

Universidade de Aveiro
2020

DIANA ISABEL
MENDES AZEVEDO

ESTUDO HIDROGRÁFICO DO ESTUÁRIO DO LIMA



Universidade de Aveiro
2020

DIANA ISABEL
MENDES AZEVEDO

ESTUDO HIDROGRÁFICO DO ESTUÁRIO DO LIMA

Trabalho realizado no âmbito do projeto da licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica realizado sob a orientação científica do Professor Doutor João Miguel Dias, do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, e do Doutor Renato Mendes, investigador de pós-doutoramento do CIIMAR da Universidade do Porto e do CESAM da Universidade de Aveiro.

Agradecimentos

Gostava de fazer um agradecimento especial a todos os que me ajudaram, participaram e tornaram este trabalho possível.

Agradeço aos meus orientadores, Professor Doutor João Miguel Dias pela supervisão e cuidado rigoroso com que analisou este trabalho para que ficasse na sua melhor forma; e ao Doutor Renato Mendes por acreditar e impulsionar este trabalho, ajudando-me a torná-lo possível, e mostrando-se sempre disponível para me auxiliar em todas as questões logísticas que as saídas hidrográficas envolviam e todo o trabalho de análise realizado.

Um especial agradecimento pelo apoio da câmara de Viana do Castelo, que através do Exmo. Vereador Ricardo J. Carvalhido, proporcionou a realização das 4 campanhas hidrográficas realizadas ao longo do estuário do Lima.

Um obrigado ao nosso piloto Ricardo Santos, membro da Coordenada Decimal que sempre nos acompanhou e nos brindou com a sua boa disposição.

Obrigado a todas as entidades envolvidas nas campanhas hidrográficas: à Capitania de Viana do Castelo e Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL) pela rápida resposta nas autorizações de saída; à Coordenada Decimal - Associação de Nadadores Salvadores de Viana do Castelo e ao Clube de Vela de Viana do Castelo por providenciarem as embarcações.

Um grande obrigado também a todas as pessoas membros do Departamento de Física da Universidade de Aveiro que me ajudaram na programação dos equipamentos, na sua preparação, e a todos que se deslocaram a Viana do Castelo para me acompanhar nas saídas: Professor Nuno Vaz, e Investigadores Ana Picado, Carina Lopes, Rui Ruela e Joana Mendes.

Obrigado à Mafalda, pela amizade e companhia.

Obrigado aos meus pais, por todo o apoio e incentivo que sempre me deram. Sem vocês este trabalho não se teria realizado.

Obrigado Victor, por sempre me ajudares a manter focada nos meus objetivos e por toda a compreensão.

Palavras-chave

Estuário do Lima; Viana do Castelo; Temperatura da água; Salinidade; Velocidade de corrente

Resumo

O estuário do rio Lima é um dos maiores da costa noroeste portuguesa e tem a sua foz na cidade de Viana do Castelo. Realizaram-se poucos estudos sobre o estuário do Lima ao longo dos anos, havendo atualmente uma carência de dados atualizados.

A finalidade deste trabalho consiste em utilizar os dados recolhidos *in situ* por equipamentos CTD e correntómetro, para caracterizar o estuário quanto à sua estrutura vertical, longitudinal e transversal de temperatura da água e salinidade, e quanto à velocidade e direção de corrente.

Nesse âmbito, foram realizadas campanhas hidrográficas no estuário do Lima onde se obtiveram dados de salinidade, temperatura da água, profundidade e de velocidade e direção de corrente. As campanhas ocorreram, sazonalmente, entre Abril de 2019 e Janeiro de 2020. Foram selecionadas sete secções transversais ao leito principal, cada uma com 3 estações de amostragem: uma em cada margem e outra sensivelmente a meio do canal. Cada saída demorou em média duas horas e ocorreu na última hora da enchente e primeira da vazante sempre em regime de maré viva.

Os resultados revelam variabilidade sazonal e espacial da temperatura da água e da salinidade. Deste modo, os máximos de salinidade (36.54) são identificados no verão, em profundidade na zona da embocadura; e mínimos no inverno (3.49), à superfície na zona mais a montante da área em estudo. Tanto os máximos como os mínimos de temperatura da água (22.99 °C e 10.22 °C) são sempre observados à superfície, também no verão e inverno, respetivamente, e ambos na zona mais a montante da área em estudo. Os resultados de intensidade de corrente, revelam máximos na zona da embocadura com um valor médio anual de 0.32 m/s, e, temporalmente na primavera com uma média de 0.30 m/s entre todas as secções analisadas. Os mínimos de velocidade ocorrem na zona central do estuário onde se registam por vezes valores nulos, e no inverno onde a média foi cerca de 0.17 m/s inferior à registada na primavera.

Índice

Resumo	i
Lista de Figuras	iv
Lista de tabelas	iv
1. Introdução	1
1.1. Motivação e objetivos	1
1.2. Estado de arte	2
1.2.1. Hidrodinâmica estuarina	2
1.2.2. Estuário do Lima	4
1.3. Estrutura do trabalho	6
2. Instrumentação e Metodologia	7
2.1. Estratégia para trabalho de campo	7
2.2. Procedimentos de monitorização.....	9
2.3. Condições meteoceanográficas	12
2.4. Processamento de dados	13
3. Resultados e Discussão	15
3.1. Estrutura vertical	15
3.1.1. Perfis verticais de temperatura da água	16
3.1.2. Perfis verticais de salinidade	18
3.2. Variabilidade espacial e sazonal da estrutura termohalina	20
3.2.1 Caraterização longitudinal.....	20
3.2.1 Caraterização transversal	23
3.3. Análise da velocidade e direção da corrente	30
3.3.1. Primavera	30
3.3.2. Verão	31
3.3.3. Outono	32
3.3.4. Inverno	33
4. Conclusão	34
5. Referências	36

Lista de Figuras

Figura 1.1: Embocadura do estuário do Lima	4
Figura 1.2: Área de estudo: Estuário do Lima	5
Figura 2.1: Estuário do Lima com os locais e secções transversais definidos para monitorização de dados	8
Figura 2.2: Esquema do procedimento in situ para recolha de dados através do CTD e correntómetro ..	10
Figura 2.3: Fotografias do correntómetro e do CTD	10
Figura 2.4: Fotografias tiradas durante as campanhas hidrográficas.	11
Figura 2.5: Gráficos da temperatura do ar e altura de maré para cada dia de campanha hidrográfica.	12
Figura 3.1: Representação dos perfis verticais de temperatura da água obtidos em todos os locais.	17
Figura 3.2: Representação dos perfis verticais salinidade obtidos em todos os locais	19
Figura 3.3: Evolução longitudinal da temperatura da água no estuário do Lima ao longo do ano.....	20
Figura 3.4: Evolução longitudinal da salinidade no estuário do Lima ao longo do ano	22
Figura 3.5: Divisão da área de estudo em 3 zonas distintas: zona da embocadura, zona central e zona menos profunda	23
Figura 3.6: Secções transversais da temperatura da água ao longo das secções A e B.....	24
Figura 3.7: Secções transversais da salinidade ao longo das secções A e B.....	25
Figura 3.8: Secções transversais da temperatura da água ao longo das secções C, D e E.....	26
Figura 3.9: Secções transversais da salinidade ao longo das secções C, D e E	27
Figura 3.10: Secções transversais da temperatura da água ao longo das secções F e G.....	28
Figura 3.11: Secções transversais da salinidade ao longo das secções F e G	29
Figura 3.12: Intensidade e direcção de corrente para os locais centrais das secções na primavera.	30
Figura 3.13: Intensidade e direcção de corrente para todos os locais centrais das secções no verão.	31
Figura 3.14: Intensidade e direcção de corrente para todos os locais centrais das secções no outono.	32
Figura 3.15: Intensidade e direcção de corrente para todos os locais centrais das secções no inverno.	33

Lista de tabelas

Tabela 2.1: Características das campanhas: dia, hora de início e fim, hora do pico de preia-mar e amplitude de maré	7
Tabela 2.2: Coordenadas geográficas dos locais onde foram recolhidos dados.	8

1. Introdução

1.1. Motivação e objetivos

As zonas estuarinas são áreas privilegiadas para a fixação das populações, pois o seu abrigo torna-as propícias à instalação de portos, atividade piscatória, lazer e desportiva. Também são aliciantes por serem um recurso hídrico normalmente capaz de assegurar o abastecimento de água tanto doméstica como industrial. Note-se que cerca de 60% das cidades mais populosas do mundo situam-se em volta de estuários (Miranda *et al.*, 2017). As áreas estuarinas destacam-se pela elevada densidade populacional, pela concentração de atividades económicas e consequentemente contínua exploração dos recursos aí existentes. Esta pressão a que estão sujeitas aliada à subida do nível do mar torna estas zonas vulneráveis a inundações mais frequentes (Ventura *et al.*, 2017). O estuário do Lima também apresenta elevada demografia à sua volta, sendo que só a cidade de Viana do Castelo conta com 265 habitantes por km² (PORDATA, 2019), tornando-se assim exposto e vulnerável à ação humana.

O estudo dos estuários é particularmente complexo, pois são ambientes extremamente dinâmicos, onde ocorre a transição entre continente e oceano. Estes locais apresentam uma complexa interação entre diversas variáveis como o vento, a maré, a ondulação e o caudal fluvial. Recentemente tem havido um crescente interesse no estudo e compreensão dos sistemas estuarinos, uma vez que existe uma excessiva ocupação humana à sua volta, pelo que é necessário um melhor planeamento para a utilização dos ambientes costeiros e construção de estruturas (Santos *et al.*, 2014).

As motivações para desenvolver este trabalho consistiram na oportunidade de planear uma campanha oceanográfica no estuário da cidade de onde sou natural, desenvolver e estabelecer uma estratégia para a aquisição dos dados, e também proporcionar o contacto direto e manuseamento de instrumentação. Adicionalmente, visto que em Portugal o estuário do Lima não é dos mais estudados, este estudo contribuiu para a obtenção de dados que permitirão aumentar o conhecimento existente sobre este estuário.

O principal objetivo deste projeto consiste em caracterizar hidrograficamente a parte mais a jusante do estuário do rio Lima, através da análise de dados de temperatura da água, salinidade e velocidade de corrente.

1.2. Estado de arte

1.2.1. Hidrodinâmica estuarina

Existem diversas formas de definir um estuário. Uma das definições genéricas mais frequentes de um estuário é que se trata de um *“corpo de água costeiro semifechado, que possui uma ligação com o oceano aberto, onde há livre fluxo de água, e no interior do qual a água do mar é diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”* (Cameron e Pritchard, 1963). Outra definição bastante comum é que se trata de uma *“terminação costeira de um canal fluvial único, recebendo um fluxo sedimentar fluvial e marinho, atuado por forças de maré, de ondulação e correntes fluviais, produzindo associações de fácies estuarinas”* (Dalrymple et al., 1992).

Com base na origem geológica, eustática e influência de ondas e marés os tipos de estuários mais comuns são: estuários de planície costeira, que são relativamente rasos e raramente excedem os 30 metros de profundidade; estuários protegidos por barreiras, que são formados pela deposição de sedimentos transportados pelas correntes costeiras; estuários tectónicos associados a falhas geológicas ao longo das quais corre um rio. Por fim, existem também os chamados fiordes, que resultam da inundação de vales após a última glaciação e geralmente apresentam profundidades na ordem das centenas de metros. Em Portugal, podem-se encontrar estuários de planície costeira como é o caso do estuário do Lima, estuários protegidos por barreiras como o estuário do Douro, e estuários tectónicos como, por exemplo, o estuário do Tejo (Duarte e Vieira, 1997).

Quanto às diferentes amplitudes médias da maré podemos ter os seguintes tipos de estuários: micromareal, caracterizados por uma amplitude média de maré inferior a 2 metros; mesomareal, onde a amplitude média de maré varia de 2 a 4 metros; e, macromareal na qual se verificam amplitudes médias de maré superiores a 4 metros. O estuário do Lima e o resto da costa portuguesa enquadra-se no domínio mesomareal, com marés do tipo semi-diurno normal com 2 preia-mares e 2 baixa-mares diárias com periodicidade de 12h25 min (Lourenço, 2012).

Quanto ao padrão de circulação distinguem-se 3 diferentes tipos: estuários com cunha salina, que geralmente ocorrem em costa micromareal onde há uma limitação na mistura de águas, ou seja, apresentam elevada estratificação; estuários com mistura parcial, que se desenvolvem quando a descarga do rio ocorre numa costa mesomareal onde as fortes correntes provocadas pela mistura de água doce com a salgada distorcem as isolinhas, e tornam a haloclina pouco definida mas presente. Geralmente nestes estuários é visível junto ao fundo uma forte corrente em direção a terra (intrusão marinha). Por fim, também existem estuários com mistura total que se desenvolvem frequentemente em costas macromareais e onde geralmente ocorre a ausência de gradiente vertical de salinidade, pois há uma mistura completa das águas (Duarte e Vieira, 1997). O estuário do Lima apresenta mistura parcial de águas onde os principais forçadores da circulação são a maré e o escoamento fluvial. Estes forçamentos determinam a estrutura termohalina do estuário.

Propriedades físicas da água

Mesmo sendo ambientes extremamente dinâmicos, podem-se muitas vezes identificar diferentes massas de água nos estuários. Uma massa de água é um corpo de água com propriedades físicas e químicas particulares, que a diferencia dos corpos de água adjacentes. As principais variáveis usadas para identificar massas de água são a salinidade e a temperatura, e consequentemente a densidade, isto porque se tratam de parâmetros conservativos (Miranda, 1982), ou seja, só sofrem alterações significativas no decorrer da mistura ou difusão com outras massas de água. Tendo em conta que a salinidade e a temperatura da água são as mais significativas para o estudo de uma massa de água, neste trabalho optou-se por fazer a medição dessas mesmas propriedades.

A **salinidade (S)** é difícil de definir e de medir e trata-se de uma grandeza adimensional. Originalmente a salinidade foi definida como sendo “*A quantidade total de material dissolvido em gramas, num quilograma de água do mar*”. Esta definição não é a melhor, pois é praticamente impossível medir de facto todo o material dissolvido, como por exemplo os materiais voláteis como os gases. Em 1902, foi publicada uma definição mais completa e recomendada pelo conselho do *International Council for the Exploration of the Sea* “*Salinidade é a quantidade total em gramas, de matéria sólida contida num quilograma de água do mar, quando todo o carbonato foi convertido a óxido, e o bromo e o iodo substituídos por cloro e toda a matéria orgânica foi completamente oxidada*”. Apesar de correta e útil, não é uma definição fácil de implementar no uso diário, sendo que posteriormente passou-se a medir a salinidade com base na clorinidade por serem diretamente proporcionais. No entanto, quanto mais medições se fizeram, mais este método acabou por se revelar impreciso.

