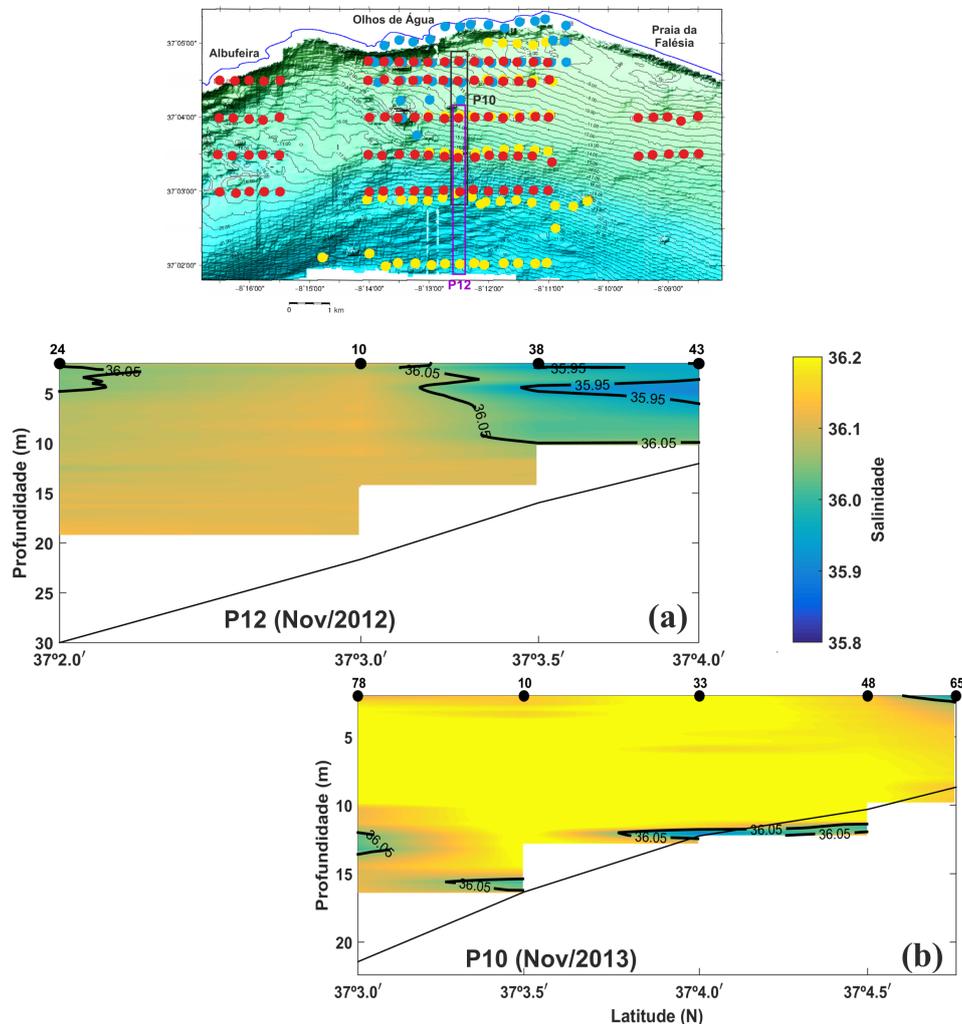


Figura 4.5: Secções de salinidade da secção P12 realizada durante a campanha Nov/2012 (a) e da secção P10 da campanha Nov/2013 (b). A localização das secções está identificada na carta (retângulo roxo - secção P12; retângulo preto - secção P10).

É interessante verificar que na estação 33 da secção P10 (Nov/2013) detetou-se uma DAS junto ao fundo (ver tons azuis na Figura 4.5b) e no ano anterior, a estação 43 da secção P12 (Nov/2012) localizada exatamente no mesmo local, tinha mostrado forte influência de águas provenientes das DAS.

Este facto pode ser um indicador de que apesar do ano hidrológico 2011-2012 ser um ano considerado seco, as descargas ocorrem igualmente, mas provavelmente com menor caudal. De lembrar que na campanha Nov/2012 ainda não se dispunha de sonda batimétrica, o que não permitiu atingir níveis mais profundos, não sendo possível detetar as descargas no fundo. Também é de notar que os valores de salinidade são muito idênticos nas duas campanhas, quer junto ao fundo (Nov/2013) quer ao longo da coluna de água (Nov/2012).

Capítulo 5

Conclusões

A análise dos dados de CTD obtidos durante as campanhas oceanográficas realizadas em Novembro de 2012, Abril de 2013 e Novembro de 2013 permitiu identificar locais onde ocorrem Descargas de Águas Subterrâneas (DAS), na plataforma continental dos Olhos de Água, no Algarve.

