



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DANIEL BRANDT GALVÃO

DINÂMICA DAS CORRENTES DE RETORNO DA PRAIA DO CUPE,
LITORAL SUL DO ESTADO DE PERNAMBUCO

RECIFE

2018

DANIEL BRANDT GALVÃO

DINÂMICA DAS CORRENTES DE RETORNO DA PRAIA DO CUPE,
LITORAL SUL DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia. Área de concentração: oceanografia abiótica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira

RECIFE

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

G182d Galvão, Daniel Brandt.
Dinâmica das correntes de retorno da praia do Cupe, litoral sul do Estado de Pernambuco / Daniel Brandt Galvão. - 2018.
54 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2018.
Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Correntes de retorno. 3. Derivadores lagrangeanos. 4. Zona de surfe. 5. Padrões de circulação. I. Pereira, Pedro de Souza. (Orientador). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2018-113

DANIEL BRANDT GALVÃO

DINÂMICA DAS CORRENTES DE RETORNO DA PRAIA DO CUPE,
LITORAL SUL DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (orientador) – Presidente, Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Elirio Ernestino Toldo Junior – Titular Externo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Carlos Augusto França Schettini – Titular Interno, Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Pedro de Souza Pereira, pela oportunidade, atenção, paciência, ensinamentos e amizade.

Aos amigos e professores dos Laboratórios de Oceanografia Geológica e Hidrodinâmica Costeira que contribuíram na construção deste trabalho.

A todos amigos e profissionais do Departamento de Oceanografia da UFPE.

A CAPES e o CNPq pelo fomento da bolsa e apoio no projeto, respectivamente.

A minha família pelo amor incondicional.

A todos que de alguma forma me ajudaram neste mestrado.

Gratidão.

RESUMO

Correntes de retorno são correntes fortes, estreitas e em sentido ao mar, que se originam próximo à costa e se estendem através da zona de surfe. Sua morfologia se divide em três partes principais: alimentador, pescoço, cabeça. Entender a dinâmica das correntes de retorno na praia do Cupe frente as condições hidrodinâmicas e topográficas são os principais objetivos deste trabalho. A partir de um experimento de campo, com duração de cinco dias, foram obtidos dados lagrangeanos das correntes da zona de surfe através de 218 lançamentos de derivadores. Dados hidrodinâmicos: nível do mar, altura e período das ondas foram adquiridos através de um perfilador acústico instalado fora dos limites da zona de surfe. Dados de direção das ondas foram obtidos através de modelo numérico. Direção e intensidade dos ventos foram obtidos a partir de uma estação meteorológica instalada a 10km do local do experimento. Adicionalmente, foi realizado levantamento topográfico do perfil intermareal utilizando um par de GPSs cinemáticos e imagens temporais da zona de surfe foram obtidas por meio de um sistema de vídeo imageamento. O comportamento dos derivadores foi analisado e apontaram para existência de cinco padrões de circulação: fuga, deriva longitudinal, circulação em célula, circulação com fuga e retorno a praia. As maiores alturas de ondas e os menores níveis de maré foram os parâmetros responsáveis por correntes com maior intensidade na zona de surfe bem como o ângulo de incidência das ondas mostrou ter grande influência na direção resultante das correntes, bem como, a topografia mostrou ter um papel regulador, com a localização das correntes ficando sujeitas as alterações dos canais e bancos. A intensidade média das correntes foi de 0,52 m/s atingindo velocidades de até 2,04 m/s.

Palavras-chave: Correntes de retorno. Derivadores lagrangeanos. Zona de surfe. Padrões de circulação.

ABSTRACT

Rip currents are strong, narrow and offshore-directed jets of water that are originated in the surf zone. The morphology of the rip currents is divided into three main parts: feeder, neck and head. The aim of this study is to understand the rip current dynamics at Cupe beach regarding the hydrodynamic and topographic conditions. During five days in a field experiment, lagrangian flow data was obtained using GPS drifters with 218 individual deployments. Hydrodynamic data: sea level, wave height and period were acquired through an Acoustic Doppler Profiler installed outside the surf zone edge. Wave direction data were obtained from WWIII numerical model. Wind direction and intensity were obtained from a meteorological station located 10km away from the experiment site. A topographic survey of the intertidal profile was carried out using a pair of kinematic GPS's and temporal images of the surf zone were obtained through a video imaging system. Through the analysis of the drifter's behavior it was possible to identify five circulation patterns: exit, longitudinal drift, cell circulation, exit circulation and return to the beach. The highest wave heights and the lowest tide levels were the parameters responsible for currents with higher intensity in the surf zone as well as the wave incidence angle showed to have great influence in the currents flow direction. The rip currents were predominant in 6.88% of the deployments, their average intensity was 0.52 m/s reaching speeds of 2.04 m/s.

Keywords: Rip currents. Lagrangian drifters. Surf zone. Circulation pattern.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Morfologia de uma corrente de retorno.	13
Figura 2. Sete tipos de correntes de retorno: (a) Corrente de retorno transversal entre bancos. (b) Correntes de retorno semifechadas com saídas ocasionais. (c) Correntes de retorno associada a estruturas fixas (e.g. um cais). (d) Mega corrente de retorno associada a praias de enseada. (e) Correntes de retorno de espraiamento. (f) Correntes de retorno formadas por ondas incidentes em ângulos oblíquos; (g) Correntes de retorno formadas por ondas chegando com ângulo normal a praia.	14
Figura 3. Classificação de estados praias. MHW (nível médio na preamar) e MLW (nível médio na baixa-mar).	17
Figura 4. Praia do Cupe, localizado ao sul do Estado de Pernambuco (esquerda). No meio uma imagem com vista superior de toda a praia. A direita (acima) a forma circular indica o local onde foi realizado o experimento, e onde é possível ver outras correntes de retorno adjacentes; e uma imagem do tipo <i>snap</i> (abaixo) que fornece uma vista lateral da praia.	18
Figura 5. Embarcação utilizada para a manobra de fundeio do ADCP.	20
Figura 6. Demonstração dos feixes emitidos pelo ADCP.	21
Figura 7. Exemplos de termos utilizados em análises de ondas.	21
Figura 8. Tipos de imagens produzidas pelo sistema Orasis: Snap (a), Variance (b) e Timex (c).	24
Figura 9. Levantamento topográfico.	25
Figura 10. Descrição do derivador utilizado neste trabalho.	26
Figura 11. Lançamentos dos derivadores: (a) Visão ampla do local da praia escolhido para os lançamentos; (b) Equipe se aproximando ao mesmo tempo do local de lançamentos; (c) Entrando na corrente alimentadora; (d) Ativando o GPS e liberando os derivadores na corrente alimentadora; (e) Derivadores sob influência da corrente alimentadora; (f) Derivadores entrando no pescoço da corrente de retorno.	27
Figura 12. Dados hidrodinâmicos, (a) Nível do mar; (b) Altura das ondas; (c) Período das ondas; (d) Direção das ondas; (e) Velocidade dos ventos; (f) Direção dos ventos.	29
Quadro 1. Parâmetros meteoceanográficos durante os intervalos de lançamento (6h as 16h).	30
Figura 13. Imagens do tipo timex retificadas em sequência temporal, das 6h (a) até as 16h (l).	33

Figura 14. O mapa de superfície oriundo do levantamento topográfico. A forma elíptica e o trecho do mapa destacado a direita indicam o canal onde ocorreram os lançamentos; as setas pretas indicam a existência de outros canais de correntes de retorno tanto ao norte como a sul do local de lançamentos.....	34
Figura 15. Padrões de circulação do primeiro dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.	36
Figura 16. Padrões de circulação no segundo dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.	37
Figura 17. Padrões de circulação do terceiro dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.	38
Figura 18. Padrões de circulação no quarto dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.	39
Figura 19. Padrões de circulação no quinto dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.	40
Figura 20. Fugas dos derivadores causado por diferentes correntes de retorno ao longo da praia do Cupe: (a) corrente ao norte do local de lançamentos, (b) corrente de retorno no local de lançamentos; (c) corrente de retorno ao sul.	41
Quadro 2. Comportamentos, taxa de observação e ocorrência em cada nível de maré.....	43
Figura 21. Em a: Intensidade das correntes na área delimitada, a forma geométrica representa a intensidade de cada horário de lançamento. Em b, nível do mar e em c: altura significativa das ondas. A linha vermelhada tracejada representa a média geral de cada parâmetro.	44
Quadro 3. Taxa de momentos onde a intensidade das correntes e a altura das ondas estiveram acima ou abaixo da média geral de cada parâmetro em cada dia de campo considerando o período de lançamentos (6g – 16h).....	45

Figura 22. Ocorrência das correntes de retorno em relação ao (a) nível do mar; (b) altura significativa das ondas; (c) direção das ondas e; (d) intensidade dos ventos.	46
Figura 23. <i>Stem plot</i> indicando as intensidades médias (círculos vermelhos) e as médias dos picos de intensidades (círculos pretos vazios) das correntes de retorno.....	47
Figura 24. Perfil de intensidade das correntes de retorno na preamar. O eixo x corresponde a quantidade de pontos da amostra, onde cada ponto corresponde a 2 segundos.	48
Figura 25. Perfil de intensidade das correntes de retorno na baixa-mar. O eixo x corresponde a quantidade de pontos da amostra, onde cada ponto corresponde a 2 segundos.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	PROPOSTA DO TRABALHO E OBJETIVOS.....	11
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	12
2	CARACTERIZAÇÃO DAS CORRENTES DE RETORNO.....	13
2.1	ONDAS.....	15
2.2	MARÉ.....	15
2.3	TOPOGRAFIA.....	16
3	ÁREA DE ESTUDO.....	18
4	MATERIAS E MÉTODOS.....	19
4.1	EXPERIMENTO DE CAMPO.....	19
4.2	DADOS EULERIANOS.....	19
4.3	DIREÇÃO DAS ONDAS.....	22
4.4	INTENSIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS.....	23
4.5	SISTEMA DE VÍDEO IMAGEAMENTO.....	23
4.6	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	25
4.7	DADOS LAGRANGEANOS.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1	CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	28
5.2	SISTEMA DE VÍDEO IMAGEAMENTO.....	31
5.3	TOPOGRAFIA.....	33
5.4	DADOS LAGRANGEANOS.....	34
5.4.1	Padrões de circulação.....	35
5.4.2	Análise dos padrões de circulação.....	40
5.4.3	Análise geral da intensidade das correntes.....	43
5.5	CORRENTES DE RETORNO.....	45
5.5.1	Ocorrência das correntes.....	45
5.5.2	Intensidade das correntes.....	46
5.5.3	Variação da intensidade.....	47
6	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O ambiente praias é um dos mais dinâmicos do planeta apresentando variações temporais e espaciais que vão desde a escala de segundos e milímetros a séculos e quilômetros (HOLMAN, 1995). Estas variações fazem com que a cada segundo a praia se molde as forças hidrodinâmicas, impulsionadas principalmente pelas ondas e pela variação da maré, resultando em variações morfológicas do perfil (MASSELINK et al., 2011).

Compreender a dinâmica das correntes de retorno é uma ferramenta importante para o gerenciamento costeiro em vários aspectos, uma vez que, elas têm um papel fundamental em diversos processos, sobretudo, na circulação tridimensional da zona de surfe, podendo influenciar no transporte e dispersão de poluentes, nutrientes e espécies biológicas em águas costeiras (SHANKS et al., 2010), bem como no transporte de sedimentos em direção ao mar aberto (AAGAARD; GREENWOOD; NIELSEN, 1997), na morfodinâmica praias de curto termo (MICHALLET et al., 2013) e na erosão localizada da base das dunas durante tempestades (THORNTON et al., 2007; BIRRIEN et al., 2013). Além disso, tais correntes são consideradas um perigo letal, levando banhistas com as mais variadas habilidades de natação para águas com maiores profundidades em apenas a alguns segundos (SHORT; HOGAN, 1993), estes riscos, quando não corretamente gerenciados, podem resultar em vítimas fatais, gerando negativos impactos econômicos ao turismo (LI, 2016). Nas praias do Reino Unido, as correntes de retorno representam mais de 67 % da causa dos afogamentos, nos Estados Unidos esse número vai para 80 %, já na Austrália, a expressivos 89 % (WOODWARD et al., 2013, HERKER et al., 2008; SLSA, 2011; USLA, 2012; LI, 2016).

No Brasil, estudos sobre correntes de retorno ainda é uma temática sub explorada, principalmente se tratando de estudos lagrangeanos e com a complexidade metodológica proposta no experimento deste trabalho. A coleta de dados de curto e médio termo são uma fonte primária de dados para a validação de simulações numéricas, e que, em escala mundial, ainda carecem de dados obtidos de forma lagrangeana.

1.2 Proposta do trabalho e objetivos

O principal objetivo desta dissertação é compreender a dinâmica das correntes de retorno da praia do Cupe frente às condições hidrodinâmicas e topográficas. O aspecto inédito, em âmbito nacional, deste trabalho é a utilização de derivadores lagrangeanos, e em

escala mundial, a geração de dados sobre o comportamento das correntes de retorno através deste método contribui para validação de modelos numéricos.

Os objetivos específicos são:

- i. Analisar a relação entre a topografia e as correntes de retorno;
- ii. Analisar a relação entre a intensidade das correntes e a variação da altura da maré;
- iii. Analisar a relação entre a intensidade e direção das correntes e os parâmetros de ondas e ventos.

1.3 Organização do trabalho

O texto a seguir está organizado da seguinte forma:

Capítulo 2: Caracterização das correntes de retorno

Este capítulo tem como objetivo caracterizar as correntes de retorno e mostrar, de forma resumida, como a literatura descreve a ação das ondas, marés e topografia sobre as correntes de retorno.

Capítulo 3: Área de estudo

É feita uma caracterização da área de estudo.

Capítulo 4: Materiais e métodos

Neste capítulo são descritos como foi realizado o experimento de campo, a forma de obtenção e processamento dos dados.

Capítulo 5: Resultados e discussão

Os resultados estão divididos em três partes principais. **Condições ambientais:** apresenta e descreve os resultados de todos os parâmetros obtidos durante o período do experimento. **Padrões de circulação,** descreve os principais comportamentos que os derivadores tiveram ao serem lançados na zona de surfe. **Correntes de retorno,** analisa os comportamentos atribuídos exclusivamente a correntes de retorno, ou seja, onde foi observado uma feição morfológica completa que caracteriza a mesma (i.e., corrente alimentadora, pescoço e cabeça) dentro da área delimitada.