Em 1978, o *Join Panel* da UNESCO definiu a Escala de Salinidade Prática, na qual a salinidade passava a ser definida somente em função da condutividade. Esta é válida para salinidades entre 2 e 42, temperatura entre -2 e 35 °C e profundidades de 0 a 100 m (Pickard e Emery, 1983). Atualmente, os oceanógrafos usam a condutividade para medir a salinidade, apresentando este método elevada precisão e fácil uso em relação à clorinidade.

A **temperatura (t)** representa diretamente uma medida do nível energético e tem como unidade o Kelvin (K). Apesar do Kelvin ser a unidade do Sistema Internacional, neste trabalho optou-se por apresentar a temperatura em graus Celcius (°C). Designa-se por temperatura *in situ* ao valor de temperatura medida num local, no entanto, deve-se considerar que conforme uma massa de água se afunda, sofre compressão e como resultado a energia interna da água aumenta. Esta alteração na energia interna pode modificar a temperatura. Para retirar a influência da compressibilidade é adotado o conceito de temperatura potencial (θ). A temperatura potencial deve ser sempre a usada nos cálculos, principalmente quando se comparam massas de água distintas. No entanto, no caso dos estuários é raro existir uma grande diferença entre a temperatura e a temperatura potencial devido às baixas profundidades envolvidas.

A **densidade (ρ)** é uma propriedade física que não pode ser medida diretamente, mas pode ser calculada a partir de medições de temperatura da água, salinidade e pressão através da equação de estado para a água: $\rho(S,t,p)$. No estudo de uma camada superficial pode-se ignorar

a compressibilidade e assumir que a pressão é zero: $\sigma(S,t,0)$. Sendo uma variável dependente da temperatura, para se ignorar a compressão sofrida deve-se usar então a temperatura potencial em vez da temperatura medida. A expressão final para se obter a densidade potencial é σ_θ ou $\sigma_t = \sigma(S,\theta,0)$. Em ambientes estuarinos pode-se considerar que a salinidade é a variável que mais afeta a densidade da água, pois como mostra a equação de estado, pequenas variações de salinidade causam grandes variações de densidade, ao contrário da temperatura (Stewart, 2008).

Verticalmente usualmente é possível distinguir três camadas com diferentes evoluções tanto da salinidade como da temperatura da água. Junto à superfície é possível observar-se frequentemente a existência de uma camada de mistura. Trata-se de uma camada de água onde ocorrem trocas de energia com a atmosfera, e onde a ação de agentes de mistura como o vento, a maré e as correntes fazem com que as suas propriedades hidrográficas se tornem uniformes na vertical. Esta camada apresenta variações temporais e espaciais da sua profundidade apresentando geralmente uma maior profundidade no inverno já que a camada superficial arrefece mais, proporcionando movimentos convectivos que aliados à maior intensidade dos ventos e correntes favorecem a mistura. Seguidamente encontra-se uma camada na qual se verifica uma grande variação da salinidade e temperatura da água com a profundidade. Esta camada designa-se por haloclina e termohalina, respetivamente, sendo que a consideração simultânea de ambas resulta na termohalina. A sua forma varia conforme as estações do ano, sendo assim de caráter sazonal. Os estuários por serem zonas de menores profundidades, geralmente não apresentam existência de uma termoclina permanente, como no oceano para profundidades entre 1500 e 2000 m. Abaixo da termohalina, os valores de temperatura da água e salinidade tendem para um valor uniforme. Na coluna de água é então possível identificar zonas bem misturadas como a camada de mistura superficial (pouco estratificada; movimentos verticais muito intensos) e zonas mal misturadas como a termoclina e haloclina (muito estratificada; movimentos verticais pouco intensos).

1.2.2. Estuário do Lima



Figura 1.1: Embocadura do estuário do Lima

O rio Lima nasce em Espanha e, de acordo com o Plano de Bacia Hidrográfica do Lima (2001), tem uma superfície de aproximadamente 2450 km², dos quais 46.5% estão em território português. O rio alarga-se perto da sua fase final e com a redução da inclinação forma-se um lugar propício à formação de depósitos sedimentares em várias zonas a montante da ponte Eiffel, já dentro dos limites da cidade de Viana do Castelo (Figura 1.1).

Segundo o relatório efetuado pela empresa de projetos de engenharia PROMAN (2006), não existem afluentes com dimensões ou vazão suficientes que afetem de forma significativa o canal principal do rio e o estuário do Lima. A presença das barragens do Alto Lindoso e de Touvedo construídas a montante são as que regularizam do caudal do rio. Citando esse mesmo relatório “os caudais de estiagem são inferiores a 20.00 m³/s, chegando a atingir valores da ordem dos 5.00 m³/s, e por sua vez o caudal médio do rio no verão varia entre 2.50 e 5.00 m³/s, sendo a média anual de 62.00 m³/s”. Quanto à intensidade da corrente, de acordo com esse relatório a corrente máxima de vazante no estuário é da ordem de 1.30 m/s, um pouco maior do que a e enchente que ronda os 0.90 m/s.

O clima da região tem associado a si a proximidade do Atlântico e a disposição dos principais conjuntos montanhosos do Noroeste de Portugal. Estes fatores fazem com que a região seja a mais pluviosa de Portugal e o clima local seja caracterizado como sendo do tipo marítimo. De forma sintética, a bacia e estuário do Lima apresentam um clima bastante húmido e caracteriza-se por uma deficiência de precipitação e descarga fluvial no verão e um excesso no inverno (Vieira e Pinho, 2010).

A área de estudo (Figura 1.2) está compreendida entre as latitudes 41°40'36.1"N e 41°41'41.1"N e longitudes 8°50'38.4"O e 8°48'34.7"O, estando inserida na foz do estuário do Lima, e localizada junto à cidade de Viana do Castelo, em Portugal. Longitudinalmente, o canal em estudo apresenta uma direção WSW-ENE, considerando um sentido da foz para a cabeceira do estuário.

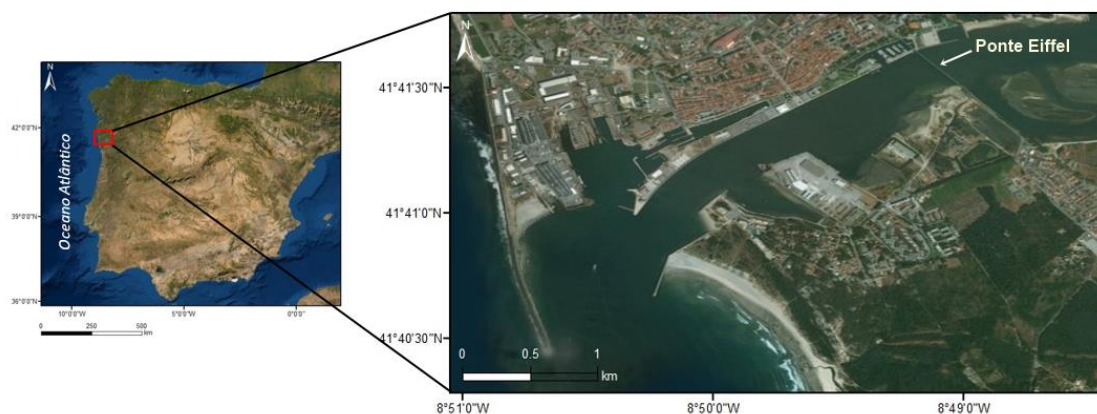


Figura 1.2: Área de estudo: Estuário do Lima

Imediatamente a montante da ponte Eiffel, devido ao aprofundamento da zona, criaram-se condições que facilitaram a penetração da onda de maré no rio. Então, como consequência da evolução geométrica da batimetria do rio, verificou-se um aumento do prisma de maré, que consequentemente conduz a um maior avanço da cunha salina pelo rio. Assim, a propagação da maré sente-se até uma distância que ronda os 15 a 20 km da foz.

Na embocadura estão presentes dois quebramares instalados para proteger a entrada do estuário e as instalações portuárias. O Quebramar Norte do porto de Viana do Castelo tem sensivelmente 2170 m, e dispendo de uma orientação de 170° (praticamente SSE) é o que mais abriga o estuário da ondulação. O Quebramar Sul do porto de Viana do Castelo é bastante mais pequeno (700 m) e tem orientação SSW. Este tem como principal objetivo reter o fluxo de sedimentos e assim tentar contrariar o assoreamento no canal de navegação. Perto da embocadura o canal é mais estreito e através de dragagens frequentes tenta-se manter uma profundidade média no centro do canal de 10 m, e assim permitir o acesso portuário (Vale, 2008).

Segundo Vale (2008), a classificação do estuário do Lima quanto à salinidade varia de acordo com as alterações de escoamento fluvial e com o ciclo quinzenal de maré. Os seus resultados mostraram um estuário: bem misturado em ciclos de marés vivas e baixo escoamento fluvial; parcialmente misturado maioritariamente do tempo; e, ligeiramente estratificado quando ocorrem ciclos de marés mortas e elevado escoamento fluvial. As correntes têm a sua magnitude também dependente do ciclo quinzenal de maré e da localização dentro do estuário, sendo que os máximos ocorrem na vazante de um ciclo de maré viva.

1.3. Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em 4 capítulos. Os dois primeiros capítulos são de carácter introdutório, onde é apresentada uma introdução sobre estuários, especificando várias características sobre a zona de estudo, e, numa segunda parte, apresenta-se a estratégia usada para a campanha hidrográfica, descrevem-se os equipamentos utilizados e as condições meteorológicas e oceanográficas nos dias dos trabalhos de campo.

O capítulo 3 destina-se à apresentação dos resultados obtidos e a sua devida análise e interpretação, sendo, posteriormente, realizada uma discussão sobre os resultados apresentados. Por fim, no capítulo 4, destacam-se os principais conhecimentos adquiridos ao longo do trabalho em modo de conclusão.

2. Instrumentação e Metodologia

Neste capítulo será apresentada a estratégia de aquisição de dados implementada na realização do trabalho de campo, assim como uma descrição e caracterização dos dois instrumentos utilizados: CTD e correntómetro. Apresentam-se ainda as condições meteorológicas e oceanográficas dos dias em que foram efetuadas as saídas. No fim, apresenta-se o desenvolvimento do processamento dos dados obtidos.

2.1. Estratégia para trabalho de campo

Os dados apresentados neste trabalho foram recolhidos em 4 diferentes campanhas hidrográficas. Estabeleceu-se uma recolha de dados em cada estação do ano entre Abril de 2019 e Janeiro de 2020. As datas posteriormente escolhidas estão listadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Características das campanhas: dia, hora de início e fim, hora do pico de preia-mar e amplitude de maré.

Estação do ano	Dia	Horário		Pico de preia-mar	Amplitude de maré
		Início	Fim		
Primavera	15 de abril de 2019	11:45h	13:47h	12:48h (GMT+1)	1.90 m
Verão	12 de julho de 2019	11:42h	13:25h	12:29h (GMT+1)	1.82 m
Outono	10 de outubro de 2019	12:50h	14:36h	13:59h (GMT+1)	2.11 m
Inverno	8 de Janeiro de 2020	12:21h	13:30h	13:13h (GMT)	2.00 m

As horas do pico de preia-mar foram obtidas através do *website* do Instituto Hidrográfico (<https://www.hidrografico.pt/m.mare>).

Para a recolha de informação *in situ* foram selecionados dois instrumentos: CTD e correntómetro. Estes permitiram a recolha de dados de condutividade, temperatura da água, profundidade, velocidade e direção de corrente.

Os locais de recolha de dados foram escolhidos visando replicar a estratégia de amostragem seguida numa campanha realizada no mesmo estuário entre 2010 e 2011, (Vieira *et al.*, 2015). Foram então selecionadas 7 secções transversais à direção preferencial do fluxo em cada zona do estuário (A,B,C,D,E,F,G, desde a embocadura até à região contígua a montante da ponte Eiffel). Conforme representado na Figura 2.1, cada secção foi dividida em 3 locais de amostragem: um em cada margem, e outro sensivelmente a meio do canal, perfazendo um total de 21 locais de recolha de dados. Para a nomenclatura dos locais em cada secção foi considerada a sua posição no canal, ou seja, os pontos de amostragem localizados na margem direita correspondem ao “1”, o centro do canal é o “2” e por fim à margem esquerda foi atribuído o número “3”.



Figura 2.1: Estuário do Lima com os locais e secções transversais definidos para monitorização de dados.

Determinou-se que as saídas seriam efetuadas no pico da preia-mar em regime de maré viva, iniciando-se sensivelmente uma hora antes. Optou-se por recolher dados de salinidade e temperatura da água em todos os locais selecionados, no entanto, para aumentar a eficiência da campanha e garantir que todos os dados eram recolhidos dentro de uma pequena janela temporal, apenas foram monitorizados dados de velocidade no ponto central de cada secção.

As campanhas realizaram-se de jusante para montante, cobrindo uma distância de aproximadamente 3.3 km desde a embocadura até à última secção. Em todas as saídas foi mantida a ordem com que se percorreu o estuário: A3, A2, A1, B1, B2, B3, C3, C2, C1, D1, D2, D3, E3, E2, E1, F1, F2, F3, G3, G2, G1. Durante a execução das diferentes saídas de campo a localização das estações foi garantida através de dados GPS, e as suas coordenadas são indicadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Coordenadas geográficas dos locais onde foram recolhidos dados.

<i>Locais</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>Locais</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>LONGITUDE</i>
A1	41°40'36.1"N	8°50'38.4"O	D3	41°41'14.5"N	8°49'31.7"O
A2	41°40'37.8"N	8°50'26.7"O	E1	41°41'33.6"N	8°49'19.4"O
A3	41°40'39.3"N	8°50'16.1"O	E2	41°41'29.6"N	8°49'16.0"O
B1	41°40'56.8"N	8°50'27.8"O	E3	41°41'25.8"N	8°49'12.2"O
B2	41°40'52.0"N	8°50'17.5"O	F1	41°41'40.3"N	8°49'00.5"O
B3	41°40'51.2"N	8°50'10.9"O	F2	41°41'37.5"N	8°48'57.8"O
C1	41°41'11.7"N	8°50'03.2"O	F3	41°41'33.6"N	8°48'54.5"O
C2	41°41'09.4"N	8°49'58.8"O	G1	41°41'41.1"N	8°48'40.6"O
C3	41°41'03.7"N	8°49'51.1"O	G2	41°41'37.8"N	8°48'37.4"O
D1	41°41'21.0"N	8°49'40.2"O	G3	41°41'33.9"N	8°48'34.7"O
D2	41°41'18.6"N	8°49'36.6"O			

A largura do canal na embocadura (Figura 2.1, secção A) é sensivelmente 650 m e a secção a montante da Ponte Eiffel (G) tem uma largura de quase 600 m. A zona do estuário estudada tem como profundidade mínima 0.43 m no inverno no ponto G3, e profundidade máxima de 11.78 m no verão no ponto C2. É de notar que as secções F e G não apresentam a totalidade da secção transversal do estuário. Nestas regiões, junto à margem esquerda, está localizado um viveiro de ostras que impossibilitava a aquisição de dados.