Os locais identificados como saídas de DAS caracterizam-se, do ponto de vista hidrológico, por apresentarem valores de salinidade mais baixos do que as águas oceânicas costeiras circundantes.

O estudo dos parâmetros hidrológicos obtidos nas 196 estações realizadas permitiu identificar comportamentos bem distintos: (i) estações onde foram detetadas as descargas junto ao fundo, classificadas como DAS; (ii) estações com um forte sinal de DAS em toda a coluna de água, podendo estar associadas a estruturas/falhas geológicas; (iii) estações onde o sinal das descargas está presente ao longo da coluna de água ou mesmo à superfície, indicando que se encontram na trajetória de potenciais plumas e, finalmente, (iv) estações com características oceânicas costeiras, com a temperatura a decrescer em profundidade e a salinidade a aumentar.

O sinal das DAS é mais evidente no campo da salinidade do que no da temperatura. Apesar da temperatura, como parâmetro isolado, não permitir detetar as DAS ou influências delas, associado à salinidade e à densidade, e respetivas variações, ajudou e reforçou a identificação de DAS junto ao fundo. Contudo, convém referir que o parâmetro temperatura não mostrou um comportamento consistente sempre que se detetaram DAS durante as três campanhas analisadas.

Das 3 campanhas analisadas, o sinal das descargas foi mais evidente na última campanha (Nov/2013), que decorreu após um ano relativamente chuvoso. Apesar do sinal das DAS não ser tão claro e evidente num ano considerado seco (2011-2012), detetaram-se influências das DAS na coluna de água em locais identificados como nascentes. Este facto parece indicar que as DAS são permanentes, com caudais mais fortes nos anos chuvosos e com caudais mais reduzidos (ou com carácter pulsatório) em anos considerados secos, o que valida o facto das nascentes tidais e das descargas a cotas superiores nunca terem secado durante o período analisado.

A multidisciplinaridade do projeto FREEZE tornou possível, recorrendo a um conjunto de diferentes metodologias (CTD e perfis de reflexão sísmica), detetar e complementar informação acerca da localização das DAS na região dos Olhos de Água. Verificou-se existir uma boa concordância entre os dois métodos apesar de terem sido utilizados em anos diferentes: os perfis de reflexão sísmica foram realizados nos anos 2010 e 2011 e as campanhas de CTD em 2012 e 2013. Este facto vem reforçar que as DAS são recorrentes nos mesmos locais com diferentes condições meteorológicas e, muito provavelmente, com caudais bem distintos.

As DAS identificadas com os dados CTD e com os perfis de reflexão sísmica de alta resolução ocorrem a profundidades preferenciais (entre 7 e 26 m e também junto à costa), estando associadas a paleolinhas de costa, alinhamentos estruturais e falhas geológicas.

Os dados hidrológicos e sísmicos mostraram que nas duas regiões de controlo consideradas inicialmente (Albufeira e praia da Falésia), também são zonas onde ocorrem DAS, logo a escolha destas regiões não foi bem feita.

O *slick* detetado na imagem SAR frente à região dos Olhos de Água pode ter resultado da ascensão à superfície de água proveniente de um conjunto de DAS que ocorreram na região. Apesar desse *slick* ter sido detetado após um Inverno especialmente chuvoso, parece ser possível a recorrência do *slick* noutros anos também considerados chuvosos. No entanto, teria de ser fundamentado recorrendo a outras imagens SAR e Landsa.

O número de descargas na plataforma continental do Algarve poderá eventualmente ser maior do que o esperado, provocando um maior impacto nas características físico-químicas da água e, consequentemente, nas comunidades bentónicas.

Por último, convém realçar que este conjunto de dados hidrológicos constitui uma base de dados única, pois é a primeira vez se realizaram medições de CTD na plataforma continental do Algarve, numa zona tão próxima da costa.

Para estudos futuros nesta região ou noutras zonas onde possam ocorrer DAS, recomenda-se uma monitorização regular da zona em questão, cobrindo as diferentes estações do ano e anos hidrológicos distintos. Seria interessante compreender como é que a maré e a ondulação podem influenciar o sinal das DAS e tentar determinar a trajetória das plumas de DAS, sendo essencial a medição das correntes na região.