Capítulo 6: Conclusões

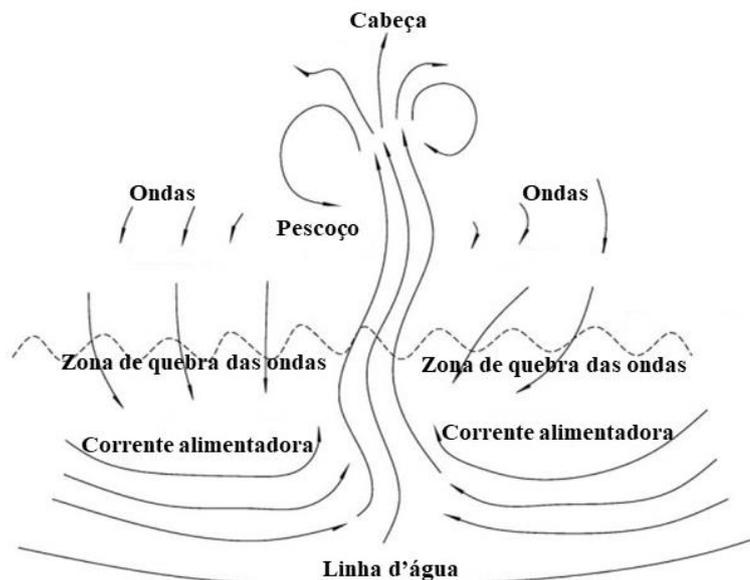
Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões desta dissertação e sugestões de continuidade deste trabalho.

2 CARACTERIZAÇÃO DAS CORRENTES DE RETORNO

As correntes de retorno são correntes fortes, estreitas e em sentido ao mar, que se originam próximo à costa e se estendem através da zona de surfe (KOMAR, 1998; BRANDER; SHORT, 2000). Sua morfologia (Figura 1), se divide em três partes principais: (a) alimentador, (b) pescoço e (c) cabeça (SHEPARD et al., 1941).

- (a) Alimentador: corrente paralela à costa que transporta água desde os pontos de maior gradiente de pressão onde se produz a quebra das ondas (bancos) até os pontos mais profundos e, portanto, com menor gradiente de pressão (canal);
- (b) Pescoço: corrente transversal à costa em sentido ao mar aberto, impulsionada pelas correntes alimentadoras. É a região na qual as correntes de retorno alcançam as suas maiores velocidades;
- (c) Cabeça: local de dispersão das correntes de retorno, onde a mesma desacelera e é identificada por ser uma região onde a água estará mais escura do que a do entorno, devido ao transporte de sedimentos que a corrente de retorno provoca.

Figura 1. Morfologia de uma corrente de retorno.

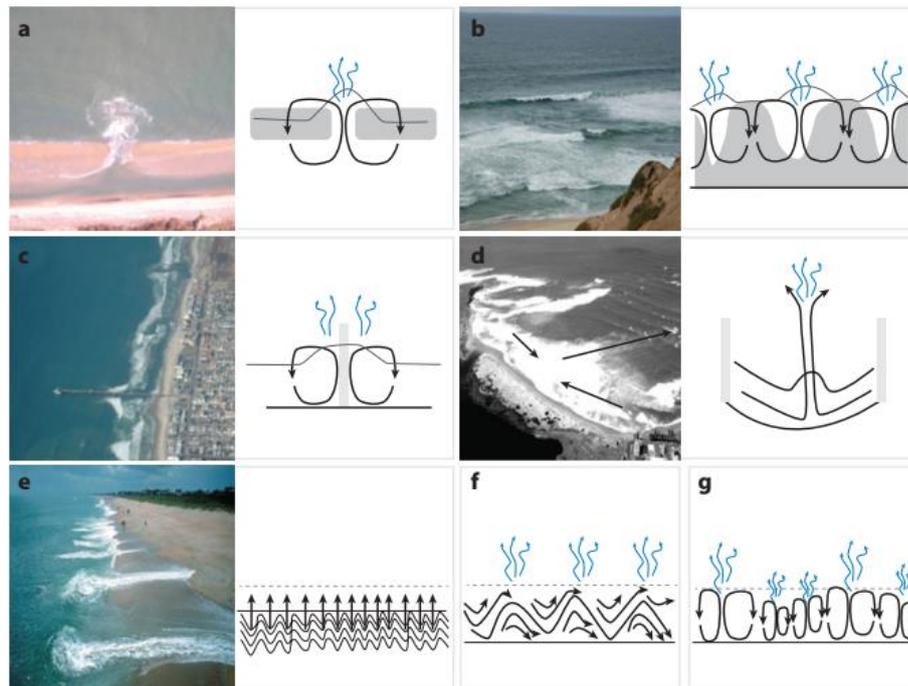


Fonte: Adaptado de MacMahan et al., 2006.

As correntes de retorno podem ocorrer sob variadas condições de ondas, níveis de maré e batimetria (WRIGHT; SHORT, 1984; SHORT, 1985; DALRYMPLE et al., 2011), assim como, em diversos tipos de praias, como praia de enseada, praias abertas ou ainda, em

praias com ou sem a presença de estruturas de engenharia rígida (Figura 2) (DALRYMPLE et al., 2011).

Figura 2. Sete tipos de correntes de retorno: (a) Corrente de retorno transversal entre bancos. (b) Correntes de retorno semifechadas com saídas ocasionais. (c) Correntes de retorno associada a estruturas fixas (e.g. um cais). (d) Mega corrente de retorno associada a praias de enseada. (e) Correntes de retorno de espraio. (f) Correntes de retorno formadas por ondas incidentes em ângulos oblíquos; (g) Correntes de retorno formadas por ondas chegando com ângulo normal a praia.



Fonte: Darymple et al., 2011.

Os primeiros estudos a respeito da circulação superficial na zona de surfe através da observação de derivadores (SHEPARD et al., 1941) e injeção de corantes (INMAN et al., 1971) datam das décadas de quarenta e setenta, respectivamente. Em seu estudo, Shepard e colaboradores (1941) chamaram a atenção da comunidade científica para esta feição presente na maioria das praias do mundo que são as correntes de retorno. Já em seu trabalho, Inman e colaboradores (1971) estudaram o potencial de mistura na zona de surfe e encontraram dois importantes mecanismos, um relacionado a mistura associada a quebra das ondas e outro associado a circulação costeira, sobretudo associado a correntes de retorno. Ao longo da história, os principais focos dos cientistas tem sido compreender a origem das correntes de retorno (BRANDER, 1999), os mecanismos de controle (SHORT, 1985; DALRYMPLE et al., 2011) e o seu comportamento (HUNTLEY; SHORT, 1992; HOLMAN et al., 2006; MACMAHAN et al., 2010). Atualmente, o principal avanço técnico e metodológico, se deu a

partir de MacMahan et al. (2009), que baseado no trabalho de Schmidt et al. (2003), propôs derivadores de baixo custo para medição de correntes na zona de surfe de forma lagrangeana. Esta inovação tem trazido avanços significativos no estudo da circulação costeira sobretudo das correntes de retorno (MACMAHAN, et al., 2010; AUSTIN et al., 2013; CASTELLE et al., 2014).

2.1 Ondas

É a principal força responsável por gerar as correntes de retorno (MUNK, 1949, DALRYMPLE, 1975; HALLER, 2002; MACMAHAN et al, 2006). As ondas, ao quebrar na zona de surfe, dissipam sua massa, energia e momento provocando um gradiente de pressão e gerando uma elevação do nível médio do mar contra a costa (*set up*), parte dessa energia irá se dissipar na praia e o excesso de massa irá retornar em forma de correntes de retorno e/ou outros possíveis comportamentos hidrodinâmicos na zona de surfe (MUNK, 1949; DALRYMPLE et al., 2011). Segundo Bowen (1969), a variabilidade batimétrica ao longo da costa provoca variações longitudinais na altura das ondas, o que acarreta a geração de correntes de retorno.

Além de atuar como força geradora, as ondas, tem papel modulador sobre a intensidade das correntes de retorno, onde, maiores alturas de onda irão acarretar em maiores intensidades de correntes de retorno. (BRANDER; SHORT, 2001, MACMAHAN et al., 2006). No que se refere ao ângulo de incidência das ondas, segundo Engle (2002) e Kumar e Prasad (2014), ondas que chegam com ângulo normal a linha de costa geram correntes de retorno mais intensas, além disso, o ângulo de incidência irá influenciar diretamente na direção resultante da corrente de retorno, ondas incidindo com ângulo normal a linha de costa irão provocar um fluxo, aproximadamente, perpendicular à linha de costa e ondas que chegam com ângulos oblíquos provocam um fluxo também oblíquo (KOMAR, 1998; DARYMPLE, 2011).

2.2 Maré

A variação do nível da maré é responsável por modular a intensidade das correntes de retorno, onde, em períodos de baixa-mar a intensidade das correntes são maiores do que na preamar (BRANDER; SHORT, 2001; MACMAHAN et al., 2005; AAGAARD; VINTHER, 2008; SCOTT et al., 2008; BRUNEAU et al., 2009; CASTELLE et al., 2009; LEATHERMAN; FLETMEYER, 2011; AUSTIN et al.,2014; SCOTT et al., 2014).

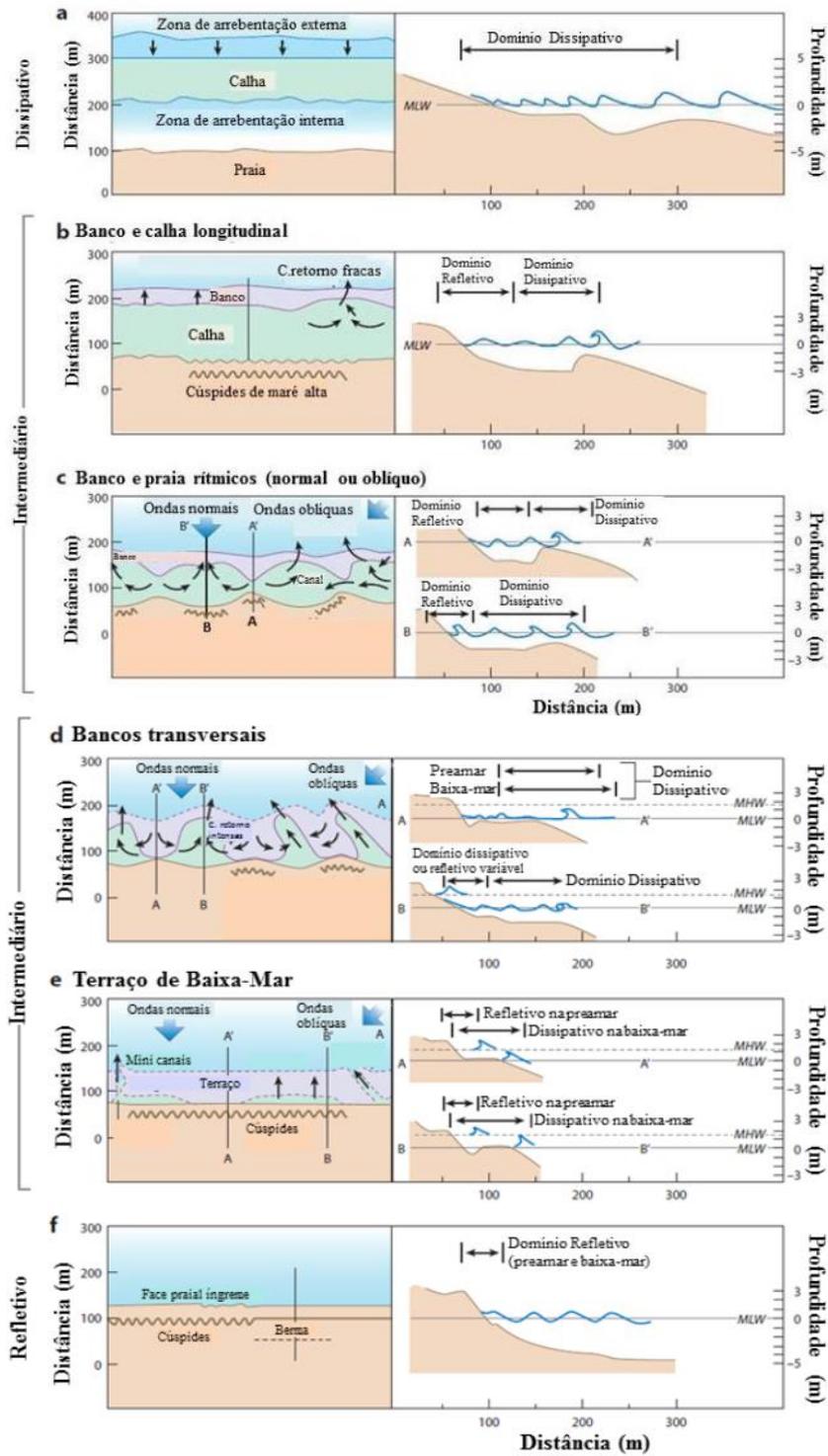
A maior variabilidade do local de quebra das ondas durante a baixa-mar devido a zona de surfe mais extensa geram um maior gradiente de pressão entre as zonas mais rasas (banco)

e as regiões mais profundas (canal), induzindo um incremento na velocidade das correntes de retorno (MACMAHAN et al. 2010). No entanto, cada praia irá possuir características específicas a depender do tipo de maré predominante (meteorológica, astronômica) e da sua classificação, micro maré (<2 m), meso maré (2-4 m), macro maré (> 4 m) (DAVIES, 1964).

2.3 Topografia

A topografia, assim como a batimetria, são fatores moduladores da intensidade das correntes de retorno e também têm papel na sua direção de fluxo costa a fora. Wright e Short (1984) e em seguida Lippmann e Holman (1990), mostraram que a batimetria da zona de surfe tende a seguir uma progressão de fases, a partir de um estágio erosional durante uma tempestade a uma condição de praia pós-tempestade recuperado. Durante uma tempestade, as ondas carregam areia costa a fora para formar bancos lineares. Wright e Short (1984) referem a este estágio como dissipativo, devido à larga zona de arrebentação, com muitas ondas nela contidas. A etapa final ocorre quando o banco se move em direção a terra, finalmente conectando-se a praia. Este estágio é chamado refletivo pelo fato da face da praia ter um declive mais acentuado proporcionando a reflexão das ondas. A progressão da fase de banco de tempestade para uma praia refletiva ocorre em um intervalo de semanas ou meses. Por outro lado, dentro de poucos dias após uma tempestade, o banco de areia da praia dissipativa torna-se quase-sinusoidal, evoluindo depois para um banco de areia com formato rítmico bem pronunciado. A próxima etapa ocorre quando a crista do banco rítmico se conecta à praia, criando bancos transversais, com incisão de canais transversais e formação de enseadas, até que finalmente o banco começa a se soldar com a praia. Quando este processo de soldagem ocorre, um sistema de crista e canal se desenvolve, com um canal ao longo da costa entre o banco e a face da praia. Durante esta evolução, as correntes de retorno de retorno estarão presentes em quase todas as etapas com a intensidade da corrente dependendo da variabilidade longitudinal da batimetria (WRIGHT; SHORT, 1984) (Figura 3).