Com o apoio da Câmara Municipal de Viana do Castelo, utilizou-se uma embarcação semirrígida, propriedade do clube de vela local ou da Associação da Coordenada Decimal, em cada uma das campanhas realizadas. A embarcação, apesar das pequenas dimensões permitia a execução da tarefa com duas pessoas mais o skipper.

Em suma, previamente às campanhas e com a devida antecedência, procedeu-se, além da confirmação da disponibilidade do skipper, aos pedidos de autorização para a realização da campanha hidrográfica por parte da capitania do porto de Viana do Castelo e da Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL). A preparação e programação dos equipamentos realizou-se na véspera de cada saída de campo. Após o término da aquisição de dados, todo o material foi lavado com água doce e as campanhas terminavam com a transferência dos dados obtidos para um PC, para posterior análise.

2.2. Procedimentos de monitorização

Até 1970 a salinidade e temperatura da água eram medidas até aproximadamente 20 metros de profundidade usando as garrafas de Nansen que desciam verticalmente a partir de uma embarcação. Essas garrafas eram portadoras de um termómetro invertido que registava a temperatura e profundidade. Além disso continham um tubo com válvulas que faziam a recolha de água a cada profundidade para determinar, posteriormente, a salinidade a bordo.

No início dos anos 60 as garrafas de Nansen começaram a ser substituídas por equipamentos eletrónicos, designados por CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*). Este equipamento faz a medição de diferentes variáveis, no entanto só foram analisadas três: temperatura da água, condutividade e profundidade. Através da condutividade é possível determinar a salinidade, conforme já foi referido na secção 1.2.1. O CTD funciona como as garrafas de Nansen, isto é, desce verticalmente na coluna de água, mas também pode ser usado de forma fixa para medições locais.

O correntómetro usado é um aparelho mecânico que efetua medições de velocidade e direção do escoamento da água, através de medições pontuais no plano XY. A medição é feita em ciclos de 1 segundo, durante o qual se faz a contagem de rotações da hélice e uma leitura da direção de acordo com o norte magnético. Quanto maior a frequência de rotação da hélice, maior será a velocidade de escoamento. Este instrumento oferece também as opções de medição de temperatura da água e pressão.

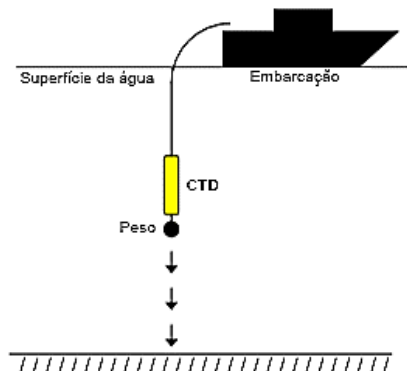


Figura 2.2: Esquema do procedimento in situ para coleta de dados através do CTD e correntômetro, adaptado de Vale (2008).

Foram usados nas saídas de campo um CTD modelo SD2004 fabricado pela SAIV, e um correntômetro Valeport modelo 106, como mostra a Figura 2.3. Para além destes, foi utilizado também um sensor de profundidade acústico.

Ambos os equipamentos têm uma enorme autonomia, elevada fiabilidade, são de fácil manuseamento, simples programação, e permitem o *download* de dados em formato *.txt*. Nos dois é necessário colocar um peso, para que em caso de maiores correntes o equipamento não seja desviado da rota, e seja assim proporcionado o melhor perfil vertical possível. Antes do uso de cada aparelho é conveniente programá-lo, eliminando quaisquer dados que tenha de saídas anteriores e definindo o intervalo de tempo pretendido entre cada amostragem de dados. No CTD foi usado um intervalo de amostragem de 1 s e para a medição da corrente estabeleceu-se um intervalo de 3 s.

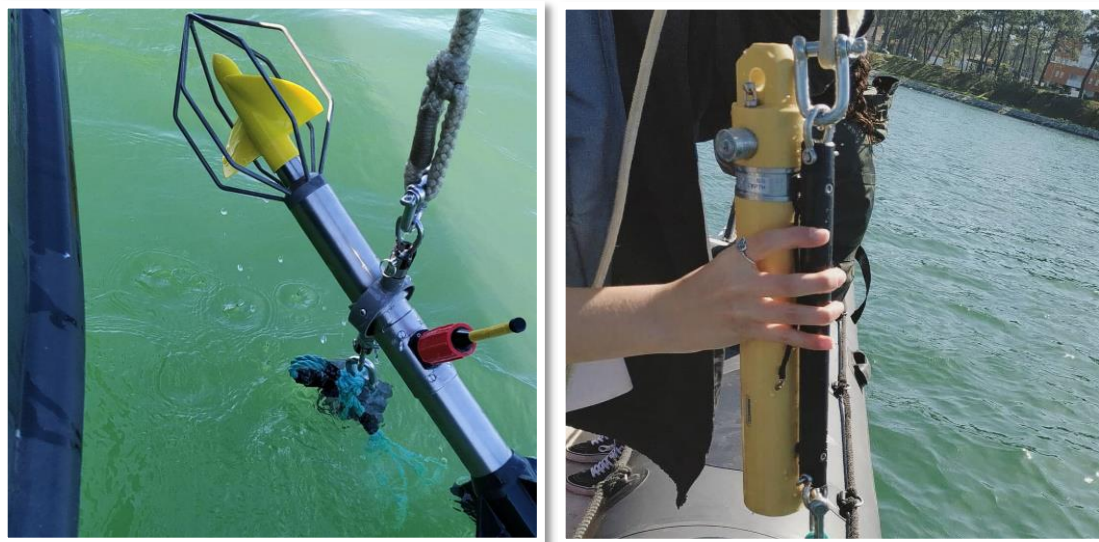


Figura 2.3: Fotografias do correntômetro (à esquerda) e do CTD (à direita).

Durante as saídas de campo (Figura 2.4), não houve quaisquer problemas na utilização dos vários instrumentos. Os dados foram adquiridos corretamente, à exceção dos dados de CTD no ponto A3, na campanha de outono. Nesta estação não ficou registado nenhum valor pelo CTD devido a uma causa não esclarecida.



Figura 2.4: Fotografias tiradas durante as campanhas hidrográficas.

2.3. Condições meteoceanográficas

Na Figura 2.4 encontra-se informação sobre as condições meteorológicas e oceanográficas em cada dia de saída de campo. São apresentados dados de temperatura do ar e altura da maré.

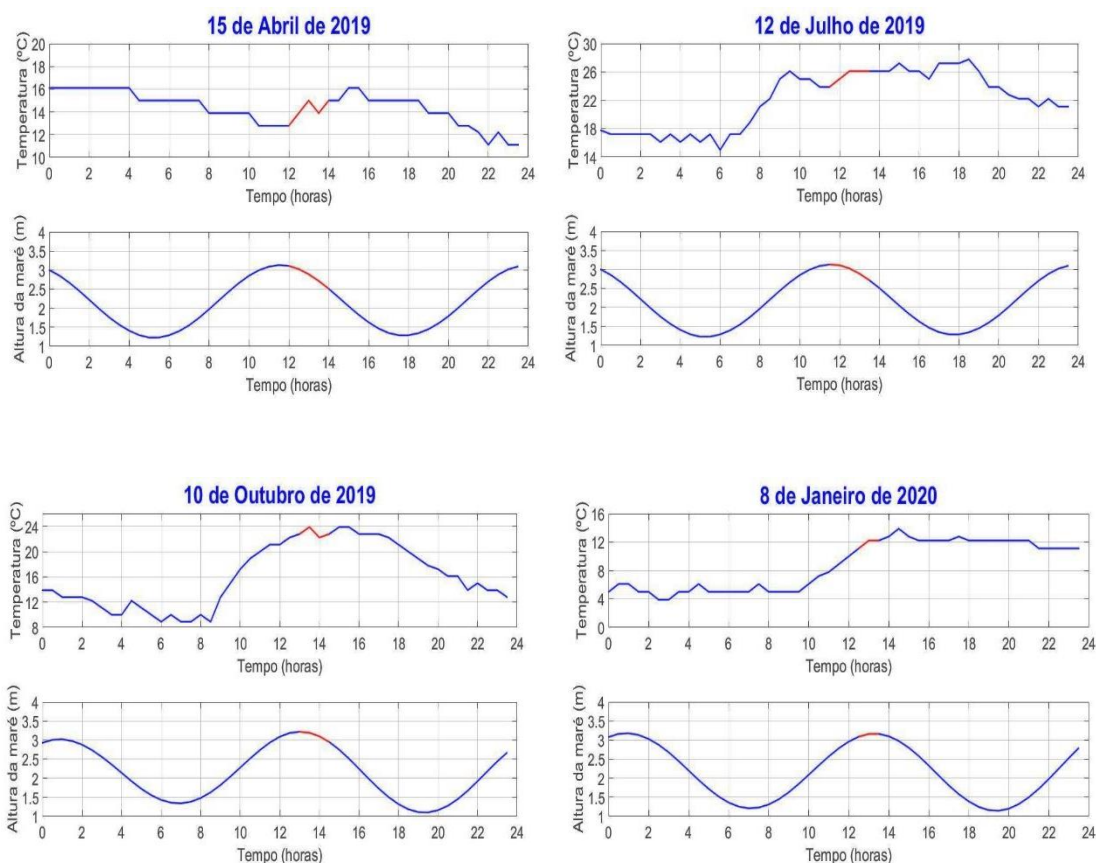


Figura 2.5: Gráficos da temperatura do ar e altura de maré para cada dia de campanha hidrográfica. A vermelha está representada a altura do dia em que ocorrem a campanha.

Os dados da temperatura do ar provêm do *website* 'Weather Under Ground' (<https://www.wunderground.com>), para a localização do aeroporto de Francisco de Sá Carneiro, Porto, Portugal (41°14'13.931" N; 8°40'12.349" O). Não foi possível obter dados fiáveis noutra estação mais próxima de Viana do Castelo. A hora local na primavera, verão e outono encontram-se com horário GMT+1. Os valores máximos de temperatura do ar em cada dia em que se realizaram as campanhas foram por ordem cronológica 16.11 °C, 27.78 °C, 23.89 °C e 13.89 °C.

No que concerne ao nível de água, utilizaram-se previsões disponibilizadas pela Universidade de Lisboa, através do *website* https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html. Estes dados têm intervalos de 1 hora para a localização próxima ao porto de Viana do Castelo (41°41'16.63"N; 8°50'20.34"O). Comparando estes dados com os mencionados na Tabela 2.1 retirados do *website* do Instituto Hidrográfico, a hora do pico de preia mar ocorre mais tarde nas previsões da FCUL.

Os dados de caudal foram retirados do *website* do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (<https://snirh.apambiente.pt/>) para a localização da barragem de Touvedo (41°48'41.895" N; 8°21'4.021" O). Apesar de se localizar relativamente distante da zona do estuário em estudo, são os únicos dados disponíveis do rio Lima nas datas das saídas. Os caudais efluentes médios diários para a saída de abril, julho, outubro e janeiro foram respetivamente 43.48 m³/s; 40.89 m³/s; 21.87 m³/s e 87.33 m³/s. Segundo um estudo de Vieira *et al.* (2010), que também usa dados do *website* do SNIRH, os valores de caudal médio diário a jusante da barragem de Touvedo são em 50% do ano superiores a 39.00 m³/s, sendo que ocorrem cheias com caudal superior a 2400 m³/s. Segundo o artigo de Vieira *et al.* (2015), o caudal médio anual do rio é 70,00 m³/s. Os valores de caudal no dia da saída na Primavera e Verão são quase metade da média anual, no Outono foi praticamente dois terços inferior à média, e, no Inverno foi 25% superior à média.

2.4. Processamento de dados

Neste subcapítulo serão descritos os detalhes do processamento de dados e das representações que serão analisadas no próximo capítulo. Todas as figuras e gráficos foram desenvolvidos no *software Matlab*.

Estrutura vertical

No primeiro contacto com os dados efetuaram-se representações dos perfis verticais de temperatura da água e salinidade recolhidas pelo CTD, para cada estação do ano. A realização de perfis de temperatura *in situ* e temperatura potencial, salinidade e salinidade potencial, através de um conjunto de funções obtidas na *toolbox Gibbs-SeaWater* (McDougall e Barker, 2011), permitiram averiguar que na área estudada as diferenças eram negligenciáveis. Deste modo, apesar das variáveis usadas nas representações ao longo do trabalho serem a temperatura potencial e salinidade potencial, apenas se usam os termos temperatura da água e salinidade, respetivamente.

Para uma otimização do tempo usaram-se dois ciclos *for* para a realização do *download* dos ficheiros consoante a secção e estação do ano selecionada. Seguidamente atribuiu-se os nomes das variáveis *in situ* (temperatura da água, salinidade e profundidade), e como descrito acima, através das mesmas efetuou-se o cálculo das respetivas temperatura potencial e salinidade potencial. De seguida, procedeu-se à remoção de valores considerados anómalos, definidos através de limites de controlo para a salinidade > 37.00 e para a temperatura da água > 25.00, e à representação dos perfis verticais de temperatura da água e salinidade.

Caraterização longitudinal e transversal

Numa segunda fase procedeu-se à análise longitudinal da temperatura da água e salinidade ao longo do estuário. Estas figuras têm como objetivo a representação dessas variáveis à superfície e em profundidade, usando apenas dados das estações centrais de cada secção. Deste modo, usou-se o segundo valor registado na coluna de água para os dados superficiais, e o penúltimo valor registado para os dados em profundidade.