Bibliografia

- Agência Portuguesa do Ambiente - Administração Região Hidrográfica Algarve I.P. Perfil da Água Balnear Costeira - Pescadores. 2016.
- Braun, D. St. Johns County Manatee Protection Plan: A description of the historic and current presence, abundance and protection of West Indian Manatees and a plan to promote their continued existence in St. Johns County, Florida, Setembro 2005.
- Burnett, W., Taniguchi, M., & Oberdorfer, J. Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone. *Journal of Sea Research*, 46(2):109–116, 2001. doi: 10.1016/S1385-1101(01)00075-2.
- Burnett, W., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W., & Taniguchi, M. Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*, 66(1-2):3–33, 2003. doi: 10.1023/B: BIOG.0000006066.21240.53.
- Burnett, W., Aggarwal, P., Aureli, A., Bokuniewicz, H., Cable, J. E., Charette, M., Kontar, E., Krupa, S., Kulkarni, K., Loveless, A., Moore, W., Oberdorfer, J., Oliveira, J., Ozyurt, N., Povinec, P., Privitera, A., Rajar, R., Ramessur, R., Scholten, J., Stieglitz, T., Taniguchi, M., & Turner, J. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods. *Science of the total Environment*, 367(2):498–543, 2006. doi: 10.1016/j.scitotenv.2006.05.009.
- Cardenas, M., Zamora, P., Siringan, F., Lopus, M., Rodolfo, R., Jacinto, G., Diego-McGlone, M., Villanoy, C., Cabrera, O., & Senal, M. Linking regional sources and pathways for submarine groundwater discharge at a reef by electrical resistivity tomography, ^{222}Rn , and salinity measurements. *Geophysical Research Letters*, 37(16), 2010. doi: 10.1029/2010GL044066.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2), 2007. doi: 10.1029/2005RG000183.
- Fernandes, J., Carrara, G., Terrinha, P., Sousa, F., Leitão, F., Loureiro, M., Roque, C., Noiva, J., Boutov, D., Range, P., Dill, A., & Almeida, C. Descargas do Sistema Aquífero Albufeira-Ribeira de Quarteira em Meio Marinho - Métodos e Cartografia. *10.º Seminário sobre Águas Subterrâneas, Évora, 9 e 10 de Abril de 2015, Universidade de Évora*, 41–44, 2015.
- FREEZE. Submarine FRESHwater discharges: characteriZation and Evaluation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem (PTDC/MAR/102030/2008). 2010-2013: Activity Report. Elaborado por LNEG, IPMA, UALG, FCUL e IST, 2014.

- Garcia-Solsona, E., Garcia-Orellana, J., Masqué, P., Rodellas, V., Mejías, M., Ballesteros, B., & Domínguez, J. Groundwater and nutrient discharge through karstic coastal springs (Castelló, Spain). *Biogeosciences*, 7(9):2625–2638, 2010. doi: 10.5194/bg-7-2625-2010.
- Hugman, R., Monteiro, J., & Stigter, T. Extensão *Offshore* da Descarga de Água Doce Submarina do Sistema Aquífero Albufeira-Ribeira de Quarteira (M6). *Proceedings do 10º Seminário de Água Subterrânea, Évora, 9 e 10 de Abril, 2015*.
- Instituto de Meteorologia. Boletim Climatológico Sazonal - Inverno 2009/2010, pp.14, 2010. URL http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20100312/caKmcufSGSooyIwPITXR/cli_20091201_20100228_pcl.sz.co.pt.pdf.
- Instituto de Meteorologia. Boletim Climatológico Sazonal - Inverno 2011/12, pp. 13, 2012. URL http://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20140428/UkRIASPTBnMnrQcOnSLP/cli_20120101_20120229_pcl.sz.co.pt.pdf.
- Instituto Hidrográfico. Previsão de Marés, Portugal, 2012. URL <http://www.hidrografico.pt/previsao-mares.php>.
- Instituto Hidrográfico. Previsão de Marés, Portugal, 2013. URL <http://www.hidrografico.pt/previsao-mares.php>.
- Leitão, F., Encarnação, J., Range, P., Schmelz, R., Teodósio, M., & Chícharo, L. Submarine groundwater discharges create unique benthic communities in a coastal sandy marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 163:93–98, 2015. doi: 10.1016/j.ecss.2015.06.007.
- McCoy, C. & Corbett, D. Review of submarine groundwater discharge (SGD) in coastal zones of the Southeast and Gulf Coast regions of the United States with management implications. *Journal of environmental management*, 90(1):644–651, 2009. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.03.002.
- Mejías, M., Ballesteros, B., Antón-Pacheco, C., Domínguez, J., Garcia-Orellana, J., Garcia-Solsona, E., & Masqué, P. Methodological study of submarine groundwater discharge from a karstic aquifer in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Hydrology*, 464-465:27–40, 2012. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.020.
- Moore, W. S. The effect of submarine groundwater discharge on the ocean. *Annual review of marine science*, 2:59–88, 2010. doi: 10.1146/annurev-marine-120308-081019.
- Olesnavage, K. The Design and Testing of a Procedure to Locate Fresh Submarine Groundwater Discharge in Cyprus. Bachelor of Science in Mechanical Engineering at the Massachusetts Institute of Technology. Novembro, 2012.
- Post, V., Groen, J., Kooi, H., Person, M., Ge, S., & Edmunds, W. Offshore fresh groundwater reserves as a global phenomenon. *Nature*, 504(7478):71–78, 2013. doi: 10.1038/nature12858.
- Povinec, P., Aggarwal, P., Aureli, A., Burnett, W., Kontar, E., Kulkarni, K., Moore, W., Rajar, R., Taniguchi, M., Comanducci, J.-F., Cusimano, G., Dulaiova, H., Gatto, L., Groening, M., Hauser, S., Levy-Palomo, I., Oregioni, B., Ozorovich, Y., Privitera, A., & Schiavo, M. Characterisation of submarine groundwater discharge offshore south-eastern Sicily. *Journal of Environmental Radioactivity*, 89(1):81–101, 2006. doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.03.008.