Figura 3. Classificação de estados praias. MHW (nível médio na preamar) e MLW (nível médio na baixa-mar).

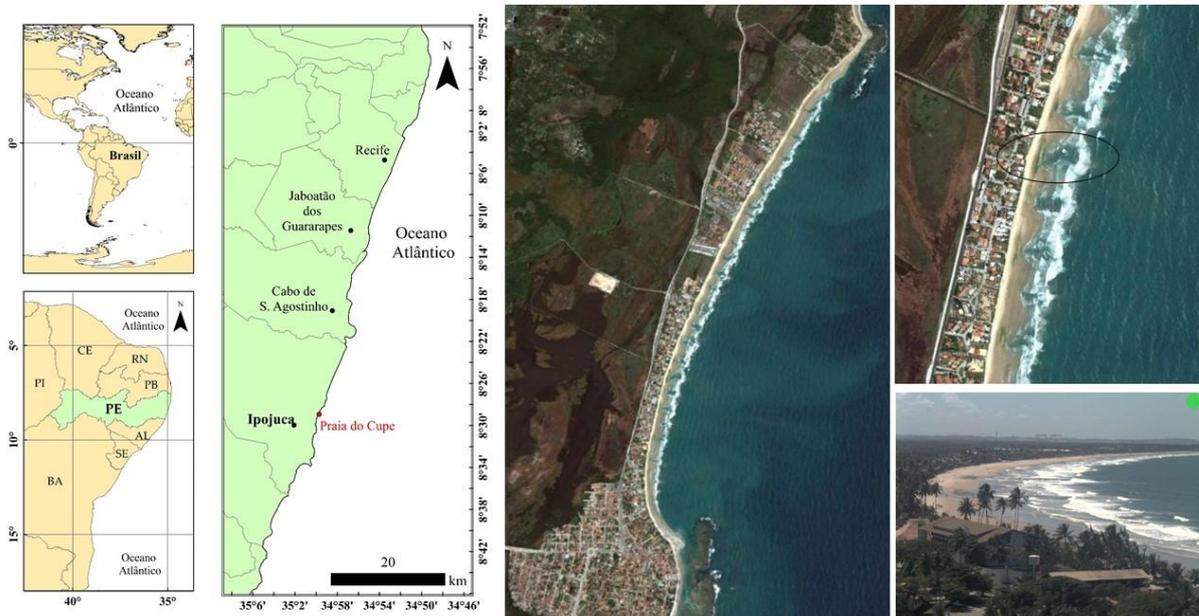


Fonte: Sudau, 2016 (Adaptado de Wright e Short (1984) e Darymple (2011)).

3 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na praia do Cupe (Figura 4), latitude $8^{\circ} 27'57.67''S$ longitude: $034^{\circ} 59'30.08''O$), localizada no litoral sul do Estado de Pernambuco, tem aproximadamente 5km de extensão e apresenta alto grau de exposição à energia das ondas (MALLMANN et al., 2011), oriundas principalmente de ESE e SE. O Hs modal é de 1,5 m e o período de cerca de $8 \pm 1,7s$ (PEREIRA; NOGUEIRA NETO, 2015). As marés são semi-diurnas e o ambiente meso-maré. Os ventos predominantes são os alísios ESE (abril a setembro) e NNE (outubro a março) (NIMER, 1979).

Figura 4. Praia do Cupe, localizado ao sul do Estado de Pernambuco (esquerda). No meio uma imagem com vista superior de toda a praia. A direita (acima) a forma circular indica o local onde foi realizado o experimento, e onde é possível ver outras correntes de retorno adjacentes; e uma imagem do tipo *snap* (abaixo) que fornece uma vista lateral da praia.



Fonte: O autor; google Earth.

O perfil da praia é íngreme, com declive superior a 5° e a granulometria é composta de sedimento médio (MALLMANN et al., 2011). A praia é dinâmica, refletindo a mudança dos estágios morfodinâmicos, sendo a fase intermediária a ocorrência morfológica mais frequente, bem como a presença de correntes de retorno, cúspides e mega cúspides são comuns nesta praia, o que demonstra um comportamento tridimensional (MALLMANN et al., 2014). Os estágios intermediários mais frequentes são praia rítmica e banco (RBB) e banco transversal e correntes de retorno (TBR) (MALLMANN et al., 2014).

Apresenta um clima, de acordo com a classificação de "Koppen", tipo "Am", úmido tropical, com períodos de chuvas intensas (outono / inverno).

4 MATERIAS E MÉTODOS

4.1 Experimento de campo

Para atingir o objetivo de compreender a dinâmica das correntes de retorno, foi planejado um esforço de trabalho que envolvesse a obtenção de parâmetros que provocam e regulam as correntes de retorno e analisar eles de forma isolada e em conjunto.

Desta forma, foi escolhido um local da praia do Cupe onde havia correntes de retornos para que todos os derivadores fossem lançados do mesmo ponto ao longo dos cinco dias de experimento. A escolha deste local se deu através de prévias observações visuais de especialistas e análise através de um sistema de vídeo imageamento. Os lançamentos eram iniciados as 6h e finalizados as 16h. Este local serviu como ponto de referência para a obtenção dos demais dados que são detalhados a seguir.

4.2 Dados eulerianos

O método euleriano foi utilizado para adquirir os dados de variação do nível de maré, altura, período e energia das ondas. Foi utilizado um Perfilador Acústico por Efeito Doppler (PACD) modelo *Aquadopp profiler (Nortek)*. O mesmo foi fundeado fora dos limites da zona de surf, a aproximadamente 350 metros da linha de costa e a uma profundidade de 6 metros. Foi utilizado uma pequena embarcação, do tipo motonáutica (Figura 5) e um mergulhador para auxiliar no fundeio.

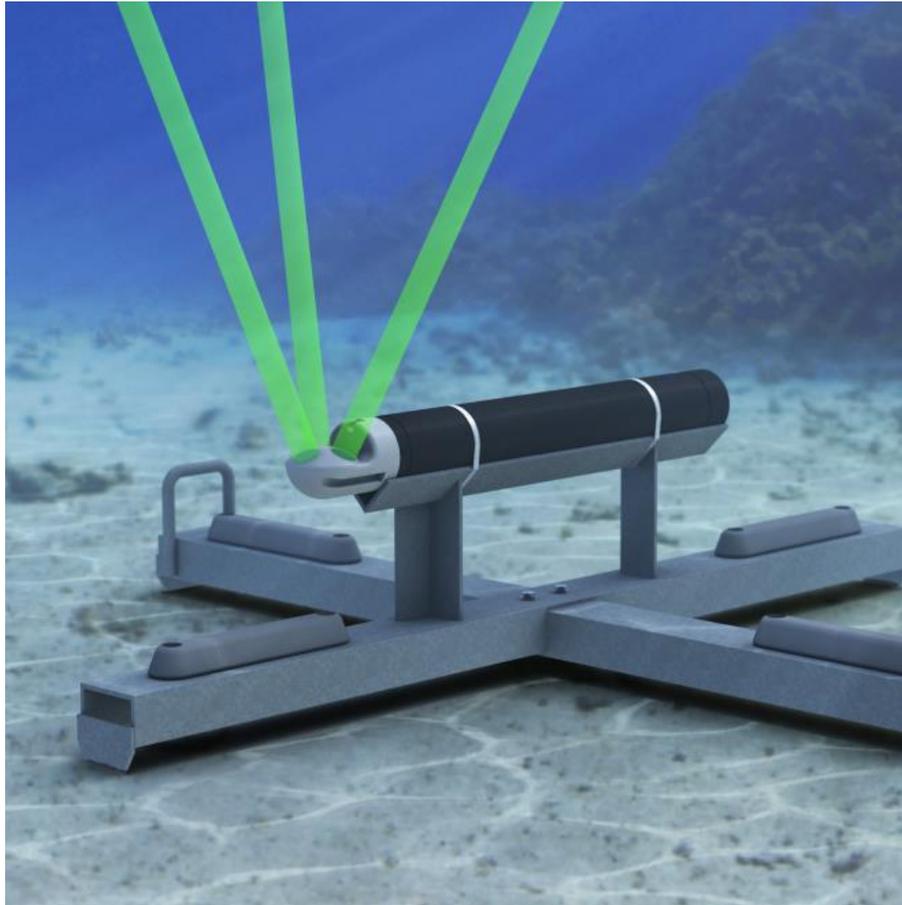
Figura 5. Embarcação utilizada para a manobra de fundeio do ADCP.



Fonte: O autor.

O *Aquadopp profiler* mede o perfil de correntes na água utilizando tecnologia de *Doppler* acústico (Figura 6). É projetado para uma larga gama de aplicações e pode ser instalado no fundo, em uma estrutura de fundeio, boia ou em qualquer outra estrutura fixa. Os dados são armazenados em memória interna e é destinado a perfis que variam entre 1 e 100m (Manual do fabricante). O PACD foi programado para adquirir dados em uma frequência de 0,5 segundo durante 14'29.5" a cada 40'30.5", durante os cinco dias de experimento. Desta forma, o equipamento adquiriu 1740 dados de pressão a cada bloco de atividade (i.e. bloco de atividade significa cada tempo de aquisição: 14'29.5"), totalizando 116 blocos. Os dados adquiridos pelo equipamento são dados brutos e para seu processamento foi utilizado o modelo matemático descrito por Neumeier (2003) para se realizar análises temporais e espectrais dos dados de pressão adquiridos pelo PACD.

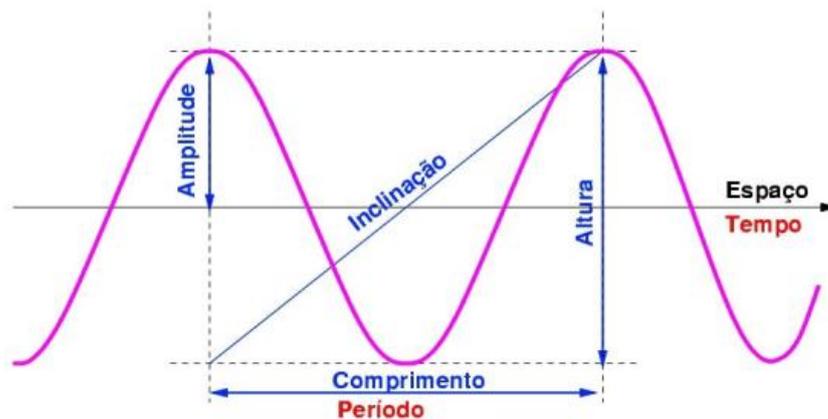
Figura 6. Demonstração dos feixes emitidos pelo ADCP.



Fonte: Manual do Fabricante (Nortek).

Este modelo processa dados de sensores de pressão para compensar a atenuação de variações de pressão com profundidade e calcular os parâmetros de onda padrão (não direcional). Após a correção da atenuação da pressão são calculados os parâmetros das ondas (Figura 7) em análises espectrais e temporais.

Figura 7. Exemplos de termos utilizados em análises de ondas.



Fonte: Sato, 2010.

Segundo o modelo de Neumeier (2003), os argumentos de entrada são as alturas da coluna da água não corrigida acima do leito em metros, obtido a partir dos dados calibrados do sensor de pressão, a altura do sensor de pressão acima do leito e a frequência de amostragem.

O método *zero crossing* leva como argumento de entrada a verdadeira série de temporal de elevação da água. Se os dados dos sensores de pressão forem usados, eles devem ser corrigidos com a atenuação da pressão antes.

Com base nisso, foram obtidos os seguintes parâmetros de ondas e nível de maré:

Parâmetros espectrais de ondas:

- **m_0** = momento zero, é a variância da superfície do mar, obtido pela integração do espectro de densidade de energia, definido por:

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \text{ para } n = 0, 1, 2.. \quad (\text{Eq.1})$$

Onde, $S(f)$ = densidade espectral de energia não direcional.

- **H_{m0}** = Altura significativa (H_s) das ondas através de método espectral, definido como:

$$4 \times \sqrt{m_0} \quad (\text{Eq. 2})$$

- **T_p** = Período de pico, definido por:

$$\frac{1}{f} \quad (\text{Eq. 3})$$

Parâmetro de nível de maré:

- **h** = nível de mar, definido como:

média (Pressão);

Os dados de nível do mar (h), foram referenciados pelo nível de redução da maré da Diretoria de Hidrografia e Náutica da Marinha do Brasil (DHN).

4.3 Direção das ondas

Os dados foram cedidos pela plataforma de previsão de ondas *Surfguru*, que utiliza o modelo numérico WAVEWATCH III® como fonte de dados. Os dados disponibilizados possuem intervalos a cada três horas e foi realizado uma interpolação para se obter informações a cada hora de direção das ondas.

Para se conhecer o ângulo de incidência das ondas na praia do Cupe foi traçada uma linha imaginária transversal a linha de costa da praia do Cupe, onde, desta forma se obtém o valor de ângulo 120° em relação ao norte verdadeiro, sendo assim, este ângulo é considerado o ângulo normal da praia do Cupe (120°). A partir disso, são analisados os ângulos de incidência das ondas durante o período do experimento. Os valores positivos dos ângulos se referem as ondulações que chegaram do quadrante sul/sudeste, enquanto os valores negativos, se referem a ondulações do quadrante e leste/sudeste.