Numa terceira fase executaram-se figuras para a análise espacial da temperatura da água e da salinidade. Estas foram executadas com o objetivo de possibilitar a sua análise e discussão sobre a evolução das variáveis estudadas ao longo das secções e a variabilidade sazonal das mesmas. Para as elaborar foi necessária a criação de uma grelha regular (0:1:x(end),-15:0.5:0) através do comando *meshgrid* do *matlab*, tornando possível fazer figuras onde se podem visualizar todos os locais de cada secção a uma dimensão 2D. A componente horizontal vai desde 0 (margem direita) até à outra margem x(end). Com a ajuda da função *barnes* (Barnes, 1994) que usa um tipo interpolação gaussiana, foi também possível representar a profundidade em ordem à largura do canal, obtendo-se assim uma representação da temperatura da água e salinidade de cada secção estudada. Para esse efeito, foi também necessário transformar as coordenadas de cada ponto em distâncias em relação à margem direita de modo a obter no eixo horizontal valores da largura do canal. Deste modo, foi possível representar corretamente a posição dos locais onde foram retirados dados. Por fim, sobrepôs-se uma máscara que representa o fundo em cada secção com base na batimetria local.

Análise da velocidade e direção de corrente

Na última fase do trabalho analisou-se a variabilidade da velocidade e direção de corrente nos locais centrais de cada secção. Visto que o correntómetro fornece dados de magnitude de corrente foi necessário calcular as componentes horizontais u e v da velocidade através de métodos trigonométricos. Através da função *quiver3* do *matlab* foi possível uma representação 3D da direção e intensidade das correntes visando melhorar a sua leitura e tornar uma análise mais intuitiva. Para isso, como o instrumento não faz medições da corrente na direção vertical, e como esta é em geral praticamente inexistente, criou-se um vetor para a componente w da velocidade com valor igual a zero para qualquer profundidade. A direção dada pelo equipamento corresponde ao ângulo em graus com o norte magnético, pelo que no processamento dos dados em *matlab* foi necessário usar as funções trigonométricas *sind* e *cosd*, no cálculo das componentes u e v , respetivamente.

3. Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos do estudo hidrográfico do estuário do Lima, nomeadamente a sua estrutura vertical, variabilidade espacial e longitudinal em termos de salinidade e temperatura da água, e da velocidade e direção da corrente.

3.1. Estrutura vertical

Para uma melhor apresentação e comparação dos perfis verticais da salinidade e temperatura da água, adotaram-se diferentes cores de acordo com a estação do ano representada. Neste capítulo são apresentadas as análises comparativas dos perfis obtidos em cada estação de amostragem identificada previamente. As variáveis de temperatura da água e salinidade foram comparadas por secção e estação do ano.

Salienta-se que se identificaram diferenças entre as medições de profundidade obtidas pelo CTD e pelo sensor de profundidade acústico. Verifica-se que o sensor acústico obteve em 96.4% dos locais um valor superior ao medido através do CTD. Ao longo do trabalho, todas as representações gráficas de salinidade e temperatura da água são baseadas nas profundidades do CTD. Além deste fator, observou-se que em alguns perfis existe uma diferença entre a profundidade obtida para o mesmo ponto nas quatro saídas de campo. Os que mais se destacam são os locais D1, E2 e G1 na primavera; C1 no outono e B2 no inverno. As diferenças mareais não serão a provável causa devido à estratégia metodológica prever que as campanhas se realizassem com as mesmas características de altura de maré. Uma possível justificação é o arrastamento da embarcação pela corrente, enquanto decorria a amostragem, para uma localização diferente à planeada e que, por conseguinte, com diferente profundidade. A plausibilidade desta justificação baseia-se na grande variabilidade batimétrica deste estuário. De referir ainda que o meio do canal apresenta sempre uma profundidade maior do que as margens à exceção dos locais D3 e E1, que correspondem aos locais do porto e entrada da marina de Viana do Castelo, respetivamente.

3.1.1. Perfis verticais de temperatura da água

Na Figura 3.1 estão representados os perfis verticais de temperatura da água. Os máximos e mínimos de temperatura da água no estuário registam-se sempre à superfície, e ocorrem no verão e inverno, respetivamente, e ambos surgem maioritariamente nos locais centrais das secções. Considerando a área total em estudo e todas as campanhas hidrográficas realizadas, o mínimo de temperatura da água é registado no inverno com um valor de 10.22 °C no ponto F2, e um valor máximo no verão de 22.99 °C, no ponto G1. Assim a diferença entre a temperatura da água superficial do verão para o inverno chega a ser de 12.77 °C.

Verticalmente constata-se que o perfil da temperatura da água apresenta um padrão espectável com valores superiores à superfície e inferiores em profundidade, à exceção do inverno onde se verifica o contrário. A temperatura da água diminui até uma dada profundidade a partir da qual adquire um valor uniforme (desde -1 a -2 metros). Existe uma termoclina bastante acentuada no verão e apenas se observa uma camada de mistura superficial no inverno, nas secções E, F e G desde a superfície até aproximadamente 1 metro de profundidade. A coluna de água no inverno destaca-se por apresentar, como espectável, os menores valores de temperatura da água (a rondar os 11.00 °C) em toda a coluna de água.

Ao longo do ano observam-se algumas diferenças na distribuição de temperatura na coluna de água. Na primavera, a coluna de água é homogénea, quer nos locais da zona da embocadura, quer nas secções F e G, a montante. A variação vertical é inferior a 1.00 °C em toda a área de estudo, tornando-se assim a altura do ano em que se observa uma coluna de água menos estratificada, com uma termoclina bastante atenuada ou inexistente.

A maior variação de temperatura da água entre a superfície e o fundo observada no verão torna a termoclina mais intensa, chegando a atingir profundidades de 2 metros nas secções a montante da ponte Eiffel (secções F e G).

Os dados de temperatura da água no outono são bastante semelhantes aos observados na primavera já que em ambos existe uma menor variação vertical da temperatura da água, provavelmente em consequência de serem alturas do ano com intensidades médias de correntes maiores.

Como referido acima, no inverno a temperatura da água revela sempre valores inferiores às restantes estações do ano, e apresenta um ligeiro aumento com a profundidade (aproximadamente 2.00 °C) em todos os locais de recolha de dados.

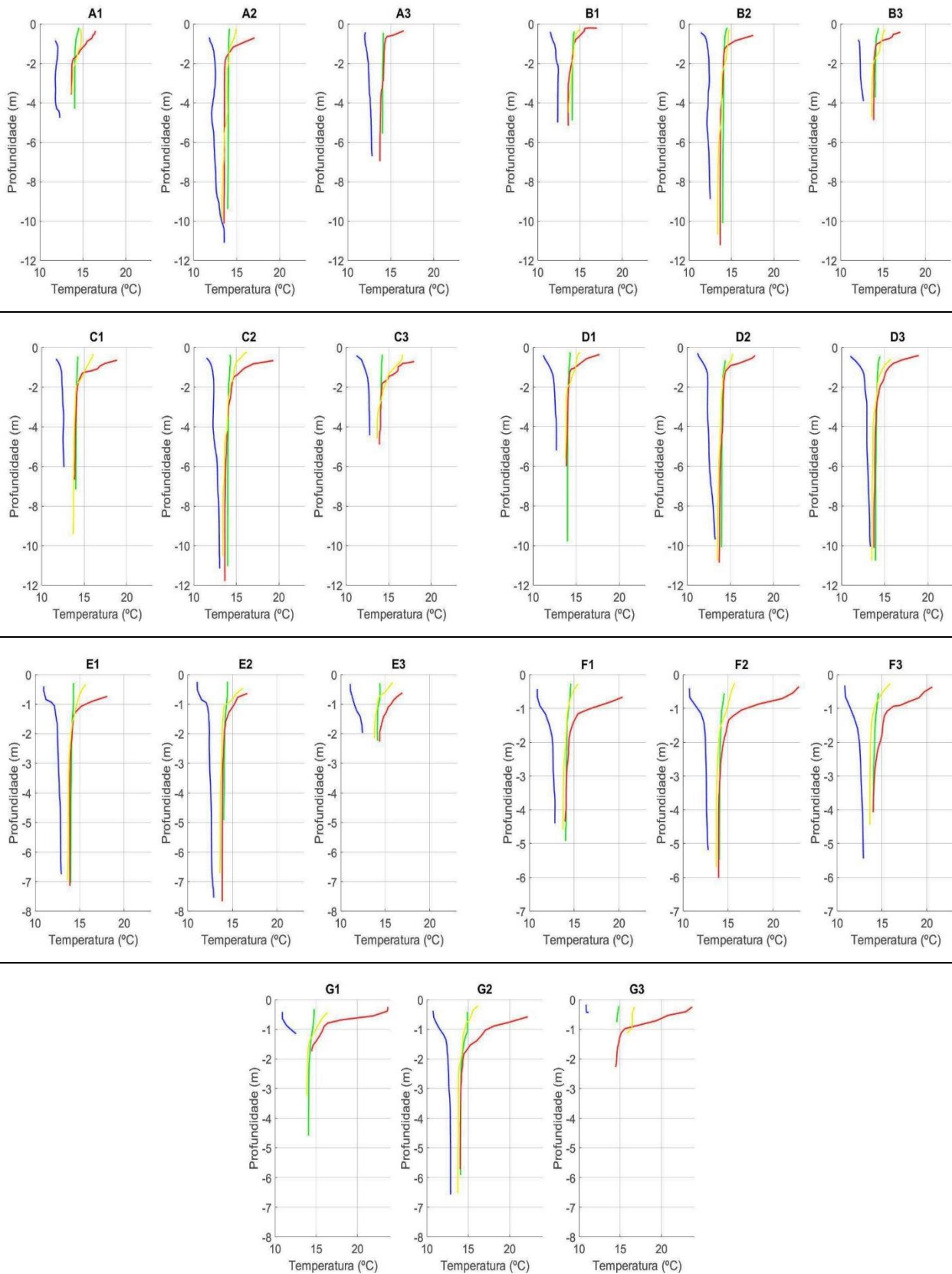


Figura 3.1: Representação dos perfis verticais de temperatura da água obtidos em todos os locais (A-G) e estações do ano (primavera – verde, verão – vermelho, outono – amarelo, inverno – azul). Notar que no ponto A3 não foram obtidos dados no outono (ver secção 2.2 deste trabalho).

3.1.2. Perfis verticais de salinidade

Na Figura 3.2 estão representados os perfis verticais de salinidade. Considerando a área total em estudo e todas as campanhas hidrográficas realizadas, o mínimo de salinidade é registado à superfície no inverno, com um valor de 3.49 em G3; e, o valor máximo registado foi de 36.58, em profundidade em alguns locais da embocadura durante o verão.

Verticalmente constata-se que para qualquer estação ou altura do ano os valores de salinidade são menores à superfície e superiores em profundidade. A haloclina presente é mais intensa no inverno a partir da secção D (inclusive) para montante, onde nas secções F e G no primeiro metro de profundidade chega-se a verificar uma diferença de quase 30.00. É possível ainda identificar no inverno uma camada de mistura superficial com uma extensão vertical máxima de 0.32 m nas mesmas secções.

Ao longo do ano observam-se algumas diferenças na distribuição vertical da salinidade. Ainda que, a primavera apresente uma coluna de água bem misturada em relação à temperatura, verificou-se que, em pelo menos 13 dos 21 locais analisados, apesar de pouco intensa, está presente uma haloclina. Esta observação está presente devido ao caudal fluvial presente que introduz água doce no estuário, gerando estratificação.

O outono apresenta um perfil vertical de salinidade idêntico ao Verão. No entanto, quando se analisam as secções F e G constata-se o outono apresenta menor estratificação em termos de salinidade. Uma possível justificação será por ser a altura do ano que apresenta um valor de caudal fluvial bastante baixo (cerca de 50% do registado no verão), que através da maior intrusão fluvial iria contribuir para a estratificação.

O inverno é a altura do ano que apresenta maiores valores de caudal fluvial. Por conseguinte, trata-se da altura do ano em que a coluna de água apresenta valores de salinidade menores e uma coluna de água mais estratificada. A zona da embocadura (secção A) é a única onde a haloclina é quase impercetível, provavelmente por se tratar da região mais a jusante onde a influência da maré é predominante.

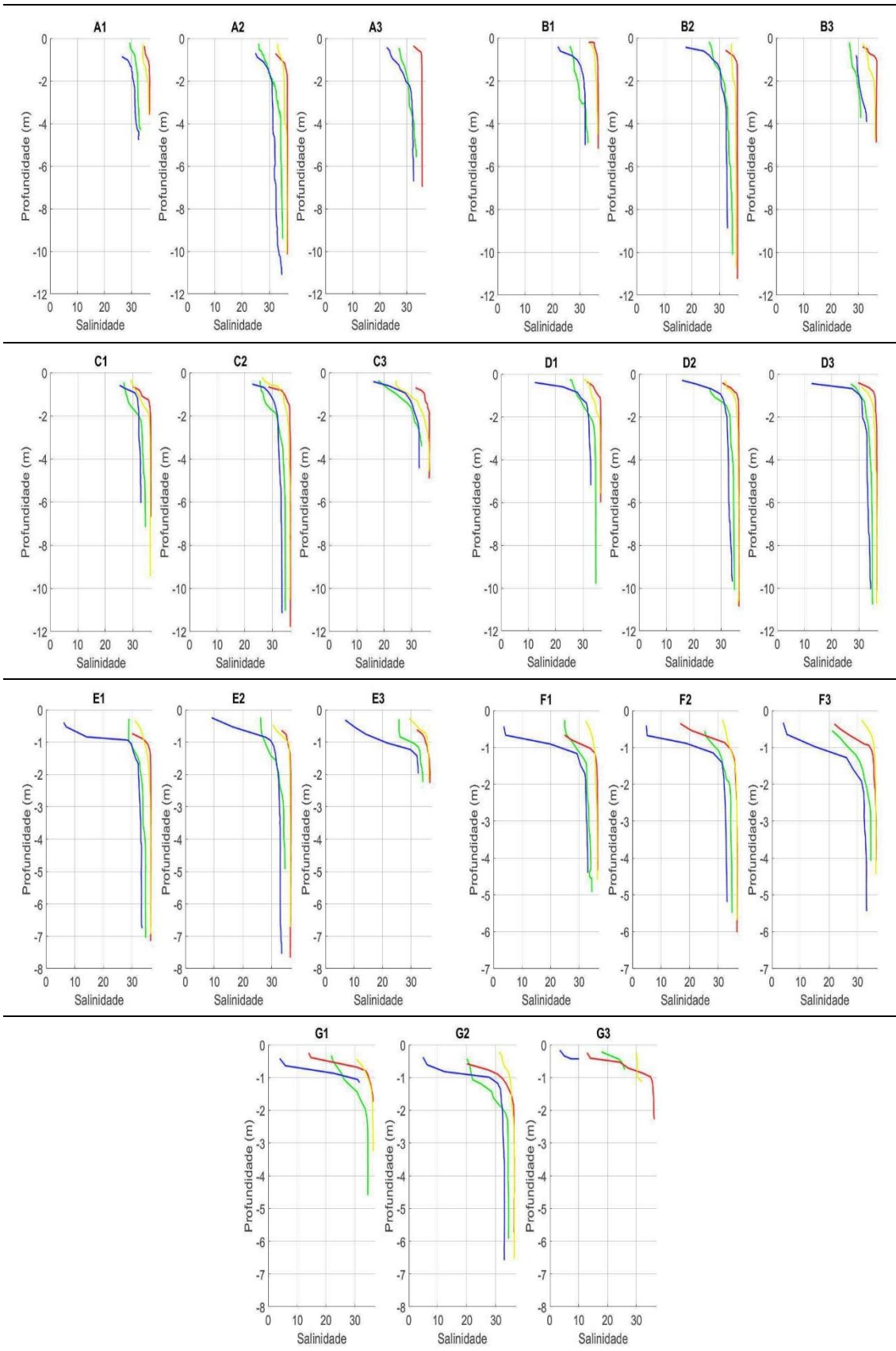


Figura 3.2: Representação dos perfis verticais salinidade obtidos em todos os locais (A-G) e estações do ano (primavera – verde, verão – vermelho, outono – amarelo, inverno – azul). Notar que no ponto A3 não foram obtidos dados no outono (ver secção 2.2 deste trabalho).