- Saito, M., Guo, X., Onodera, S.-i., Shimizu, Y., Kato, Y., Tokumasu, M., & Takeoka, H. Spatial Variation of Submarine Groundwater Discharge (SGD) in the Central Part of Seto Inland Sea, Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry—Marine Environmental Modeling & Analysis*, 117–123, 2011.
- Schubert, M., Scholten, J., Schmidt, A., Comanducci, J., Pham, M., Mallast, U., & Knoeller, K. Submarine Groundwater Discharge at a Single Spot Location: Evaluation of Different Detection Approaches. *Water*, 6(3):584–601, 2014. doi: 10.3390/w6030584.
- Sousa, F. M., Carrara, G., Fernandes, J., Boutov, D., Loureiro, M., Leitão, F., Range, P., & Machado, A. Descargas de Águas Subterrâneas na região dos Olhos de Água, Algarve - alguns resultados das campanhas CTD. *Proceedings da 8ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica*, 503–507, 2014. ISBN: 978-989-98836-0-4.
- Sutcliffe, A., Catalão, J., & Brito, A. Observação da Terra: uso de imagens SAR para a monitorização de águas costeiras e oceânicas. *DGRM*, Lisboa, Portugal., 2016.
- Swarzenski, P., Reich, C., Spechler, R., Kindinger, J., & Moore, W. Using multiple geochemical tracers to characterize the hydrogeology of the submarine spring off Crescent Beach, Florida. *Chemical Geology*, 179(1):187–202, 2001. doi: 10.1016/S0009-2541(01)00322-9.
- Teixeira, S. Identificação e caracterização de arribas Holocénicas submersas ao largo do Algarve (Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, 84(1), 1998.
- Teixeira, S. & Macedo, F. Prospeção de manchas de empréstimo ao largo de Albufeira (Algarve). *Direcção Regional do Ambiente e do Ordenamento do Território do Algarve, Faro, 59p.(unpublished report)*, 2001.
- Terrinha, P., Noiva, J., Carrara, G., Fernandes, J., Roque, C., & Pinheiro, L. Neogene and Quaternary seismostratigraphy and tectonics offshore Albufeira and Quarteira: implications on the paleogeography and submarine freshwater discharges. In *Comunicações Geológicas*, editor, *IX Congresso Nacional de Geologia (IX CNG), Porto, Portugal*, volume 101, Especial II, 725–728, 2014.
- UNESCO. Background papers and supporting data on the practical salinity scale 1978-unesco. *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, 37(7), 1981.
- UNESCO. Submarine Groundwater Discharge. management implications, measurements, and effects. *International Hydrological Program (IHP), IHP-Vi, Series on Groundwater*, 44, 2004. ISBN 92-9220-006-2.
- Wessel, P. & Smith, W. H. A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline. *J. geophys. Res.*, 101:8741–8743, 1996. doi: 10.1029/96JB00104.
- Wilson, J. & Rocha, C. Regional scale assessment of Submarine Groundwater Discharge in Ireland combining medium resolution satellite imagery and geochemical tracing techniques. *Remote Sensing of Environment*, 119:21–34, 2012. doi: 10.1016/j.rse.2011.11.018.
- Zektser, I., Everett, L., & Dzhamalov, R. *Submarine groundwater*. CRC Press, 2006. ISBN-13: 978-0-8493-3576-1.