4.4 Intensidade e direção dos ventos

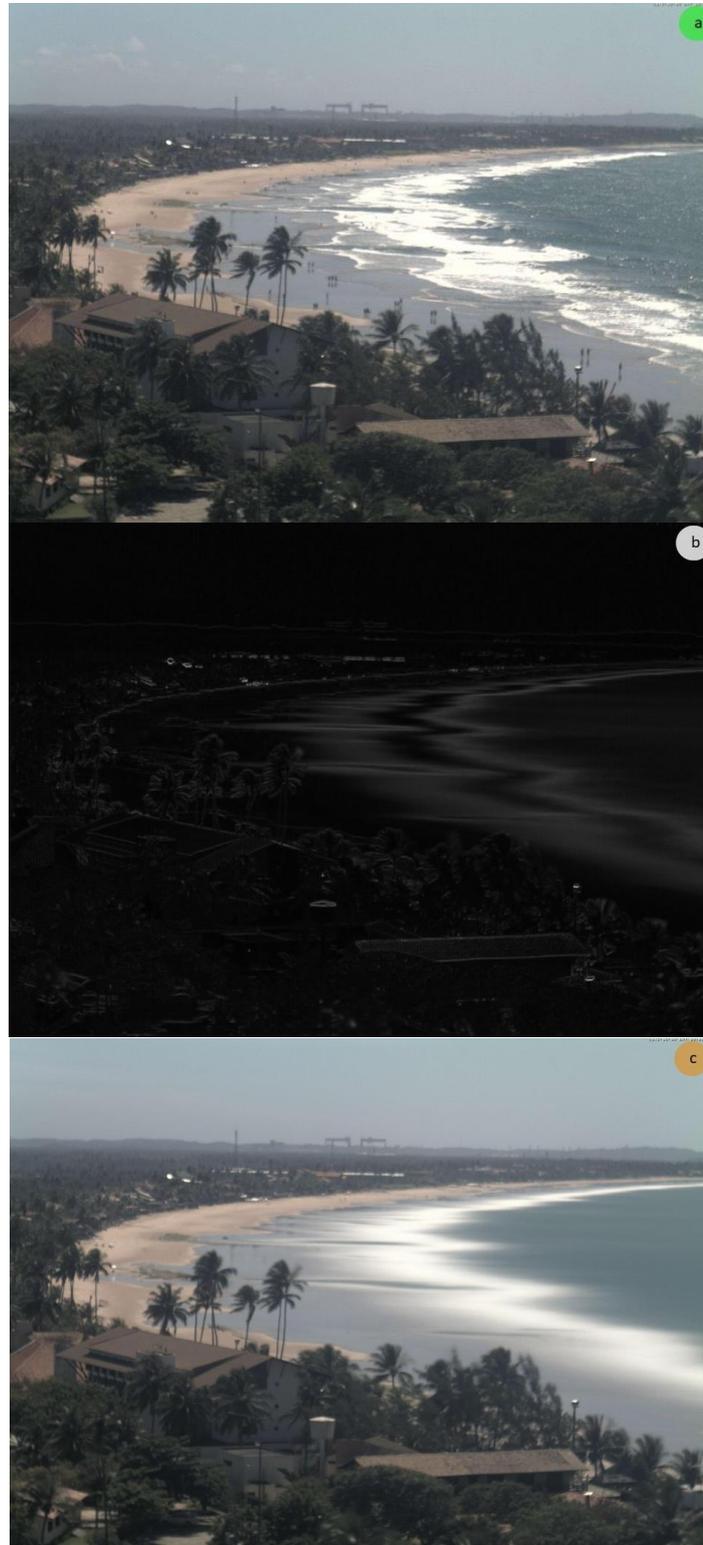
A obtenção destes dados teve como objetivo analisar a sua influência sobre a dinâmica das correntes de retorno, assim como, determinar se as ondas eram predominantes formadas por ventos costeiros ou ondulações oceânicas. Os dados foram cedidos pela Agência Pernambucana de Águas e Clima, oriundos de uma estação instalada no Porto de Suape que fica cerca de 10km do local de estudo. É fornecido um dado de intensidade e direção a cada hora e, para este trabalho, foram usadas as informações de intensidade máxima dos ventos para melhor representar a influência dos ventos sobre a dinâmica das correntes de retorno.

4.5 Sistema de vídeo imageamento

O sistema de vídeo imageamento teve como objetivo testemunhar a variação espaço temporal da zona de surf ao longo de cada dia. Foi utilizado o sistema Orasis, um sistema de monitoramento costeiro não comercial baseado em vídeo-imagem (Figura 8). É um sistema desenvolvido para adquirir e processar imagens da zona costeira a partir de uma ou mais câmeras instaladas em locais fixos e ligadas a um computador. As câmeras foram programadas para capturar imagens nos 10 primeiros minutos de cada hora de luz do dia a uma frequência de 30 *frames* por segundo, gerando imagens oblíquas que são posteriormente processadas e georreferenciadas em laboratório, através de equações colineares que levam em consideração dados como distorção das lentes, distância focal, coordenadas da câmera e do mundo real, permitindo sua transformação em mosaicos de imagens planas (HOLLAND et al., 1997). O sistema Orasis gera os seguintes produtos: *snap* – é a imagem instantânea de um único frame capturado no início de cada hora (Figura 8a); *sigma* – é a imagem que representa

o desvio padrão obtido através criação das imagens tipo timex (Figura 8b); *timex*– é a imagem de longa exposição obtida através da média dos 10 minutos de frames capturados a cada hora (Figura 8c).

Figura 8. Tipos de imagens produzidas pelo sistema Orasis: Snap (a), Variance (b) e Timex (c).



Fonte: O autor.

4.6 Levantamento topográfico

O levantamento topográfico foi realizado na região intermareal através de caminhamentos (Figura 9) com o auxílio de um par de GPS Trimble R4 (L1/L2) cinemático em modo Base/Rover. A área de abrangência da topografia foi de 500 metros ao norte e 500 metros ao sul a partir do PB. A taxa de aquisição, tanto da base quanto do rover, foi estabelecida para coleta de 5 segundos entre pontos, com precisão de tolerância vertical de 2 cm e horizontal de 1,5 cm. Para ambos foi utilizada uma máscara de elevação de 10°, com o intuito de reduzir os efeitos da troposfera sobre o GPS. O topo da antena foi orientado para norte, a fim de permitir a correção de erros do centro de fase da antena, no processamento das linhas de base. Durante todo o levantamento o PDOP (*Position Dilution of Precision* – medida de precisão 3D, também conhecida como DOP esférica) manteve-se como ideal, adotando-se como referência a escala de Langley (1999).

Figura 9. Levantamento topográfico.

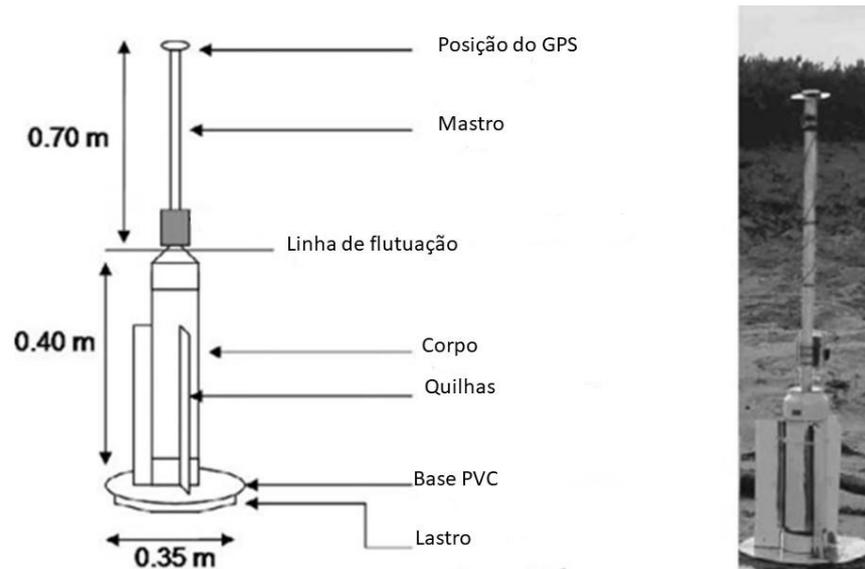


Fonte: O autor.

4.7 Dados lagrangeanos

Para se obter os resultados acerca dos padrões de circulação da zona de surfe, correntes de retorno e suas intensidades foram usados GPS's acoplados em derivadores lagrangeanos. O modelo do equipamento foi baseado em MacMahan et al. (2009), o mesmo consiste em um mastro de PVC com 0,7 m de altura por 0,03 m de diâmetro, onde na parte superior do mastro é acoplado o GPS. Abaixo do mastro um corpo de PVC com 0,4 m de altura por 0,1 m de diâmetro e três aletas acopladas, na base uma esfera de ferro servindo como lastro (Figura 10).

Figura 10. Descrição do derivador utilizado neste trabalho.



Fonte: Adaptado de MacMahan et al., 2009).

Para iniciar sua deriva na corrente de retorno os derivadores foram lançados sempre no alimentador norte (Figura 11). Os GPS's foram programados para adquirir dados a uma frequência de 2 segundos. O primeiro lançamento de cada dia ocorreu as 6h e o último as 16h, com cada lançamento tendo uma duração média de 30 minutos, após esse período o derivador era removido da água e um novo lançamento era iniciado na próxima hora. Os derivadores que não retornavam à praia eram coletados com auxílio de uma pequena embarcação, do tipo, jet ski. Durante os 30 minutos de atividade dos derivadores, aqueles que encalharam na areia foram recolocados na corrente. Cada membro da equipe foi responsável por um derivador e um membro foi responsável por anotar os dados de entrada e saída dos derivadores da água para posterior correção de dados.

No que diz respeito ao processamento dos dados dos GPS's, os primeiros desafios são a separação por horários de lançamentos e a limpeza dos dados. Por motivos de ruídos do próprio equipamento e/ou erros de manipulação em algum momento é possível que nem todos os dados coletados pelos GPS's correspondam aos fluxos hidrodinâmicos, assim, a filtragem destes dados espúrios é um dos pontos mais importantes para se obter resultados confiáveis.

A separação horária dos dados e a limpeza dos mesmos se deu através de rotinas computacionais e comparação das anotações das planilhas de campo onde foram registrados os horários de entrada e saída dos derivadores. Também foi aplicado um filtro de velocidade no valor de 5 m s^{-1} , ou seja, valores iguais ou maiores do que 5 m s^{-1} foram automaticamente excluídos, considerados por este autor como dados espúrios. A existência de velocidades

acima deste valor se deve aos momentos que o derivador foi resgatado pela motonáutica, por choque direto das ondas sobre o GPS ou ruídos do próprio equipamento.

Após a limpeza dos dados e a certeza que os mesmos correspondiam apenas ao momento que o derivador esteve sobre o efeito hidrodinâmico das correntes, foi realizada a obtenção dos dados de circulação e intensidade.

Foram consideradas correntes de retorno os comportamentos dos derivadores onde foi possível observar, dentro dos limites do local de lançamento (Figura 15), a presença das correntes alimentadoras, pescoço e cabeça.

Figura 11. Lançamentos dos derivadores: (a) Visão ampla do local da praia escolhido para os lançamentos; (b) Equipe se aproximando ao mesmo tempo do local de lançamentos; (c) Entrando na corrente alimentadora; (d) Ativando o GPS e liberando os derivadores na corrente alimentadora; (e) Derivadores sob influência da corrente alimentadora; (f) Derivadores entrando no pescoço da corrente de retorno.



Fonte: O autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condições ambientais

Primeiramente são apresentados os resultados das condições hidrodinâmicas e meteorológicas que ocorreram durante o período do experimento. A figura 12 mostra todos os dados obtidos em forma de gráficos e a quadro 1 permite visualizar os valores dos parâmetros focados nos intervalos de lançamento (6h as 16h).

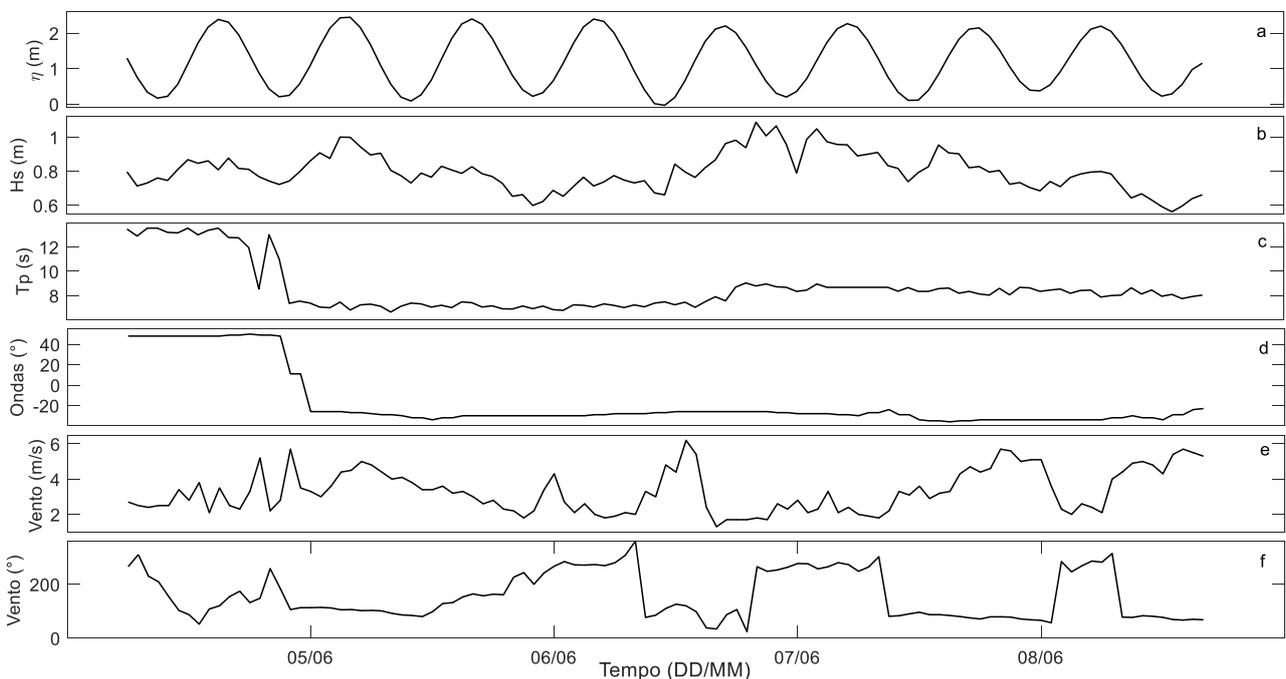
Foram registrados 16 ciclos de maré durante o experimento de campo. A variação do nível do mar (h) medida pelo PACD foi referenciada pelo nível de redução da DHN e a diferença entre ambas medidas foi de apenas 0,0591 m. A maior amplitude durante o experimento foi 2,42 m, ocorrendo no terceiro dia. No segundo dia ocorreu o maior nível de maré, com altura 2,44 m e no terceiro dia o menor nível, com -0,03, sendo A altura média da maré foi 1,18 m e o desvio padrão 0,76 m.