3.2. Variabilidade espacial e sazonal da estrutura termohalina

3.2.1 Caracterização longitudinal

As Figuras 3.3 e 3.4, representam a distribuição espacial da temperatura da água e salinidade, respetivamente, em cada estação do ano e para o local central em cada secção.

Temperatura da água

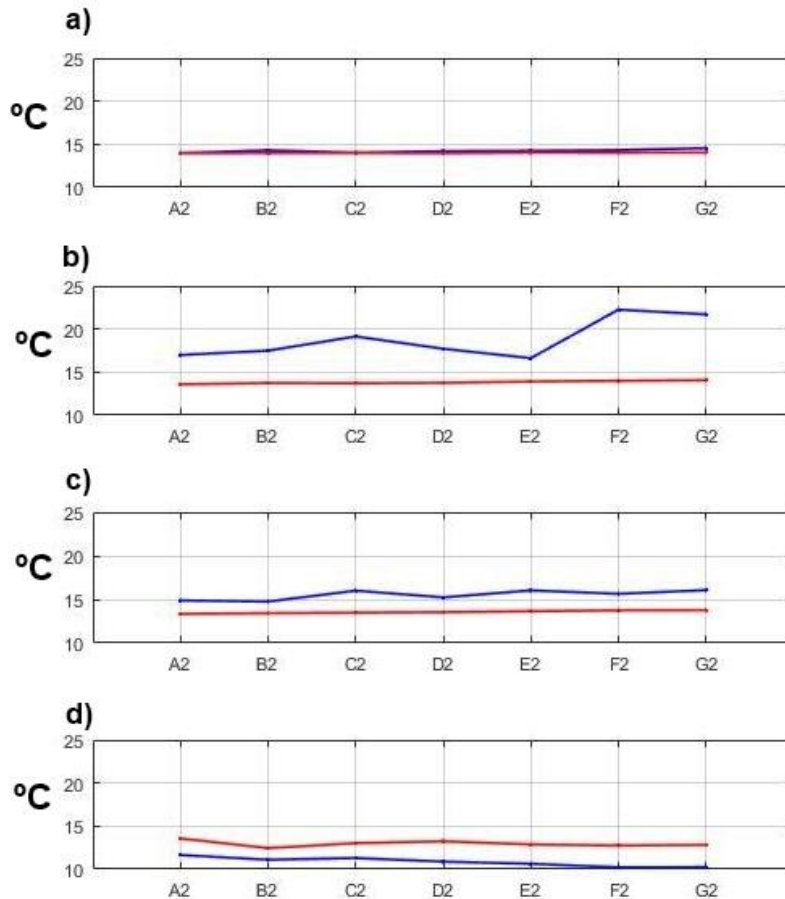


Figura 3.3: Evolução longitudinal da temperatura da água no estuário do Lima ao longo do ano (primavera (a), verão (b), outono (c), inverno (d)). A azul estão representados os valores superficiais, e a vermelho os dados em profundidade.

Numa análise longitudinal da evolução da temperatura da água no estuário (Figura 3.3), constata-se que os máximos ocorrem nas secções mais a montante. Deste modo tanto à superfície como em profundidade observam-se valores crescentes desde a embocadura em direção a montante durante todo o ano, exceto no inverno. A estação fria apresenta uma tendência inversa, sendo que os máximos de temperatura da água localizam-se na zona da embocadura. Tendo em conta todas as estações centrais do canal e alturas do ano registou-se o valor máximo de temperatura da água no verão (22.25 °C) e o mínimo no inverno (10.22 °C), ambos em F2.

A diferença dos valores de temperatura da água longitudinalmente varia ao longo do ano. Na Primavera, como mencionado no subcapítulo 3.1.1. deste trabalho, a coluna de água apresenta uma grande uniformidade ao longo do estuário e o gradiente longitudinal também é inferior a 1.00 °C; já no verão registou-se o maior aumento (4.70 °C) da temperatura superficial da água desde a embocadura até à zona menos profunda da área em estudo. Nesta altura do ano a temperatura da água à superfície é sempre superior a 16.00 °C. A diferença entre a temperatura da água na embocadura e na zona menos profunda no outono foi de apenas 1.18 °C à superfície e 0.44 °C em profundidade, sendo assim a segunda altura do ano em que o estuário apresenta menor variação longitudinal. No inverno observa-se uma variação longitudinal de temperatura da água com uma tendência distinta, ou seja, diminuindo em direção a montante tanto à superfície como em profundidade. Uma possível justificação para as secções a montante apresentarem valores mais elevados de temperatura da água durante o ano, e mais baixas no inverno é o facto de ser a região menos profunda e com menor influência marinha.

Longitudinalmente a temperatura da água à superfície é sempre maior do que a temperatura da água em profundidade, à exceção do inverno. Observou-se que os valores de temperatura da água em profundidade apresentam menor diferença longitudinal do que os à superfície. Assim sendo, a diferença entre temperaturas superficiais ao longo do estuário é máxima no verão com um valor de 4.70 °C e, mínima na primavera com um valor de 0.57 °C. A média da temperatura da água à superfície (para todas as campanhas) é de 14.86 °C, com um valor mínimo de 12.22 °C no inverno e máximo de 22.25 °C no verão, ambas em F2.

Por sua vez a diferença entre temperaturas da água em profundidade é máxima no inverno com um valor em absoluto de 1.41 °C e mínima na primavera com um valor correspondente a 0.08 °C. A média da temperatura da água em profundidade é de 13.59 °C, com um valor mínimo de 12.45 °C no inverno em B2 e máximo de 14.06 em G2 no verão.

Salinidade

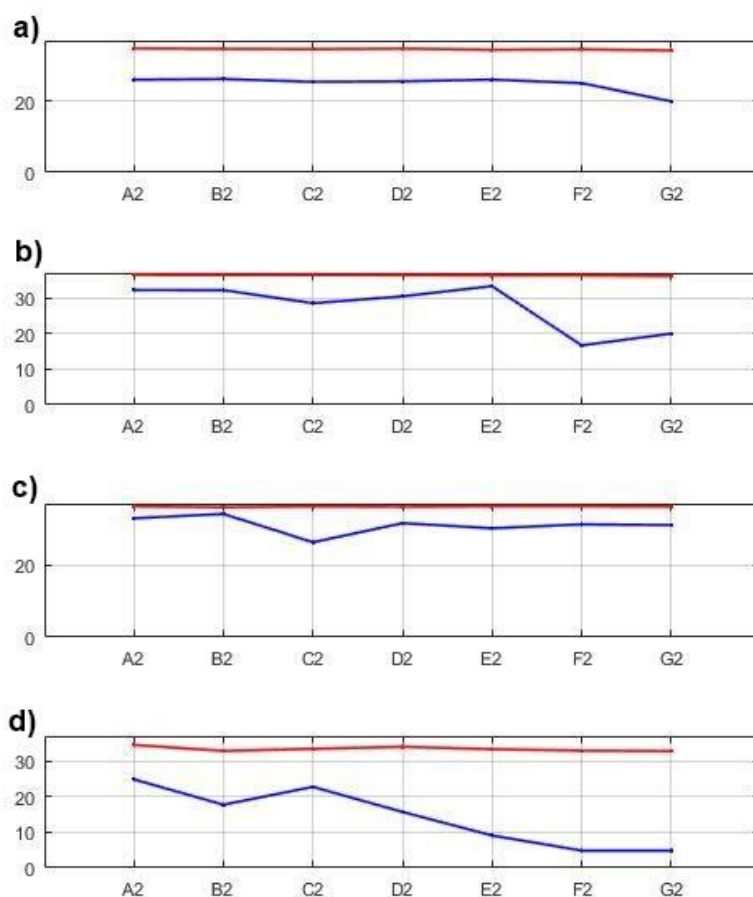


Figura 3.4: Evolução longitudinal da salinidade no estuário do Lima ao longo do ano (primavera (a), verão (b), outono (c), inverno (d)). A azul estão representados os valores superficiais, e a vermelho os dados em profundidade.

Numa análise longitudinal da evolução da salinidade no estuário (Figura 3.4), confirma-se que tanto à superfície como em profundidade existe sempre uma diminuição desta variável desde a embocadura em direção a montante, durante todo o ano. Este padrão verifica-se devido à maior influência fluvial sentida a montante. Considerando apenas as estações centrais do canal e todas as alturas do ano o mínimo de salinidade registado foi de 4.84 em F2 (à superfície), no inverno; e o máximo de 36.49 em A2 (em profundidade), no verão.

Ao longo do ano a diferença longitudinal da salinidade à superfície e em profundidade varia e, tal como para a temperatura da água esta diferença é menor em profundidade. Destaca-se uma variação menor da salinidade no outono comparando com o resto do ano tanto à superfície como em profundidade.

Longitudinalmente, como esperado, a salinidade à superfície é sempre menor do que a salinidade em profundidade. Observou-se que os valores de salinidade em profundidade apresentam uma menor diferença longitudinal do que os da superfície. A diferença entre salinidades superficiais ao longo do estuário é máxima no inverno, com um valor 19.97 e, mínima no outono com um valor de 1.89. A média da salinidade superficial (para todas as campanhas) é de 24.46, variando desde 4.84 no inverno em F2 e 34.15 no outono em B2.

Por sua vez a diferença entre salinidades em profundidade desde a embocadura (A2) até à estação mais a montante (G2) também apresenta o seu valor máximo no inverno, onde se registou uma diferença de 2.26, e mínimo na primavera e outono com um valor de 0.09. A média dos valores de salinidade em profundidade nestas estações centrais e para todo o ano é de 35.13, variando desde 32.76 em G2 no inverno e 36.49 em A2 no verão.

3.2.1 Caracterização transversal

Nas figuras seguintes estão representadas as secções transversais de temperatura da água e salinidade ao longo do estuário. Para a análise transversal de temperatura da água e salinidade foram definidas três zonas na área de estudo, como mostra a Figura 3.5.

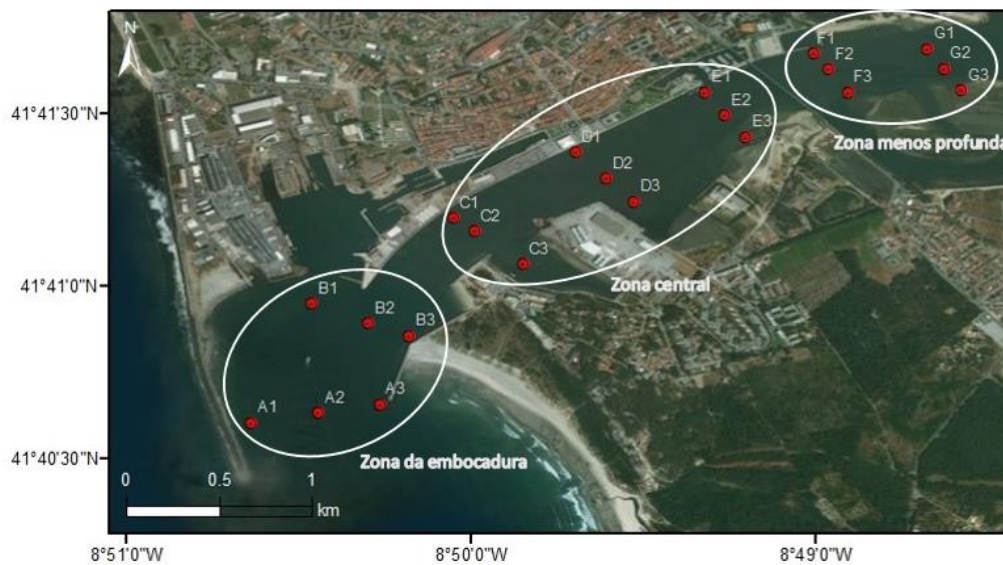


Figura 3.5: Divisão da área de estudo em 3 zonas distintas: zona da embocadura que envolve as secções A e B; zona central que corresponde às secções C, D e E; e por fim uma zona menos profunda referente às secções a montante da ponte Eiffel, F e G.