Anexo A: Localização dos equipamentos e atividades económicas com potencial influência na água balnear



Figura A. 1: Localização dos principais equipamentos e atividades económicas com potencial influência na água balnear para a praia dos Pescadores (de ARH, 2016).

Anexo B: Tabelas de Marés

Tabela B.1: Tabela de marés para os dias 5-7 de Novembro de 2012 (de Instituto Hidrográfico, 2012).

Dia	Hora de Inverno (UTC)	Altura (m)	
2012-11-05	18:25	2,56	Preia-mar
2012-11-06	00:09	1,38	Baixa-mar
2012-11-06	06:53	2,69	Preia-mar
2012-11-06	13:04	1,36	Baixa-mar
2012-11-06	19:35	2,49	Preia-mar
2012-11-07	01:20	1,48	Baixa-mar

Tabela B.2: Tabela de marés para os dias 8-10 de Abril de 2013 (de Instituto Hidrográfico, 2013).

Dia	Hora de Verão (UTC + 1)	Altura (m)	
2013-04-08	20:17	0,68	Baixa-mar
2013-04-09	02:40	3,37	Preia-mar
2013-04-09	08:40	0,60	Baixa-mar
2013-04-09	14:59	3,31	Preia-mar
2013-04-09	20:55	0,59	Baixa-mar
2013-04-10	03:19	3,38	Preia-mar

Tabela B.3: Tabela de marés para os dias 10-13 de Novembro de 2013 (de Instituto Hidrográfico, 2013).

Dia	Hora de Inverno (UTC)	Altura (m)	
2013-11-10	20:31	2,75	Preia-mar
2013-11-11	02:22	1,26	Baixa-mar
2013-11-11	09:01	2,94	Preia-mar
2013-11-11	15:20	1,10	Baixa-mar
2013-11-11	21:47	2,77	Preia-mar
2013-11-12	03:47	1,22	Baixa-mar
2013-11-12	10:13	2,98	Preia-mar
2013-11-12	16:31	1,03	Baixa-mar
2013-11-12	22:53	2,88	Preia-mar
2013-11-13	04:54	1,09	Baixa-mar

Anexo C: Resumo da Comunicação Oral apresentada na APOCEAN2016

Encontro de Oceanografia 2016



DESCARGAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NOS OLHOS DE ÁGUA (ALGARVE) – RESULTADOS DAS CAMPANHAS CTD

Frazão H¹, Sousa FM^{2,3} e Equipa do Projeto FREEZE

¹ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), Campo Grande, Lisboa

² Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia (DEGGE/FCUL), Campo Grande, Lisboa.

³ MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, FCUL, Campo Grande, Lisboa.

hcvfrazao@gmail.com

Este trabalho de investigação foi realizado no âmbito do Projeto de I&D “FREEZE – Submarine FREshwater dischargEs: characteriZation and Evalutation study on their impact on the Algarve coastal ecosystem” que teve como objetivo principal o estudo das descargas de águas subterrâneas (DAS) na plataforma continental do Algarve, nos Olhos de Água, região caracterizada pela existência de nascentes de água doce na praia e também no mar.

Realizaram-se 3 campanhas oceanográficas com uma malha de estações relativamente densa em Novembro de 2012 (59 estações), Abril de 2013 (42 estações) e Novembro de 2013 (65 estações). Na totalidade, completaram-se 166 estações CTD, com profundidades compreendidas entre 2 e 30 m. Face às reduzidas dimensões da embarcação utilizada nas campanhas, a área de estudo ficou restringida à distância máxima de 3 milhas náuticas (≈ 5,6 km) da costa.

Os perfis de temperatura, de salinidade e de sigma-t, e os diagramas T/S de cada uma das estações permitiram identificar 3 assinaturas distintas: as estações oceânicas costeiras, as estações com influência de DAS encontradas a diferentes profundidades e as estações em que o sinal das DAS está presente na totalidade da coluna de água.

As maiores variações de salinidade e de temperatura encontradas nos perfis ocorreram durante a campanha realizada em Novembro de 2013, indicando maiores descargas de águas subterrâneas, o que está de acordo com um ano hidrológico relativamente chuvoso como foi o de 2012-13.

A análise conjunta das secções paralelas e perpendiculares à costa e das distribuições em superfícies tornaram possível a identificação/localização de algumas saídas de DAS a profundidades que poderão corresponder a antigas linhas de costa.

apocean

Associação Portuguesa de Oceanografia