A maior altura significativa de onda (H_s) foi 1,09 m ocorrendo no terceiro dia e a menor foi 0,56 m no quinto dia. A altura média foi 0,79 m e o desvio padrão 0,11 m. O maior período das ondas ocorreu no primeiro dia com 13,56 segundos e o menor período foi registrado no segundo dia, com 6,64 segundos. O primeiro dia de campo tem um destaque significativo em relação aos outros dias, ocorrendo período considerados altos, variando entre 12 a 14 segundos aproximadamente, acima da média do período do experimento e indicando a dominância de uma ondulação de baixa frequência, gerada por tempestades de ventos em alto mar. Já do segundo ao quinto dia de campo os períodos são considerados baixos, variando entre 6 a 9 segundos aproximadamente, indicando a predominância de ondas formadas por ventos locais. O período médio ficou em 8,56 segundos e o desvio padrão 1,92 segundos. O ângulo de incidência também se destaca no primeiro dia, sendo o único onde as ondas foram predominantes do quadrante sul/sudeste. Já do segundo dia até o quinto, é predominante ondulações do quadrante leste/sudeste.

Os ventos mais intensos ocorreram no terceiro dia de experimento, com velocidade de $6,2 \text{ m s}^{-1}$ e a menor velocidade, também, ocorreu no terceiro dia, com velocidade de $1,3 \text{ m s}^{-1}$. O primeiro de experimento se destaca por ser único que durante todo o período de lançamentos dos derivadores os permaneceram oscilando próximo ou abaixo da média, que foi $3,3 \text{ m s}^{-1}$. O segundo dia, foi marcado por iniciar com ventos fortes, acima da média, atingindo pico de 5 m s^{-1} durante a manhã seguido de uma diminuição gradual da velocidade ao decorrer do dia. Já o terceiro é marcado por mudanças abruptas da velocidade dos ventos, onde, se inicia com ventos fracos, abaixo da média e entre as os horários de 11h as 14h os

ventos ficam mais intensos até atingir o maior pico registrado e em seguida volta a diminuir de intensidade até atingir o menor pico registrado. O quarto dia inicia com ventos fracos, abaixo da média e ao decorrer do dia aumenta gradualmente de intensidade. O quinto dia, os ventos são fracos apenas no primeiro horário de lançamento (6h) e em seguida já é observado um aumento de intensidade permanecendo acima da média ao longo do dia. No que se refere a direção, os resultados mostram durante o período da manhã do primeiro dia, terceiro, quarto e quinto dia os ventos sopram do quadrante sudoeste, o que caracteriza uma brisa terrestre nesta praia, ou seja, ventos soprando na direção terra-mar. No entanto, no primeiro dia, ocorre uma mudança gradual na direção, passando do quadrante sudoeste para o leste e posteriormente para o sul. O segundo dia tem um comportamento inverso, a direção do vento inicia no quadrante leste/sudeste e muda gradualmente para o quadrante sudoeste. Já no terceiro, quarto e quinto dia os ventos mudam de direção de forma abrupta. Os resultados também indicam que as maiores intensidades dos ventos estão associadas ao quadrante leste/sudeste, já os ventos fracos, a quadrantes sul/sudoeste.

Figura 12. Dados hidrodinâmicos, (a) Nível do mar; (b) Altura das ondas; (c) Período das ondas; (d) Direção das ondas; (e) Velocidade dos ventos; (f) Direção dos ventos.



Fonte: O autor.

Quadro 1. Parâmetros meteoceanográficos durante os intervalos de lançamento (6h as 16h).

Dia	Horário (h)	Nível do mar (m)	H _s (m)	T _p (s)	Ondas _{Dir.} (°)	Vento _{Vel.} (m s ⁻¹)	Vento _{Dir.} (°)
1	6	1.29	0.80	13.49	48	2.7	265
	7	0.75	0.71	12.91	48	2.5	310
	8	0.34	0.73	13.56	48	2.4	230
	9	0.17	0.76	13.56	48	2.5	209
	10	0.22	0.75	13.21	48	2.5	154
	11	0.56	0.81	13.17	48	3.4	103
	12	1.13	0.87	13.56	48	2.8	87
	13	1.72	0.85	13.01	48	3.8	52
	14	2.17	0.86	13.39	48	2.1	108
	15	2.38	0.81	13.56	48	3.5	120
	16	2.31	0.88	12.79	49	2.5	154
2	6	1.67	0.90	7.29	-28	4.8	103
	7	1.09	0.91	7.12	-29	4.4	101
	8	0.56	0.80	6.64	-29	4	92
	9	0.20	0.77	7.12	-30	4.1	86
	10	0.09	0.73	7.38	-32	3.8	84
	11	0.26	0.79	7.31	-32	3.4	80
	12	0.68	0.76	7.05	-34	3.4	98
	13	1.27	0.83	7.20	-32	3.6	128
	14	1.84	0.81	7.01	-32	3.2	132
	15	2.26	0.79	7.48	-30	3.3	153
	16	2.40	0.83	7.41	-30	3	164
3	6	2.01	0.77	7.19	-28	1.9	280
	7	1.50	0.75	7.01	-28	2.1	307
	8	0.93	0.73	7.23	-28	2	360
	9	0.41	0.74	7.07	-28	3.3	77
	10	0.01	0.67	7.38	-27	3	85
	11	-0.04	0.66	7.48	-27	4.8	110
	12	0.19	0.84	7.24	-26	4.4	126
	13	0.66	0.80	7.46	-26	6.2	120
	14	1.23	0.76	7.03	-26	5.4	98
	15	1.77	0.82	7.50	-26	2.4	38
	16	2.11	0.87	7.91	-26	1.3	34
4	0	0.35	0.79	8.35	-28	2.8	277
	1	0.71	0.99	8.45	-28	2.1	276
	2	1.23	1.05	8.96	-28	2.3	257
	3	1.74	0.97	8.68	-28	3.3	265
	4	2.12	0.96	8.68	-29	2.1	280
	5	2.27	0.95	8.68	-29	2.4	273
	6	2.17	0.89	8.68	-30	2	248
	7	1.81	0.90	8.68	-27	1.9	264
	8	1.31	0.91	8.68	-27	1.8	302
	9	0.77	0.83	8.68	-24	2.2	81

	10	0.34	0.82	8.36	-29	3.3	83
	11	0.11	0.74	8.66	-29	3.1	90
	12	0.11	0.79	8.35	-34	3.6	96
	13	0.39	0.83	8.35	-35	2.9	87
	14	0.84	0.95	8.57	-35	3.2	87
	15	1.36	0.91	8.62	-36	3.3	84
	16	1.82	0.90	8.19	-35	4.3	80
5	6	2.20	0.80	7.88	-34	2.1	282
	7	2.05	0.78	8.00	-32	4	314
	8	1.69	0.71	8.04	-32	4.4	78
	9	1.22	0.64	8.64	-30	4.9	77
	10	0.75	0.67	8.13	-32	5	83
	11	0.40	0.63	8.46	-32	4.8	81
	12	0.22	0.59	7.95	-34	4.3	77
	13	0.29	0.56	8.10	-29	5.4	69
	14	0.55	0.59	7.75	-29	5.7	67
	15	0.97	0.64	7.92	-24	5.5	70
	16	1.15	0.66	8.04	-23	5.3	68

Fonte: O autor.

5.2 Sistema de vídeo imageamento

As imagens retificadas estão sequenciadas temporalmente, entre as 6h (Figura 13-a) até as 16h (Figura 13-l), abrangendo, desta forma, um ciclo diário completo permitindo assim observar e analisar a dinâmica da zona de surfe da praia do Cupe de acordo com variação do nível do mar. Foram analisadas imagens de todo o período experimental e não foram encontradas diferenças significativas entre as feições de cada dia, desta forma, foram escolhidas para serem apresentadas as imagens correspondentes ao segundo dia experimento por apresentar uma melhor qualidade de visualização.

Para a análise das imagens é importante se remeter os dados de maré mostrados na figura 12-a e quadro 1. Os dados mostram que este dia se inicia (6h) com maré vazante e o pico da baixa-mar é atingido as 10h, onde começa o período da enchente, que atinge o pico da preamar as 16h. Dito isso, entre as diversas feições possíveis a serem analisadas, para fins deste trabalho, se destacam as seguintes:

1) Local de lançamento dos derivadores e canais de correntes de retorno:

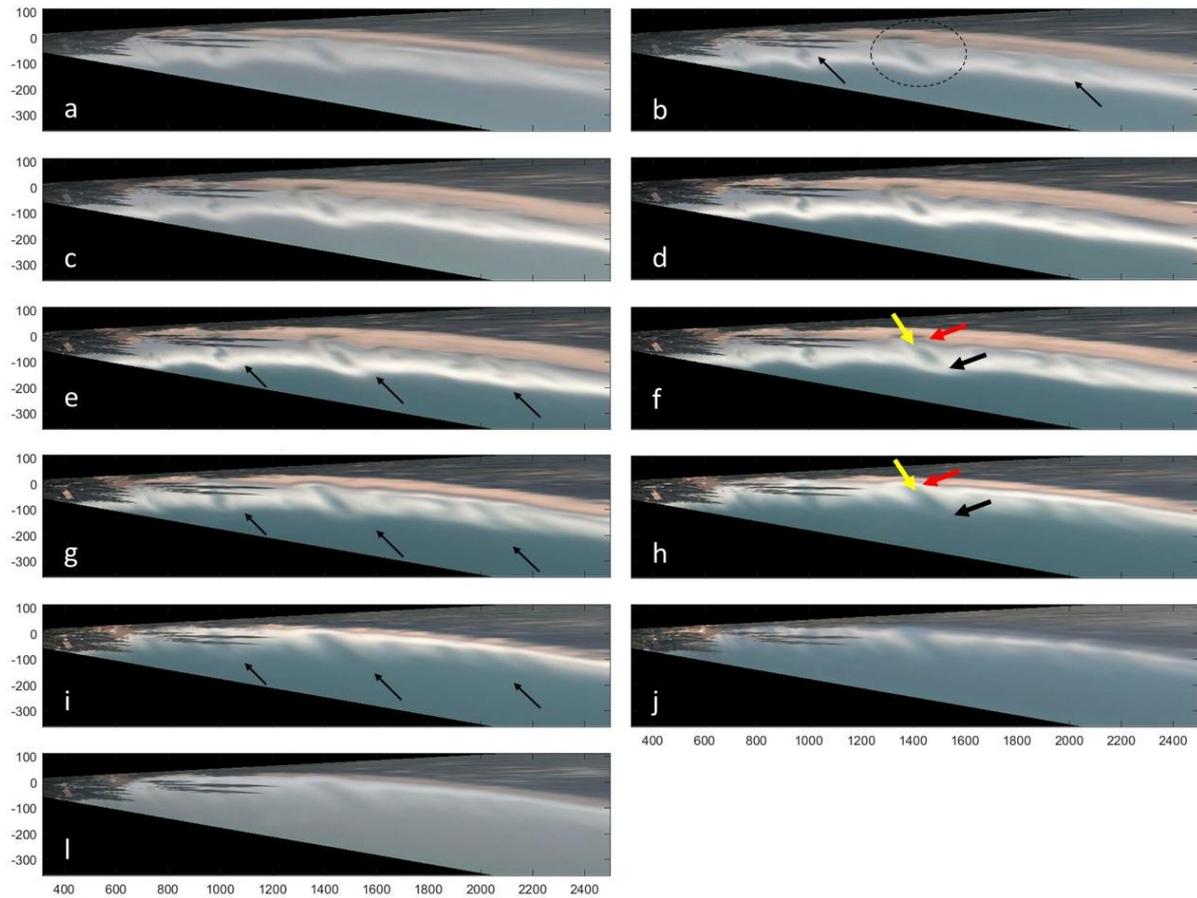
Primeiramente, na figura 12-b, o local escolhido para os lançamentos dos derivadores é demarcado por um círculo preto tracejado e as setas pretas indicam a presença de outros canais de correntes de retorno tanto a norte quanto a sul do local de lançamentos, mostrando que a praia do Cupe é uma praia rica em correntes de retorno.

- 2) **Estágios morfodinâmicos:** Durante períodos de baixa-mar é possível notar o estágio praiial: Praia Rítmica e Banco (RBB) e em período de preamar o estágio: Banco Transversal e Correntes de Retorno (TBR). Estes estágios também foram observados por Mallmann et al. (2014).
- 3) **Canais abertos e fechados:** Durante períodos de baixa-mar é possível notar que os canais das correntes de retorno estão fechados pela ação das ondas, evidenciado por uma linha sinuosa branca mais luminosa nas imagens, que representa a quebra das ondas sobre os bancos. Também é possível notar as cristas dos bancos, apontados por setas pretas (figura 12-e). No decorrer da enchente as cristas começam a se desfazer e os canais a se abrirem (Figura 12-g) até que na preamar os canais estão totalmente abertos (figura 12-i). Pitman et al. (2016) também achou esse mesmo padrão de zona de surfe em Perranporth beach, (Inglaterra), onde eles classificaram correntes de retorno em abertas e fechadas e verificaram a taxa de saída dos derivadores da zona de surfe nestes dois cenários, chegando a conclusão que durante correntes de retorno fechadas a taxa de saída de derivadores são menores do que quando a corrente de retorno está aberta.
- 4) **Variação local de quebra das ondas:** É possível observar que durante a baixa-mar o local de quebra das ondas está mais afastado da linha de costa, deixando exposto parte do banco de areia. No decorrer da enchente o local de quebra das ondas se aproxima da costa. Indicando com isso uma alta variabilidade do local de quebra das ondas e conseqüentemente uma variabilidade dos locais de maior intensidade das correntes de retorno.
- 5) **Morfologia das correntes de retorno:** As imagens permitiram identificar o canal da corrente alimentadora, pescoço e a cabeça da corrente. Estas feições são evidenciadas na figura 12-f (baixa-mar) e 12-h (preamar), onde, as setas vermelhas indicando o local por onde as correntes alimentadoras estão passando, as setas amarelas indicam o pescoço/canal transversal e as setas pretas o local da cabeça das correntes de retorno.

Em resumo, as imagens mostram que a variação do nível do mar tem grande influência na morfodinâmica das correntes de retorno. Observações similares foram feitas por Aagaard e Vinther (2008), que apontaram que o tipo de circulação na zona de surfe depende da geometria dos canais e Bruneau et al. (2009) observaram que as correntes de retorno são mais intensas quando a morfologia longitudinal da praia não é uniforme. Além dos citados,

Dalrymple et al. (2011) também afirmaram que a intensidade das correntes de retorno irá variar conforme as variações batimétricas ao longo da costa.

Figura 13. Imagens do tipo timex retificadas em sequência temporal, das 6h (a) até as 16h (l).