Zona da embocadura: Secções A e B

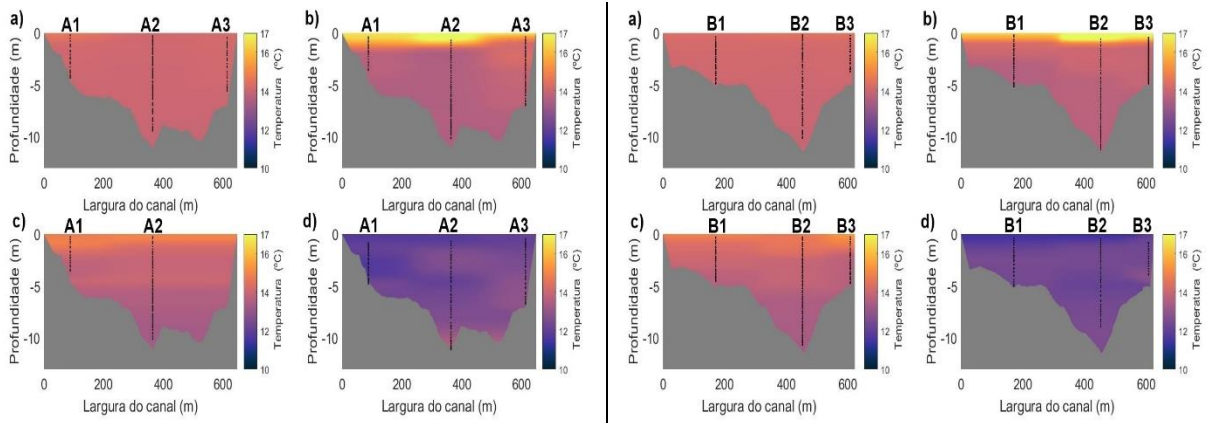


Figura 3.6: Secções transversais da temperatura da água ao longo das secções A e B na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Numa análise geral da Figura 3.6 é possível identificar uma camada de água à superfície mais quente no verão, e mais fria no inverno. Os máximos de temperatura da água em cada secção desta zona da embocadura ocorrem no verão, em A2 e B2 com valores de 16.99 °C e 17.46 °C, respetivamente. Os mínimos registam-se à superfície no inverno com valores de 11.65 °C em A1 e 11.10 °C em B2.

Nesta zona verifica-se ao longo do ano uma coluna de água geralmente homogénea em termos de temperatura da água, à exceção do verão onde em que se verifica estratificação (obteve-se uma variação de 3.00 °C desde a superfície até -1.50 m). O facto de na primavera e no verão os caudais fluviais e amplitudes de maré serem semelhantes (43.48 m³/s e 1.90 m, 40.89 m³/s e 1.82; respetivamente) poderia originar uma distribuição da temperatura da água semelhante. No entanto, existe um aquecimento superficial bastante mais intenso no verão que torna a densidade menor e promove a estratificação da coluna de água.

Entre as margens desta zona da embocadura não se verifica grande variação transversal dos valores de temperatura da água. Destaca-se o verão por apresentar o centro do canal e a margem direita da secção A, e a margem esquerda da secção B mais quentes à superfície. Estas estações (A1 e B3) correspondem a locais menos profundos da secção, o que poderá estar na origem de apresentarem valores maiores de temperatura da água à superfície em relação à outra margem.

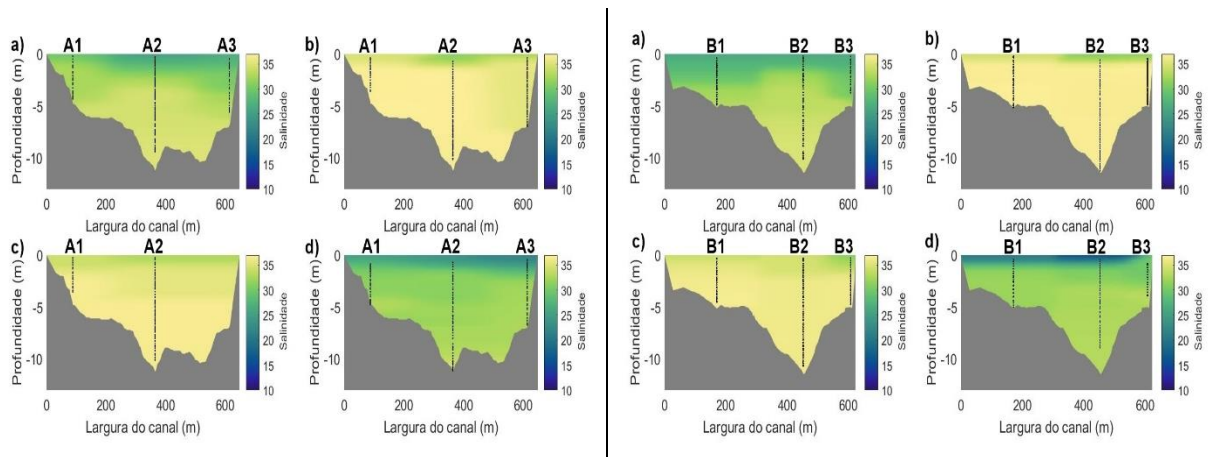


Figura 3.7: Secções transversais da salinidade ao longo das secções A e B na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Numa análise geral da Figura 3.7 é possível identificar em ambas as secções valores mais baixos de salinidade no inverno, e mais elevados no verão. Os máximos de salinidade em cada secção desta zona da embocadura ocorrem em profundidade no verão, em A1 e B1 com o valor de 36.54. Os mínimos registam-se à superfície no inverno com valores de 22.55 em A3 e 17.71 em B2.

Transversalmente existem algumas diferenças do valor de salinidade registado. Destaca-se a margem esquerda da secção B (estação B3) por apresentar valores de salinidade à superfície maiores na primavera e inverno, e menores no verão e outono. Quanto à secção A, é na estação A1 que se verificam sempre valores de salinidade superiores (à superfície e podendo atingir uma diferença de aproximadamente 4.00 em relação a A3). A diferença mais visível ocorre nas estações A2, A3 e B2, B3 no verão por apresentarem valores cerca de 2.00 maiores do que a outra margem.

Em suma, ao longo do ano esta zona apresenta uma coluna de água bem misturada sendo que é no inverno que se observa uma ligeira estratificação onde a variação vertical no primeiro -1.50 m chega a 13.00 na estação B2. O facto desta zona apresentar em maioritariamente do ano uma coluna de água relativamente homogénea tanto em termos de temperatura da água como de salinidade, está relacionado com a maior influência das correntes de maré sobre ela, que conseqüentemente promove a mistura da água.

Zona central: Secções C, D e E

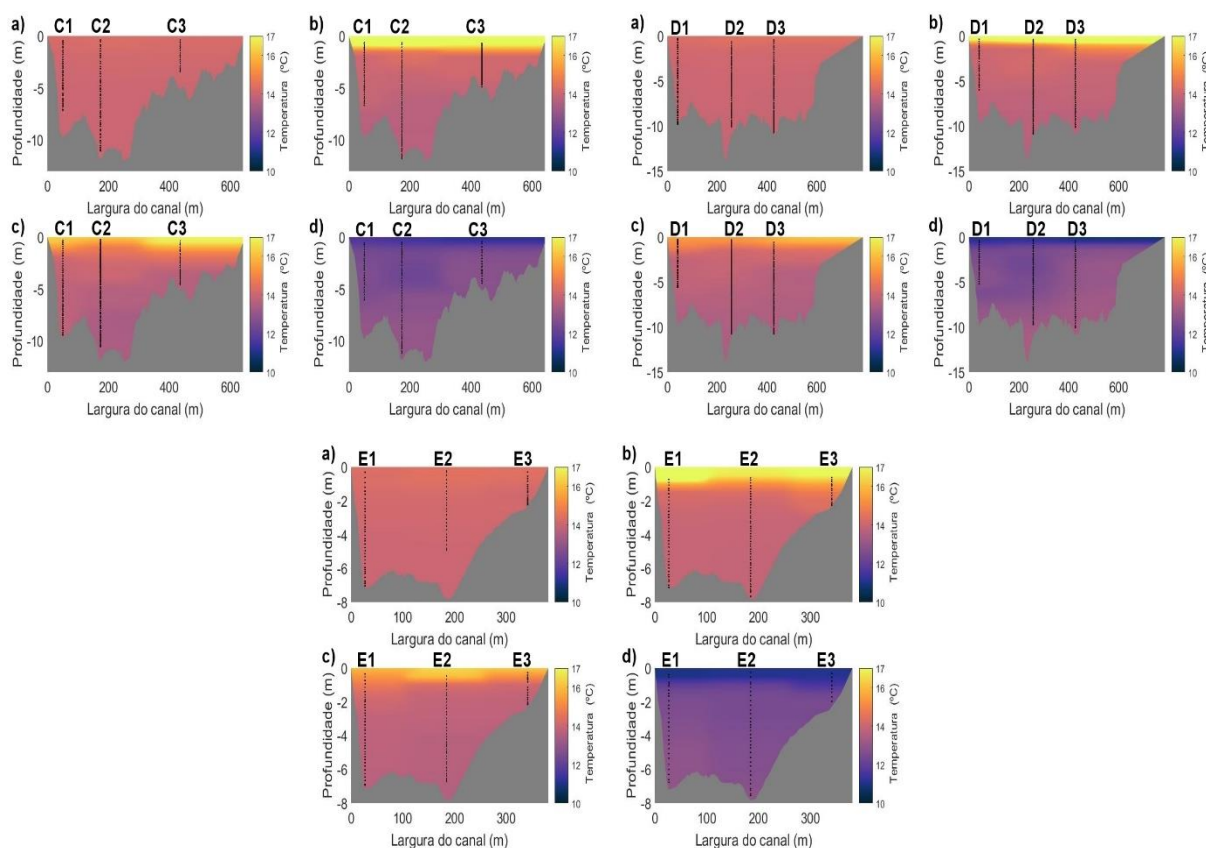


Figura 3.8: Secções transversais da temperatura da água ao longo das secções C, D e E na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Numa análise geral da Figura 3.8 é possível identificar o mesmo padrão da zona da embocadura, com a presença de uma camada de água mais quente à superfície no verão, e mais fria no inverno. Os máximos de temperatura da água em cada secção ocorrem no verão, em C2, D3 e E1 com valores de 19.14 °C, 18.79 °C e 17.94 °C, respetivamente; e, os mínimos registam-se à superfície no inverno com valores de 10.90 °C em C3, 10.64 °C em D3 e 10.50 °C em E1.

Esta zona central do estuário ao longo do ano apresenta algumas diferenças em comparação com a zona da embocadura à exceção da primavera onde a coluna de água mantém o mesmo padrão homogéneo. É possível verificar que nesta zona se observa uma estratificação intensa no verão onde à superfície existe uma camada de água aproximadamente 7 °C mais quente em relação ao inverno. No outono, a camada de água superficial também está mais quente do que para a mesma altura na zona da embocadura (cerca de 2.00°C). Uma justificação plausível será por se situar numa região menos a jusante, e conseqüentemente sentir menos o efeito antagónico da maré que promove a mistura, e em conjunto com a temperatura ambiente que registou valores próximos de 24.00 °C (no dia da campanha, Figura 2.5) gera aquecimento superficial da água, e assim maior estratificação.

Entre margens as temperaturas da água variam muito pouco, no entanto destacam-se as estações C3 e E2, no outono, pois apresentam valores de temperatura da água maiores (≈ 1.00 °C) do que os restantes locais da mesma secção até sensivelmente -1.00 m.

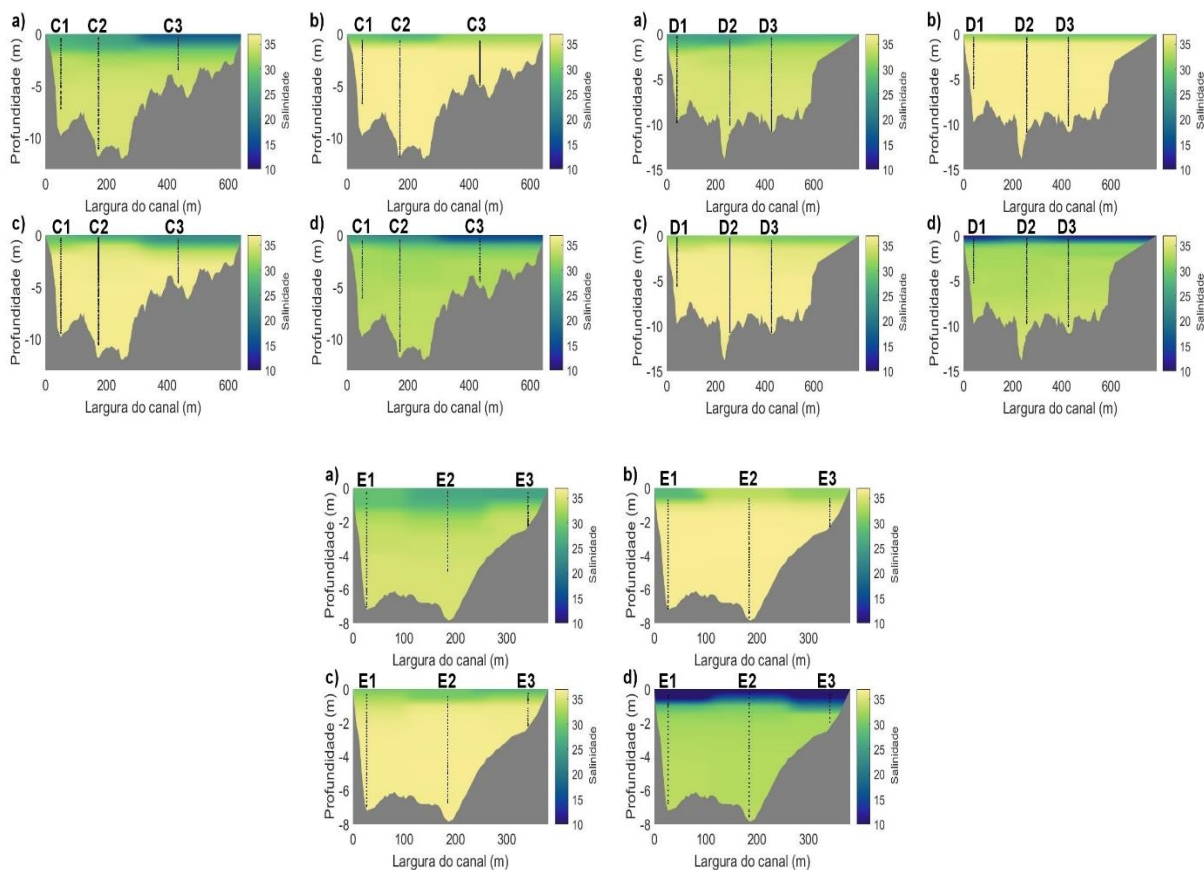


Figura 3.9: Secções transversais da salinidade ao longo das secções C, D e E na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Numa análise geral da Figura 3.9 é igualmente possível identificar à superfície uma camada de água com valores de salinidade menores no inverno, e maiores no verão. Os máximos de salinidade em cada secção desta zona da área de estudo ocorrem no verão em profundidade com valores de 36.40 (C2) e 36.33 (E3). Na secção D registou-se igual valor em profundidade de 36.29. Os mínimos registaram-se à superfície no inverno com valores de 16.06 em C3, 12.28 em D1 e 6.12 em E1.