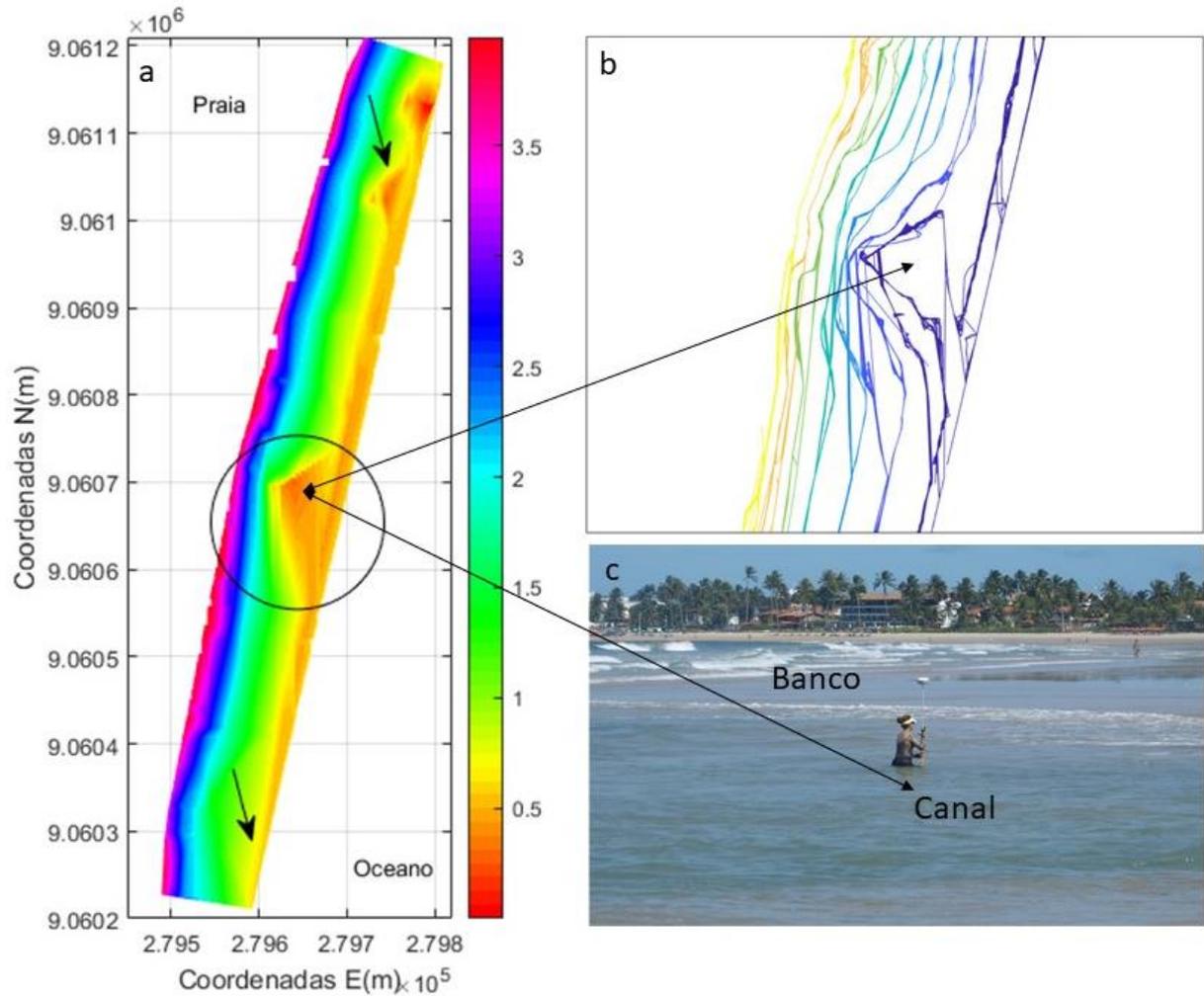
Fonte: O autor.

5.3 Topografia

O resultado do levantamento topográfico (Figura 14) corroborou com os resultados das imagens do sistema de vídeo imageamento e com as discussões anteriores, que também indicaram feições relacionadas com as correntes de retorno, como os canais transversais entre os bancos, assim como, a presença de outras correntes de retorno, tanto a norte quanto ao sul do ponto base do experimento.

Os resultados indicam a existência de uma relação entre a topografia praiar e as correntes de retorno. Brander e Short (2001) encontraram evidências que sugerem que a topografia pode exercer controle direto sob as correntes de retorno.

Figura 14. O mapa de superfície oriundo do levantamento topográfico. A forma elíptica e o trecho do mapa destacado a direita indicam o canal onde ocorreram os lançamentos; as setas pretas indicam a existência de outros canais de correntes de retorno tanto ao norte como a sul do local de lançamentos.



Fonte: O autor.

5.4 Dados lagrangeanos

Foi atingido um total de 360 lançamentos dos derivadores ao longo dos cinco dias de experimento de campo, no entanto, foram validados para processamento 218 lançamentos. A relação da diferença entre o n amostral validado para o n amostral do campo se deu, primeiramente, por: perdas de dois equipamentos GPS ao longo do experimento e consequente perda destes n amostrais e, em segundo, foram descartados lançamentos com dados espúrios, seja por motivos de erros de manipulação do equipamento GPS, ruído do próprio equipamento e/ou tempo de permanência do derivador na água extremamente baixo (<1minuto).

A exclusão de dados espúrios, apesar de diminuir o n -amostral, torna os resultados mais robustos e confiáveis. Além disso, o n -amostral processado, embora menor, ainda é um

n-amostral alto e se encontra na média de outros trabalhos que também usaram derivadores para estudar correntes de retorno, como por exemplo, Pitman et al., (2016), que realizaram 195 lançamentos e McCarroll et al., (2014) com 295 lançamentos.

Nos resultados a seguir, são apresentados, primeiramente, os principais comportamentos dos derivadores dentro dos limites zona de surfe alvo deste estudo e destacada na figura 14. E, posteriormente, são analisados somente os comportamentos que são atribuídos a correntes de retorno.

5.4.1 Padrões de circulação

Embora o objetivo deste trabalho seja analisar as correntes de retorno, a utilização dos derivadores lagrangeanos mostrou que a zona de surfe da praia do Cupe é bastante dinâmica, sensíveis as mudanças dos parâmetros ambientais e que apresentam padrões de circulações além das correntes de retorno, e estes, se tornam importantes serem apresentados uma vez que podem existir interações, ou não, com as correntes de retorno. Neste sentido, são mostrados os comportamentos predominantes que os derivadores tiveram em cada hora de lançamento de cada dia, ou seja, desde as 6h até 16h (Figuras 15 a 19). O caminho percorrido pelos derivadores estão segregados em cores, onde, cada uma representa intensidades diferentes das correntes, da seguinte forma:

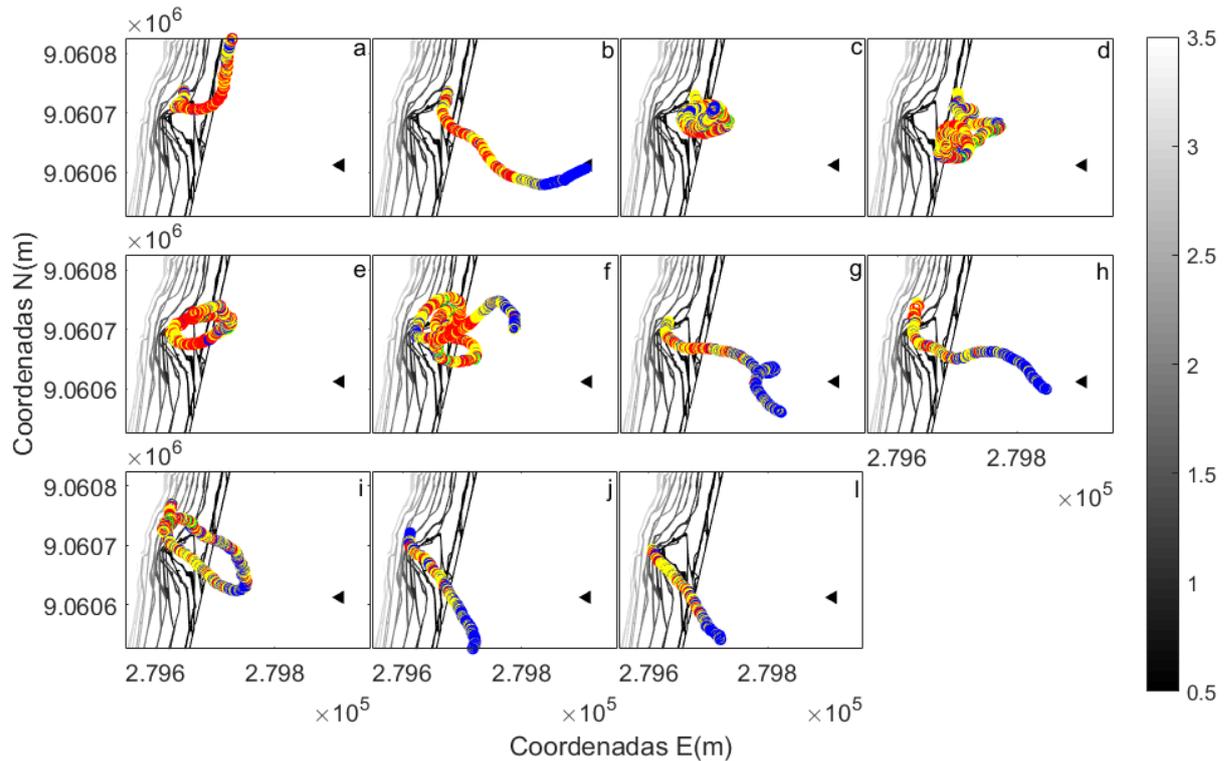
- Azul: Menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$;
- Amarelo: Maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ;
- Vermelho: Maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ;
- Verde: Maior que 2 m s^{-1} .

A forma triangular em preto indica a posição do ADCP.

Dia 1

A figura 15 mostra os comportamentos dominantes dos derivadores no primeiro dia de experimento.

Figura 15. Padrões de circulação do primeiro dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.



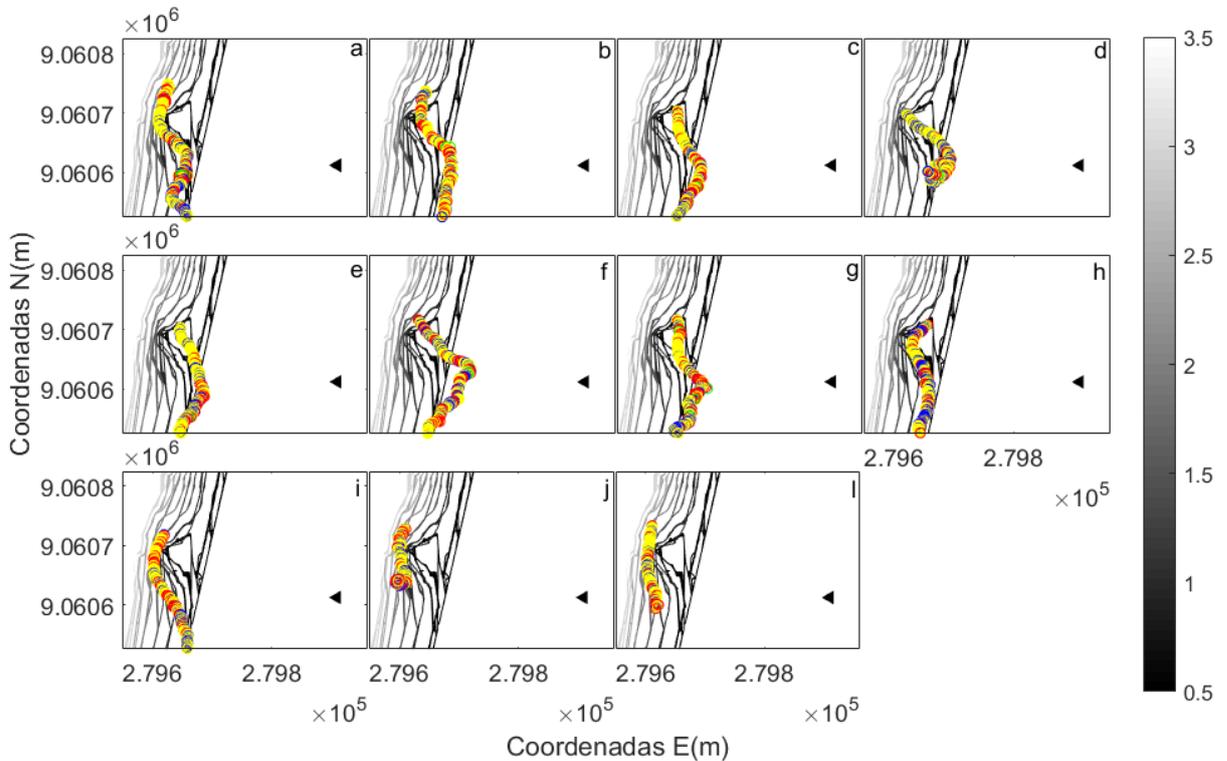
Fonte: O autor.

As 6h ocorre deriva longitudinal sentido norte as 6h (Figura 15-a), as 7h comportamento de fuga da zona de surfe, entre as 8h as 10h foi predominante o comportamento de circulação em célula. A partir das 11h é observado comportamento de circulação em célula com fuga e a partir das 12h até as 16h o comportamento de fuga se torna predominante.

Dia 2

A figura 16 mostra os comportamentos dominantes dos derivadores no segundo dia de experimento.

Figura 16. Padrões de circulação no segundo dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.



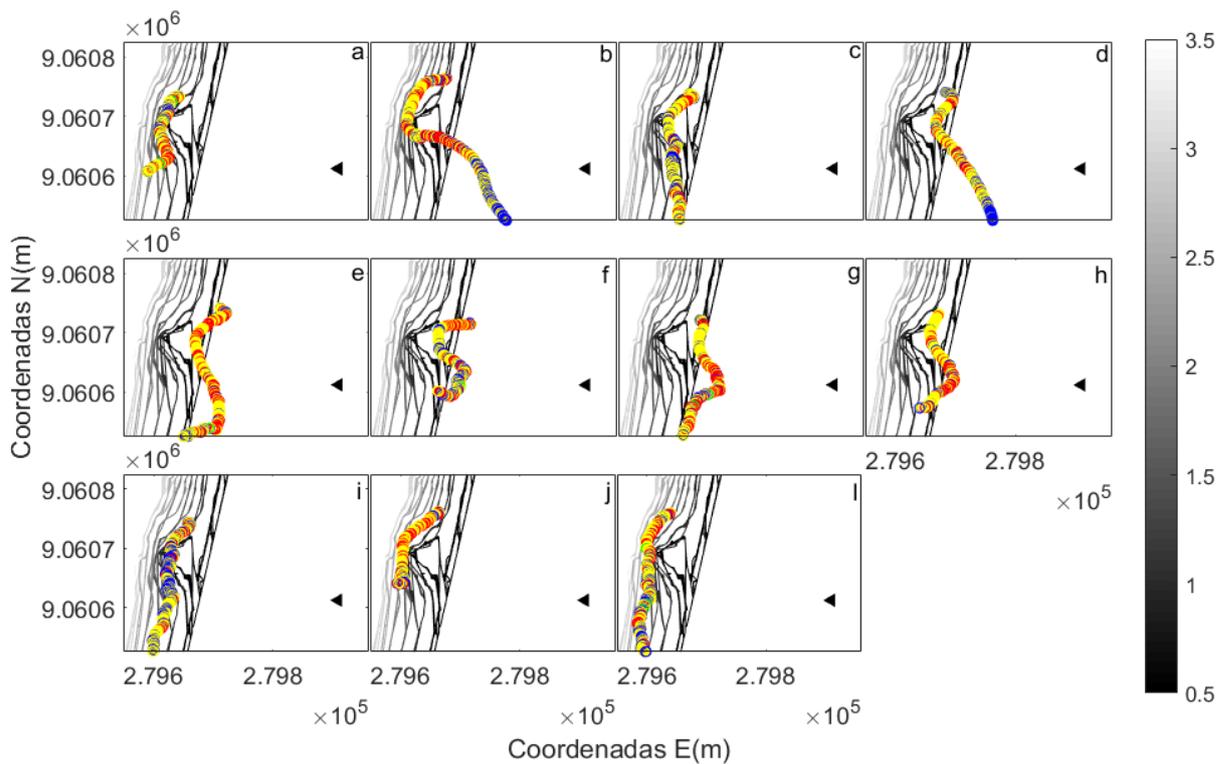
Fonte: O autor.

No segundo predominou comportamentos longitudinais sentido sul. É possível observar que o derivador, principalmente nos momentos de baixa-mares, passa pelo canal em sentido de fuga da zona de surfe, mas em determinado limite seu curso muda e sua deriva se torna integralmente longitudinal.

Dia 3

A figura 17 mostra os comportamentos dominantes dos derivadores no terceiro dia de experimento.

Figura 17. Padrões de circulação do terceiro dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.



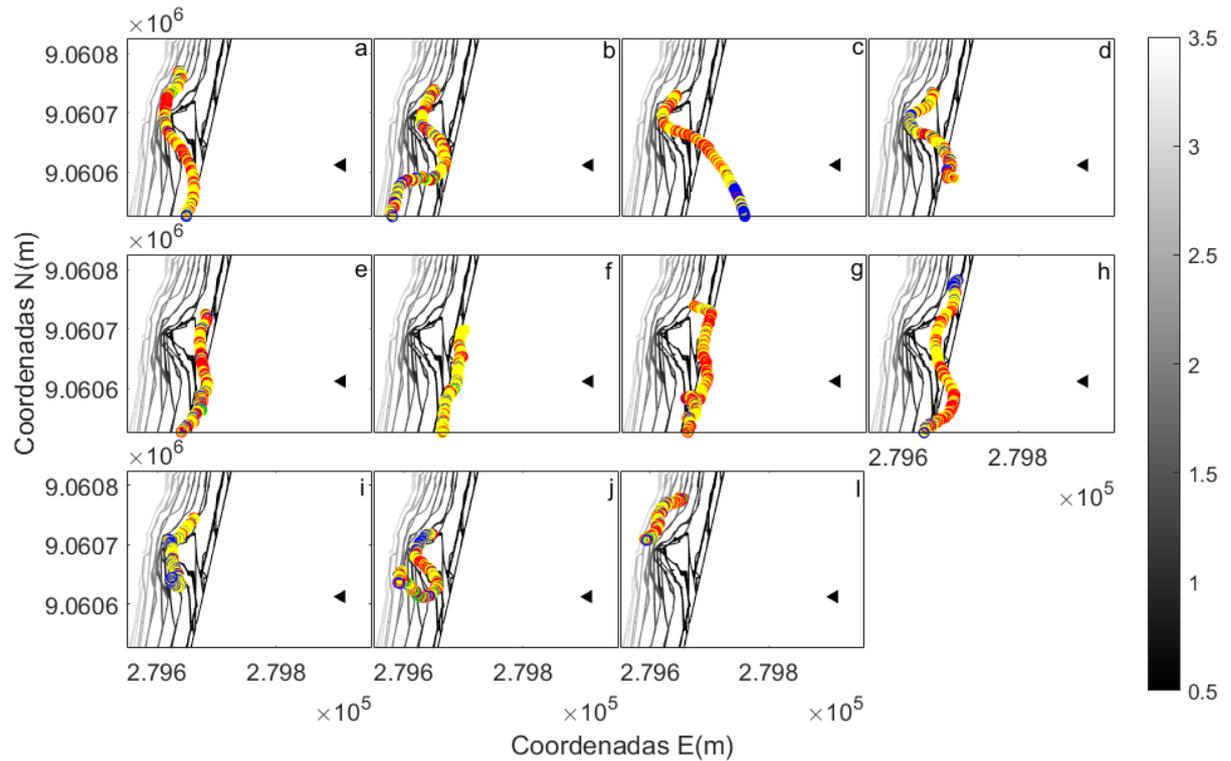
Fonte: O autor.

As 6h (Figura 17-a) o derivador retorna a praia. As 7h comportamento de fuga. As 8h deriva longitudinal. As 9h comportamento de fuga. Entre as 10h e 13h comportamento de deriva longitudinal meandrante. As 14h e 16h deriva longitudinal e as 15h retorno a praia.

Dia 4

A figura 18 mostra os comportamentos dominantes dos derivadores no quarto dia de experimento.

Figura 18. Padrões de circulação no quarto dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.



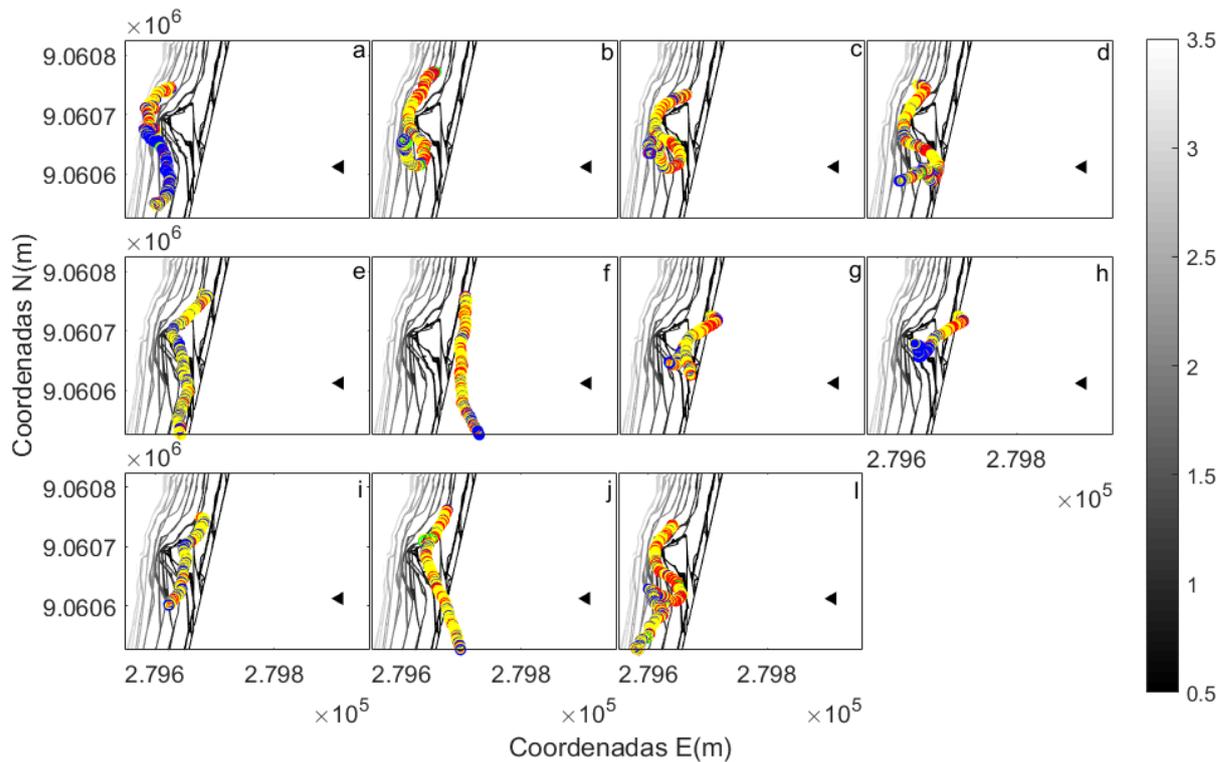
Fonte: O autor.

As 6h e 7h, (Figura 18-a) deriva longitudinal, as 8h e 9h comportamento de fugas da zona de surfe. Entre as 10h e 13h deriva longitudinal meandrante. Entre 14h e 16h retorno a praia.

Dia 5

A figura 19 mostra os comportamentos dominantes dos derivadores no quarto dia de experimento.

Figura 19. Padrões de circulação no quinto dia de experimento. As cores representam a intensidade das correntes (Azul: menor ou igual a $0,5 \text{ m s}^{-1}$; amarelo: maior que $0,5 \text{ m s}^{-1}$ e menor ou igual a 1 m s^{-1} ; vermelho: maior que 1 m s^{-1} e menor ou igual a 2 m s^{-1} ; verde: maior que 2 m s^{-1}) sobre o contorno topográfico em escala de cinza.



Fonte: O autor.

Entre 6h a 9h comportamento de retorno a praia. As 10h deriva longitudinal. As 11h fuga da zona de surfe. Entre as 12h e 14h retorno a praia. As 15h fuga da zona de surfe. As 16h retorno a praia.

5.4.2 Análise dos padrões de circulação

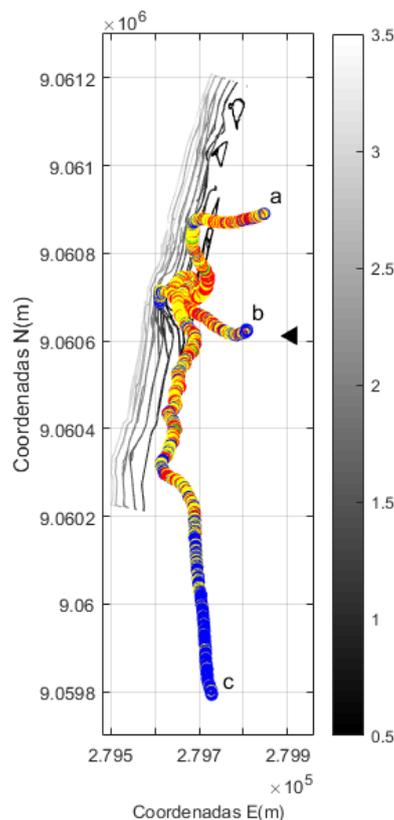
Após mostrar os comportamentos predominantes dos derivadores em cada hora de experimento de cada dia, é feito uma análise dos cinco padrões que foram predominantes e o que pode ter contribuído para a ocorrência de cada um:

1) **Fuga:** As correntes de retorno são as correntes responsáveis por causar a saída dos derivadores da zona de surfe, estes atingiram distâncias transversais em relação a praia de até 260 metros local de lançamento. Esses comportamentos de fugas transversais foram

predominantes no primeiro dia de experimento, já nos demais dias, é possível observar um ângulo inclinado nas fugas dos derivadores. Essa variabilidade de ângulos de fugas foi descrita por autores como Komar (1998) e Dalrymple et al. (2011), que afirmam que o ângulo de incidência das ondas irá causar mudanças na resultante direcional das correntes de retorno.

Observando os padrões de circulação do segundo dia (Figura 16), embora seja possível observar que existe uma componente transversal sentido costa a fora, nenhum derivador chegou a atravessar a zona de surfe, antes disso, seu curso era desviado e seguiam uma deriva longitudinal. No entanto, isso não quer dizer que não existe correntes de retorno naquele momento atuando sobre o derivador, e sim, que o derivador sofreu uma influência de uma corrente longitudinal, possivelmente uma deriva litorânea influenciada pelo ângulo de incidência das ondas e dos ventos. Ao analisar os comportamentos dos derivadores além da área delimitada, fica claro a existência de correntes de retorno ativas tanto a norte como a sul da área delimitada (Figura 20).

Figura 20. Fugas dos derivadores causado por diferentes correntes de retorno ao longo da praia do Cupe: (a) corrente ao norte do local de lançamentos, (b) corrente de retorno no local de lançamentos; (c) corrente de retorno ao sul.



Fonte: O autor.

A figura 20 corrobora com os resultados das imagens do sistema de vídeo imageamento (figura 13), onde também mostra correntes de ativas ao longo da praia do Cupe. Desta forma, embora muitas vezes os derivadores, na área delimitada, não tenha cruzado a

zona de quebra das ondas sentido costa a fora, é observado que existem correntes de retorno ativas ao longo da praia.

2) **Retorno a praia:** Os comportamentos dos derivadores retornaram à praia foram comuns a todos os dias de experimento, eles ocorreram principalmente em momentos de picos da preamar, onde a força das ondas sobre os derivadores eram mais fortes do que as correntes da zona de surfe, e também em picos de baixa-mares, quando os derivadores cruzavam o canal e encalhavam no banco adjacente. De uma forma geral, independentemente do nível de maré, fica claro que este comportamento está associado a momentos de correntes menos intensas, e isso pode explicar o porquê do quinto dia de experimento ter tido uma maior quantidade deste comportamento, já que foi onde as alturas das ondas atingiram seus menores níveis. Isso corrobora com o entendimento que a altura das ondas tem papel direto na modulação da intensidade das correntes de retorno, observado por outros autores. (BRANDER; SHORT, 2001; MACMAHAN et al., 2006).

3) **Deriva longitudinal:** Apenas no primeiro dia o equipamento derivou sentido norte, nos demais dias todas as derivas longitudinais levaram os derivadores em sentido sul. O principal fator modulador que se destaca e que pode ser atribuído a estes comportamentos opostos é o ângulo de incidência das ondas. O gráfico do ângulo de incidência das ondas (Figura 12-d) mostrou que o primeiro dia foi o único onde as ondas chegaram na praia do Cupe sendo originadas do quadrante sul/sudeste, já os demais dias as ondas que atingem a praia do Cupe são predominantes do quadrante leste/sudeste. As derivas longitudinais ocorreram tanto na baixa-mar como na preamar.