De um modo geral ao longo do ano esta zona apresenta uma coluna de água parcialmente misturada em termos de salinidade, sendo que, é no inverno que se observa maior variação. O facto desta zona apresentar em maioritariamente do ano uma coluna de água parcialmente estratificada, está relacionado com o facto de se localizar numa zona mais interior do estuário. No inverno, a diferença de salinidade nos primeiros 1.14 metros de profundidade atingiu uma diferença de salinidade de 20.00, na estação E2. A maior estratificação verificada no inverno tem origem no maior caudal fluvial sentido ($87.33 \text{ m}^3/\text{s}$), que através do aumento da quantidade de água doce promove a estratificação.

Zona menos profunda: Secção F e G

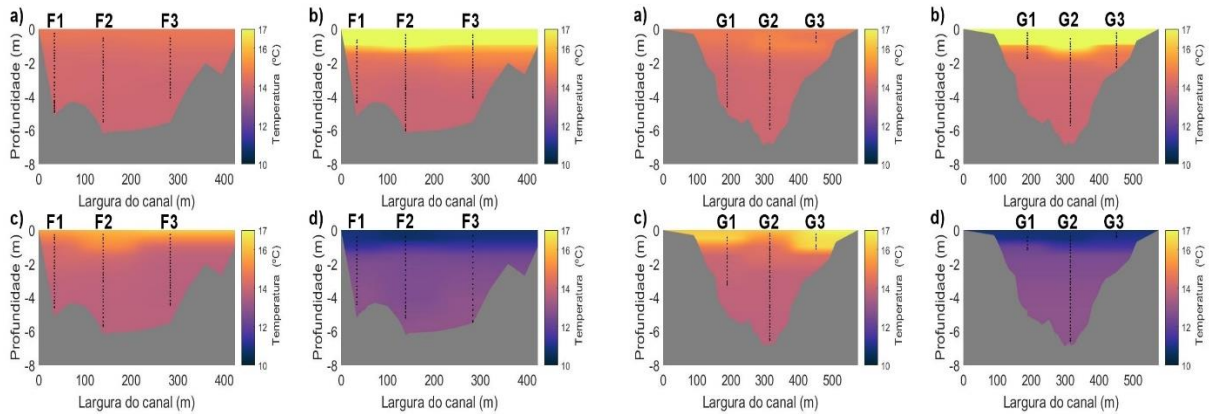


Figura 3.10: Secções transversais da temperatura da água ao longo das secções F e G na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Numa análise geral da Figura 3.10 é possível identificar o mesmo padrão da zona da embocadura, com a presença de uma camada de água mais quente à superfície no verão, e mais fria no inverno. Os máximos de temperatura da água em cada secção desta zona ocorrem à superfície no verão, em F2 e G1 com valores de 22.25 °C e 22.99 °C, respetivamente. Os mínimos registam-se à superfície no inverno com valores de 10.22 °C em F2 e 10.24 °C em G2.

Esta zona menos profunda da área de estudo apresenta ao longo do ano algumas diferenças em comparação com as zonas mais a jusante à exceção da primavera onde a coluna de água mantém o mesmo padrão homogéneo. É possível verificar que nesta zona se observa uma estratificação intensa no verão onde se atinge quase 9.00 °C de diferença entre a superfície e o fundo. Destaca-se a profundidade atingida pela camada de água quente à superfície no verão, tem um valor muito próximo à da zona central (1.50 m), no entanto nesta zona surge em toda a largura do canal. No outono, a camada de água superficial também apresenta valores de temperatura mais elevados a rondar os 15.00 e 16.00 °C. No inverno torna-se ainda mais evidente nesta secção a camada de água fria existente à superfície.

Entre margens as temperaturas da água variam muito pouco. No entanto, destaca-se o outono por apresentar maiores diferenças ao longo da mesma secção.

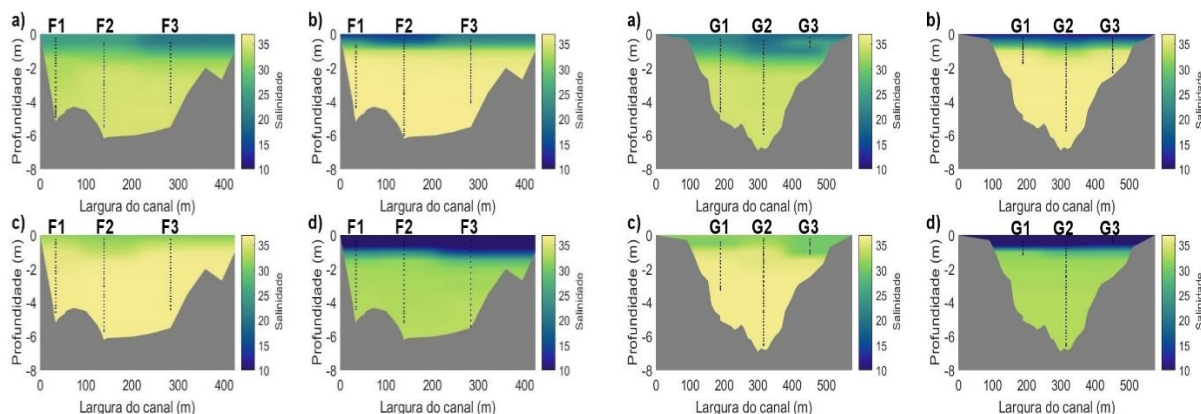


Figura 3.11: Secções transversais da salinidade ao longo das secções F e G na primavera (a), verão (b), outono (c) e inverno (d).

Numa análise geral da Figura 3.11 é possível identificar o mesmo padrão das zonas anteriormente mencionadas, onde se verifica a presença de uma camada de água mais quente à superfície no verão, e mais fria no inverno. Os máximos de salinidade em cada secção desta zona ocorrem em profundidade com valores de 36.40 em F1 e 36.19 em G2 no verão e outono, respetivamente. Os mínimos registam-se à superfície no inverno com valores de 3.67 em F1 e 3.49 em G3.

Nesta zona é notória a maior influência do caudal fluvial no inverno comparando com as outras. Apesar desta camada de água doce já aparecer na zona central da área em estudo, é nestas secções, F e G, de menores profundidades, que esta intrusão fluvial se estende ao longo da vertical. Existe uma diferença de 27.00 até -1 m.

Em suma, a maior estratificação verificada nesta zona ao longo do ano ocorre devido à conjunção de vários fatores como o facto de ser a região mais a montante e assim sofrer menos os efeitos das correntes de maré que iriam promover a mistura da água. O que justifica os máximos de estratificação no verão e inverno é por serem altura em que existe maior aquecimento superficial e maior caudal fluvial, respetivamente, que devido à menor densidade que provoca na água induz impulsão, e consequentemente estratificação.

3.3. Análise da velocidade e direção da corrente

Sob determinadas condições idealizadas, ou seja, considerando um curso de água reto sem rugosidade de fundo, a intensidade da velocidade de corrente aumenta com a distância ao fundo (Miranda *et al.*, 2002). No entanto, em ambientes costeiros a circulação é muito mais complexa, ocorrendo flutuações turbulentas de velocidade.

O canal do rio Lima é longitudinalmente orientado na direção OSO-ENE, admitindo movimento da foz para a cabeceira. De acordo com esse eixo longitudinal, valores de direção entre NNO e NE indicam movimento de enchente. É de lembrar que apenas se mediu a variabilidade da corrente nos locais centrais de cada secção (A2, B2, C2, D2, E2, F2, G2). Como a recolha de dados foi realizada no pico da preia-mar, teoricamente metade das secções foram analisadas em regime de vazante. Contudo, na prática o sentido da maré não inverte imediatamente, pelo que apesar de alguns locais a montante por vezes apresentarem evidências de vazante, esta será em consequência da constante presença de descarga fluvial. Considerando todas as campanhas hidrográficas, é na primavera que existem maiores intensidades da corrente em todo o estuário (com uma média de 0.30 m/s), e é no inverno que se verificam as menores (em média 0.13 m/s).

3.3.1. Primavera

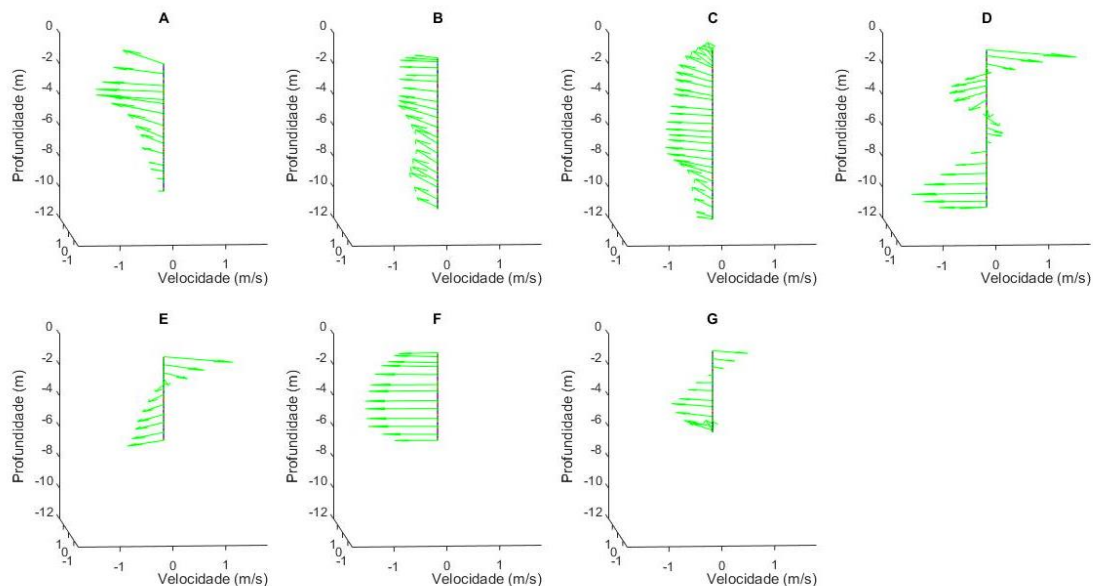


Figura 3.12: Intensidade e direção de corrente para os locais centrais das secções na primavera.

A Figura 3.12 apresenta a variabilidade vertical da velocidade de corrente na primavera. Em média, comparando com o resto do ano foi nesta estação que se verificaram as correntes mais intensas. Nesta altura do ano a média das intensidades máximas no estuário foi de 0.51 m/s, e, a média total no estuário de 0.30 m/s. O valor máximo registado foi de 0.63 m/s em B.

Nas secções A e B a corrente à superfície tem direção para oeste que indica influência fluvial (onde se verificaram salinidades de 26.03 e 26.21; respetivamente), e conforme se aproxima do fundo vai havendo rotação para norte (que indica enchente) de uma massa de água com salinidade média de 34.4. A secção C também apresenta uma variação de rotação de noroeste para norte a partir sensivelmente dos -4 m. No ponto D, destaca-se à superfície uma corrente com direção sudeste. Uma justificação plausível será o facto de ser a entrada do porto comercial de Viana do Castelo, ou seja, a corrente contorna a margem. A partir dos -2 m ocorre uma rotação de corrente para sudoeste, sendo que junto ao fundo tem a direção oeste (direção de vazante). Em E e G, tal como na secção D, existe à superfície corrente com direção sudeste que, conforme se desce na coluna de água roda para o quadrante sudoeste. Nesta zona menos profunda destaca-se a secção F, que não possui a mesma direção de corrente superficial das secções adjacentes, sendo que em toda a extensão vertical está bem vincada a direção de vazante.

Embora nas secções perto da embocadura (A, B e C) exista uma corrente que acompanha a orientação do canal e que sugere uma intrusão marinha em profundidade, a partir da secção D a massa de água em profundidade passa a deslocar-se para oeste, o que sugere vazante mesmo apresentando valores médios de salinidade relativamente elevados (34). Adicionalmente os valores elevados de intensidade de corrente ao longo de toda a área de estudo na primavera poderão explicar a baixa estratificação da água, em termos de temperatura da água, até nas zonas pouco profundas.

3.3.2. Verão

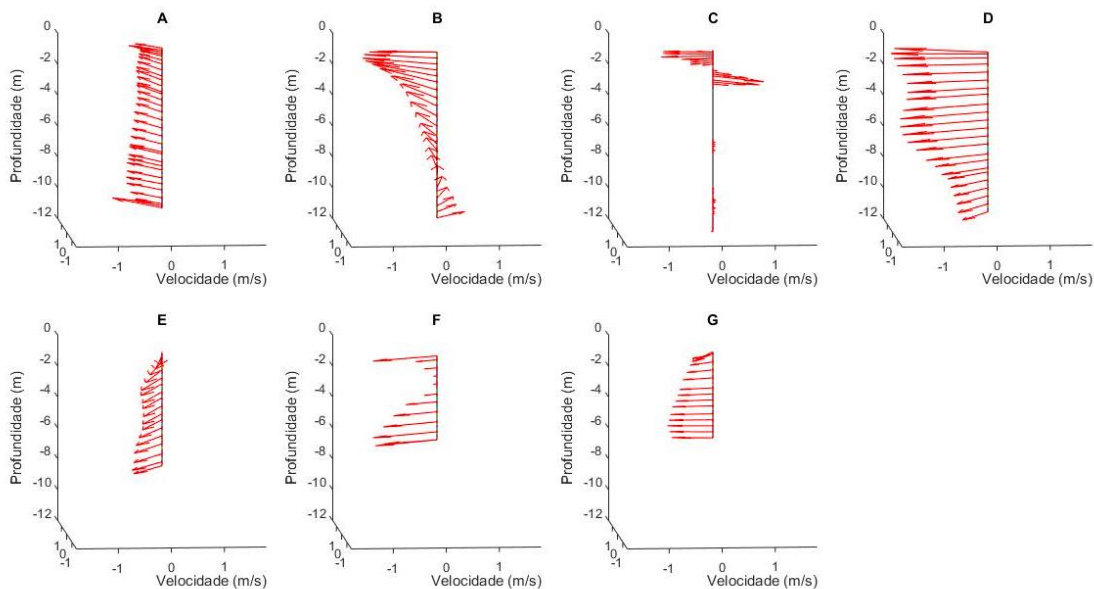


Figura 3.13: Intensidade e direção de corrente para todos os locais centrais das secções no verão.

Analisando os perfis verticais da intensidade da corrente no verão (Figura 3.13), verificou-se que a média das velocidades máximas nesta estação do ano foi de 0.36 m/s, e, a média total no estuário de 0.22 m/s. O máximo de velocidade de corrente ocorreu na secção A (0.57 m/s).

Dado que a entrada do estuário está virada para su-sudeste, observa-se em toda a extensão da secção A uma corrente com direção nor-noroeste com média de salinidade de 36.49, que representa a enchente. Neste local não existe qualquer influência de descarga fluvial, apenas da ondulação e enchente de maré. Já na secção imediatamente a seguir, B, observa-se uma rotação perfeita da corrente que demonstra uma água superficial com salinidade igual a 32.18 com sentido oeste, e outra em profundidade de 36.45 para nor-nordeste.

Dos restantes locais, destacam-se os valores nulos de intensidade de corrente sentida em C, que apresenta massas de água adjacentes com direções totalmente opostas passando de 235.00° para 146.70°. É de notar que, o pico da maré cheia se deu às 12h29 min, momento em que se retirou os dados nesta secção C, podendo assim também estar a sofrer influência do estofo da maré. Em D, E, F e G observam-se correntes em profundidade com direção sudoeste (vazante).

3.3.3. Outono

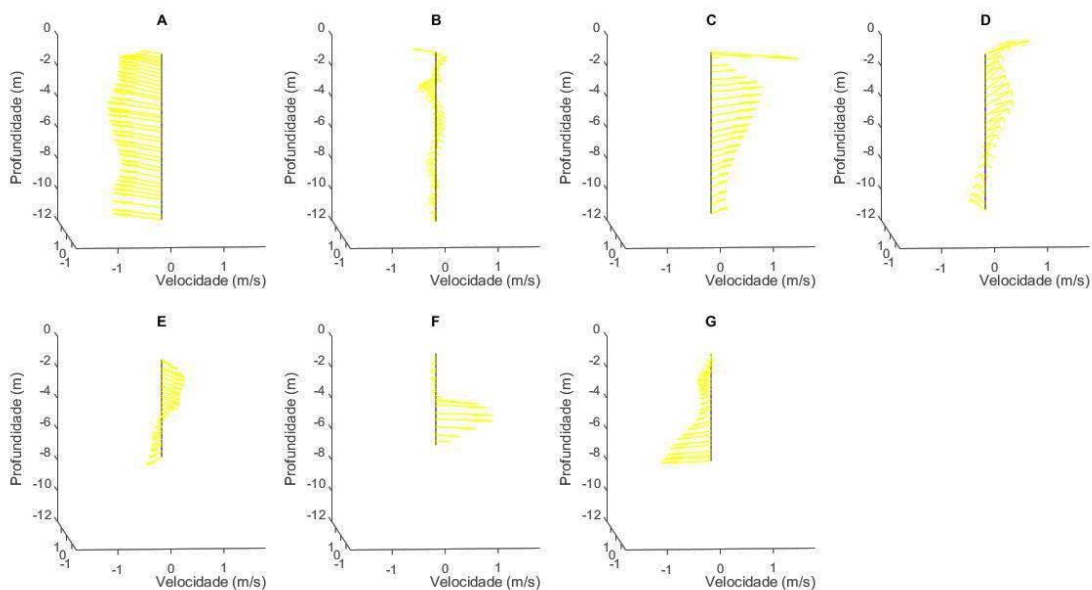


Figura 3.14: Intensidade e direção de corrente para todos os locais centrais das secções no outono.

A Figura 3.14 apresenta a variação da corrente na vertical ao longo do estuário no outono. A média das velocidades máximas no outono foi de 0.40 m/s, e a média total no estuário de 0.24 m/s. Os máximos (como nas estações do ano anteriores) estão localizados na embocadura, sendo que a secção A apresenta um valor máximo medido de 0.48 m/s. Trata-se da segunda altura do ano com maiores velocidades registadas (a seguir à primavera) e onde ocorreu a uma amplitude de maré de 2.11 m (a maior tendo em conta os outros dias de campanha).

Em C surge pela primeira vez um perfil indicativo de enchente em toda a sua extensão, o que acontece também em G. D, E e F são secções adjacentes que apresentam direções diferentes na coluna de água.

3.3.4. Inverno

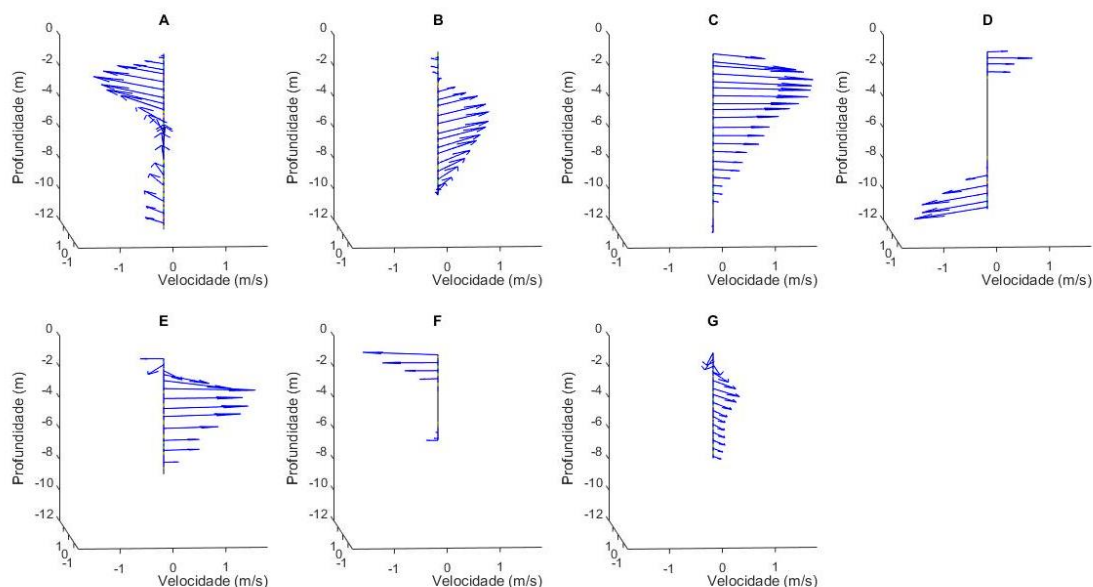


Figura 3.15: Intensidade e direção de corrente para todos os locais centrais das secções no inverno.

No inverno (Figura 3.15) registaram-se velocidades de correntes mais baixas. A média das máximas no estuário foi de 0.30 m/s, e a média total no estuário de 0.13 m/s (cerca de 0.17 m/s inferior à da primavera). O máximo (ao contrário das estações do ano anteriores) está localizado na secção mais a montante, secção G, apresentando uma média de 0.25 m/s. Este valor máximo ocorre devido ao maior caudal fluvial sentido nesta altura (cerca de 87.33 m³/s).

Nas secções A, B e C verifica-se, mesmo estando na estação das chuvas, a existência de uma corrente em toda a extensão vertical a penetrar pelo estuário. No entanto, estas apresentam uma velocidade menor em comparação com o resto do ano, que provavelmente poderá ser explicado pela maior descarga fluvial característica desta época que atinge o estuário com direção totalmente contrária à enchente, atenuando assim a intensidade da corrente sentida.

4. Conclusão

O principal objetivo deste trabalho foi caracterizar hidrograficamente a parte mais a jusante do estuário do Lima. Com vista no seu cumprimento foram realizadas 4 campanhas hidrográficas ao longo de um ano e através dos dados adquiridos executaram-se figuras para análise vertical, longitudinal e transversal da temperatura da água e salinidade; e, representações 3D da intensidade e direção de corrente.

O estuário do Lima é considerado como estuário de mistura parcial, sendo que apresenta maior estratificação em termos de temperatura da água no verão e de salinidade no inverno. A intensidade da estratificação é dependente da sazonalidade, caudal fluvial, aquecimento superficial, correntes de maré e zona do estuário.

Os dados de temperatura da água mostraram uma variabilidade sazonal, apresentando em média valores superiores no verão e mais baixos no inverno. Foi atingida uma diferença máxima de 12.76 °C à superfície entre o valor mínimo registado (no inverno) e o máximo (no verão). Do ponto de vista da temperatura da água, a estratificação do estuário varia de acordo com a intensidade da corrente e o aquecimento superficial. Maiores velocidades de corrente promovem uma coluna de água homogénea, como se verificou na primavera. Por sua vez o aquecimento superficial intenso no verão provoca diminuição da densidade e induz impulsão, e consequentemente estratificação.

Os valores de salinidade também apresentaram sazonalidade devido à influência do caudal fluvial no estuário, atingindo valores máximos em profundidade no verão e outono (na embocadura), e mínimos à superfície no inverno (na zona mais a montante da área de estudo). A diferença entre o máximo e mínimo registado chega a 33.09. Este facto relembra a maior influência em ambientes estuarinos da salinidade sobre a densidade da água, por ser a variável com maior variação. A classificação do estuário do ponto de vista da salinidade, varia com o caudal fluvial, desde parcialmente estratificado (como no inverno) e parcialmente misturado (resto do ano).

A menor estratificação sentida na zona da embocadura ocorre provavelmente por a secção A e B serem zonas mais dinâmicas, com velocidades de correntes médias mais fortes, que promovem a mistura de água. Deste modo, da embocadura em direção a montante a profundidade do canal diminui (cerca de 6.00 m) e o valor do mínimo de temperatura da água registado também. Por sua vez o valor máximo de temperatura da água aumenta. Em suma, pode-se concluir que a temperatura da água na zona menos profunda é mais quente no verão (até 6.00 °C) e mais fria no inverno (apenas 1.00 °C), em relação ao resto da área de estudo.

Quanto às correntes, os máximos ocorrem na zona da embocadura (secções A e B apresentam média anual de 0.32 m/s e 0.27 m/s, respetivamente) onde está sempre presente intrusão marinha. As correntes na secção D e E sofrem influência da entrada do porto comercial e da marina, respetivamente. A secção F, que está imediatamente a seguir à ponte, revela sempre um perfil uniforme na coluna de água com direção de vazante, à exceção do outono; o mesmo padrão é observado na secção G, exceto no inverno. É de enfatizar que não se observou um padrão em profundidade para a ocorrência dos máximos e mínimos de velocidade de corrente, uma vez que esta varia muito de secção para secção, e sazonalmente. Para uma futura

análise completa da dinâmica de correntes seria necessária a recolha de mais dados, utilizando por exemplo um equipamento ADCP que tanto sendo rebocado pela embarcação ou estando instalado num local permite obter um perfil vertical de velocidade espacialmente ou temporalmente, respetivamente.

Apesar de apenas se terem realizado quatro campanhas hidrográficas no estuário, foi possível analisar as variações verticais, espaciais e sazonais das diferentes variáveis no pico da preia-mar. Contudo, para a realização de uma caracterização hidrodinâmica completamente ilustradora do comportamento das variáveis analisadas, seria essencial efetuar recolha de dados em mais locais ao longo do estuário e até zonas mais a montante, ou fazer a recolha mais vezes ao longo do ano e ao longo de um ciclo completo de maré. Outra opção passaria por inserir estações fixas ao longo do estuário, quer para recolha de dados de salinidade e temperatura da água, quer para obtenção de perfis verticais de correntes.

5. Referências

- Barnes, S. L. (1994) Applications of the Barnes objective analysis scheme. Part I: effects of undersampling, wave position, and station randomness. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 11, 1433-1448.
- Cameron, W. M., Pritchard, D. W. (1963). Estuaries. In *The Sea*. Wiley & Sons New York, 2, 306–324.
- Carter, R. W. G. (1988). Coastal environments: an introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines, Elsevier, 1-617.
- Costa, N.C.D.B., Venâncio, S.S., Vieira, J.M.P., Pinho, J.L.S. (2017). Análise Hidrodinâmica do Estuário de Rio Lima, Portugal, a Partir de Simulação Numérica. *Revista Ambiente & Água*, 12(3), 476-488.
- Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A., & Boyd, R. (1992). Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), 1130-1146.
- Duarte, A.A.L.S., Vieira, J.M.P. (1997). Caracterização dos Ambientes Estuarinos. Mistura em Estuários. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Portugal, 41-55.
- Lourenço, C.S. (2012). Dinâmica da Duna Frontal em Função das Intervenções Humanas. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento. 186p.
- MacCready, P. (1999). Estuarine adjustment to changes in river flow and tidal mixing. *Journal of Physical Oceanography*, 708-726.
- McDougall, T.J., Barker, P.M. (2011). Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox, SCOR/IAPSO WG127, ISBN 978-0-646-55621-5, 28p.
- Mendes, F.R.G. (2009). Contributos para o Plano do Estuário do Rio Lima. Relatório de Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, 244p.
- Miranda, L. B., Andutta, F. P., Kjerfve, B., & de Castro Filho, B. M. (2017). Fundamentals of estuarine physical oceanography, 8. Singapore: Springer.
- Miranda, L. B. (2002). Princípios de Oceanografia Física de Estuários, 42, 1-411. Edusp
- Pond S., Pickard G.L. (1983). Introductory Dynamical Oceanography. Gulf Professional Publishing, 1-327p.
- PROMAN - CENTRO DE ESTUDOS E PROJECTOS SA, (2006). Projeto das obras de 1ª fase de expansão portuária do porto de Viana do Castelo. Lisboa (2006).
- Santos, F.D., Lopes, A.M., Moniz, G., Ramos, L., Taborda, R., (2014). Gestão da Zona Costeira - O Desafio da Mudança. *Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral: Lisbon, Portugal*.
- Silva, M.C. (2000). Estuários – Critérios para uma classificação ambiental, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5(1), 25-35.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography*, 1-358.

Vale, L.D.C.M. (2008). Estudo Hidrodinâmico do Porto de Viana do Castelo. Dissertação de apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciências das Zonas Costeira à Universidade de Aveiro, 164p.

Ventura, C., Sousa, J., & Fernandes, A. (2017). Os estuários e as alterações climáticas: impactes da subida do nível médio das águas do mar em Vila Franca de Xira. *GOT, Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 11, 327-350.

Vieira, L.R., Guilhermino, L., Morgado, F. (2015). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, 347-367.

Vieira, J.M.P., Pinho, J.L.S. (2010). Distribuição Salina na Embocadura e Estuário do Rio Lima em Diferentes Regimes Hidrodinâmicos. *Recursos Hídricos*, 31(2), 10p

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto AquiMap (MAR-02.01.01-FEAMP-0022), cofinanciado pelo programa MAR2020, Portugal 2020 e União Europeia através do Fundo Europeu dos Assuntos Marítimos e das Pescas.