4) **Circulação em célula:** A circulação em célula ocorreu predominantemente no primeiro dia e somente na baixa-mar. O fato de só ter ocorrido na baixa-mar indica que a morfologia dos bancos tem uma grande influência para este tipo de comportamento, assim como, o canal das correntes estar fechado. E o fato de ter ocorrido predominante no primeiro dia pode ser atribuído tanto a questão dos ventos, que permaneceram fracos (Figura 12-e) durante todo o primeiro dia, assim como, o período das ondas, que foram altos (>12 segundos). Foram encontradas circunferências de até aproximadamente 250 metros.

5) **Circulação com fuga:** A circulação com fuga aconteceu apenas em 1,83% dos lançamentos e também foram predominantemente no primeiro dia. Embora a ocorrência seja

baixa, ela corrobora com a influência que o canal aberto e fechado possui sobre o comportamento dos derivadores, pois esse tipo de circulação ocorreu na baixa-mar, no entanto, no limiar de abertura do canal, ou seja, na transição entre baixa-mar e preamar.

O quadro 2 mostra um resumo dos principais comportamentos descritos, taxa de observações e em qual tipo de maré ocorreram.

Quadro 2. Comportamentos, taxa de observação e ocorrência em cada nível de maré.

Comportamentos	Observações (%)	Baixa-mar	Preamar
Fuga	35,32	x	x
Retorno a praia	34,40	x	x
Longitudinal	21,09	x	x
Circulação em célula	11	x	
Circulação com fuga	1,83	x	

Fonte: O autor.

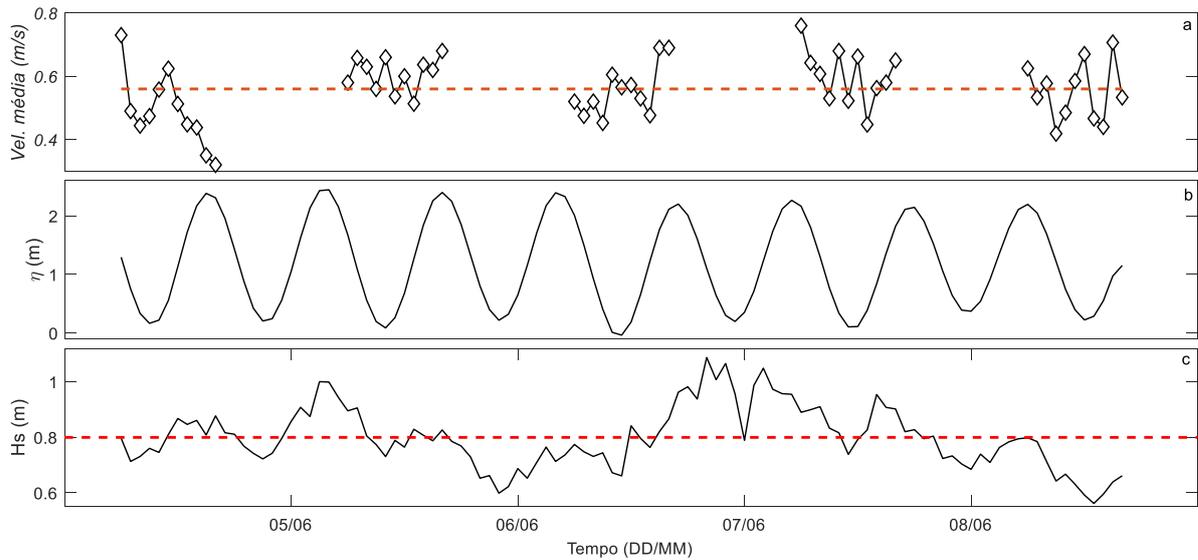
5.4.3 Análise geral da intensidade das correntes

Fazendo uma análise geral da intensidade das correntes obtidas através dos lançamentos dos derivadores circulando na área delimitada (Figura 21) foi encontrado uma média de $0,56 \text{ m s}^{-1}$ para os cinco dias de campo. A menor intensidade, $0,32 \text{ m s}^{-1}$, foi observada no primeiro dia de experimento e a maior intensidade, $0,76 \text{ m s}^{-1}$, no quarto dia.

No primeiro dia de campo é possível observar que as intensidades das correntes de retorno sofrem uma modulação de acordo com o nível do mar, onde no pico da preamar a intensidade das correntes de retorno chega ao seu menor nível. Este resultado corrobora com observações de outros autores que afirmam que a maré tem um papel modulador sobre as correntes e que sua intensidade aumenta em direção costa a fora a medida que a profundidade diminui (BRANDER; SHORT, 2001; MACMAHAN et al., 2005, 2009; CASTELLE et al., 2009; LEATHERMAN; FLETMEYER, 2011; AUSTIN et al., 2014; BRUNEAU et al., 2013; SCOTT et al., 2014).

Por outro lado, os demais dias não apresentam mudanças nas suas intensidades com uma linearidade associada aos níveis de maré. Pode-se notar uma grande oscilação entre os lançamentos, com períodos mais e menos intensos independente dos níveis de maré.

Figura 21. Em a: Intensidade das correntes na área delimitada, a forma geométrica representa a intensidade de cada horário de lançamento. Em b, nível do mar e em c: altura significativa das ondas. A linha vermelhada tracejada representa a média geral de cada parâmetro.



Fonte: O autor.

No que se refere a modulação da intensidade das correntes pela altura das ondas, é possível notar, observando a média da intensidade das correntes e a média da intensidade das ondas, que entre os dias 2 a 5 a intensidade das correntes acompanha o padrão de altura das ondas acima da média, como por exemplo: Considerando apenas o intervalo horário de lançamento (6h – 16h), no dia 2, 72,72% (Quadro 3) da intensidade das correntes estiveram acima da média geral ($0,56 \text{ m s}^{-1}$), assim como, 54,54% dos registros de H_s também estiveram acima da média. Já no dia 3, em 54,54% dos lançamentos as correntes apresentaram intensidade abaixo da média e o H_s deste mesmo dia registrou 63,63% de alturas abaixo da média. No entanto, esse padrão não aconteceu no primeiro dia, onde, enquanto a taxa de lançamentos com intensidades acima da média foi de apenas 18,18%, a taxa de H_s acima da média foi de 63,63%. Esses resultados corroboram com o entendimento que o primeiro o padrão das correntes da zona de surfe foi dominado pelo nível do mar, já os demais dias a altura das ondas teve um peso maior no controle da intensidade.

Quadro 3. Taxa de momentos onde a intensidade das correntes e a altura das ondas estiveram acima ou abaixo da média geral de cada parâmetro em cada dia de campo considerando o período de lançamentos (6g – 16h).

Dia	Correntes		Hs	
	Acima%	Abaixo%	Acima%	Abaixo%
1	18,18	63,63	63,63	36,36
2	72,72	18,18	54,54	27,27
3	45,45	54,54	36,36	63,63
4	63,63	27,27	81,81	9,09
5	45,45	54,54	9,09	90,90

Fonte: O autor.

Já no que se refere a influência do nível do mar sobre a altura das ondas é notável, na figura 21, que existe uma modulação, onde, as alturas das ondas tendem a aumentar com o aumento do nível do mar e a diminuir na baixa-mar.

5.5 Correntes de retorno

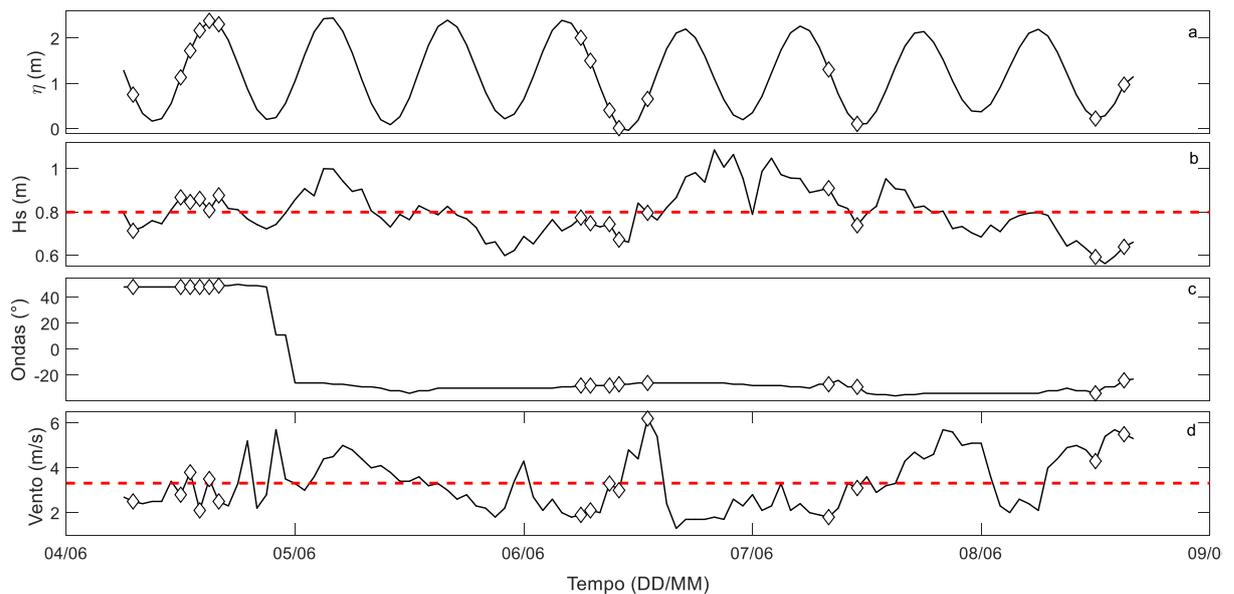
Os resultados já apresentados neste trabalho mostram que os derivadores podem ter comportamentos distintos em um mesmo dia e até mesmo em um único lançamento. Como por exemplo foi mostrado na figura 20, onde, antes da fuga um derivador teve um comportamento de circulação em célula (Figura 20-a) e seguiu para corrente a norte, o outro teve um comportamento longitudinal (Figura 20-c) e a fuga foi acontecer na corrente de retorno a sul. Já o terceiro derivador que é mostrado (Figura 20-b), tem um comportamento exclusivamente de fuga, indicando que a corrente de retorno foi predominante naquele momento do mar.

Com base nisso, este autor realizou uma filtragem dos comportamentos de fugas e buscou selecionar somente os que tinham esta estrutura completa de corrente de retorno, ou seja, alimentador, pescoço e cabeça, sem que esta estrutura sofresse influência de outras correntes. Este método permite conhecer exatamente em quais condições as correntes de retorno foram predominantes, suas intensidades médias e máximas, entre outras características.

5.5.1 Ocorrência das correntes

Durante o período de experimento, 6,88% dos lançamentos se enquadraram na caracterização fiel de estrutura de correntes de retorno. A figura 22 mostra em quais condições de maré, altura e direção das ondas e intensidade dos ventos, as correntes de retorno foram predominantes.

Figura 22. Ocorrência das correntes de retorno em relação ao (a) nível do mar; (b) altura significativa das ondas; (c) direção das ondas e; (d) intensidade dos ventos.



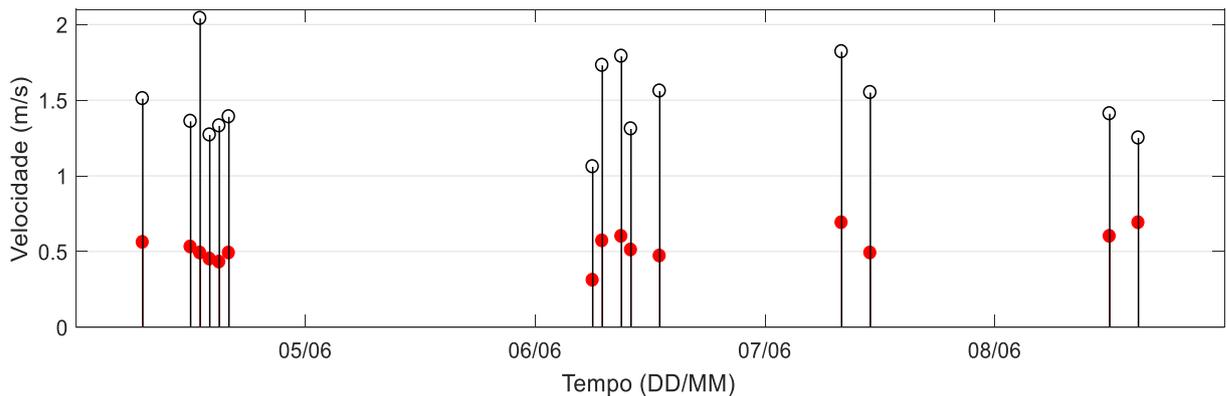
A figura 22 mostra que o primeiro dia de campo foi onde ocorreu a maior quantidade de correntes de retorno, seguido pelo terceiro dia e os dias quatro e cinco com a mesma quantidade de ocorrência, já o segundo não houve correntes de retorno na área delimitada e com o perfil proposto. É possível observar que correntes de retorno estiveram presentes em todos níveis do mar, desde picos da baixa-mar, marés médias até picos de preamar. No entanto, a maior das ocorrências aconteceu durante marés médias ou baixas.

É observado também que as correntes de retorno não estiveram diretamente associadas a picos de altura das ondas, ocorrendo, inclusive, em momentos onde o H_s esteve abaixo da média. Também é possível perceber que a maior parte das ocorrências foram em ventos abaixo da média geral (3 m s^{-1}). No que se refere ao ângulo de incidência das ondas, é notado que ocorreram correntes de retorno com ondas do quadrante sul/sudeste e também leste/sudeste.

5.5.2 Intensidade das correntes

A velocidade média das correntes de retorno foi $0,52 \text{ m s}^{-1}$. A maior média foi $0,69 \text{ m s}^{-1}$, que ocorreu no quarto e quinto dia e estiveram associadas a marés médias, $1,30\text{m}$ e $0,97 \text{ m}$, respectivamente. Picos de intensidade chegaram a $2,04 \text{ m s}^{-1}$, ocorrendo no primeiro dia, seguido de $1,82 \text{ m s}^{-1}$ no quarto dia (Figura 23).

Figura 23. *Stem plot* indicando as intensidades médias (círculos vermelhos) e as médias dos picos de intensidades (círculos pretos vazios) das correntes de retorno.



Fonte: O autor.

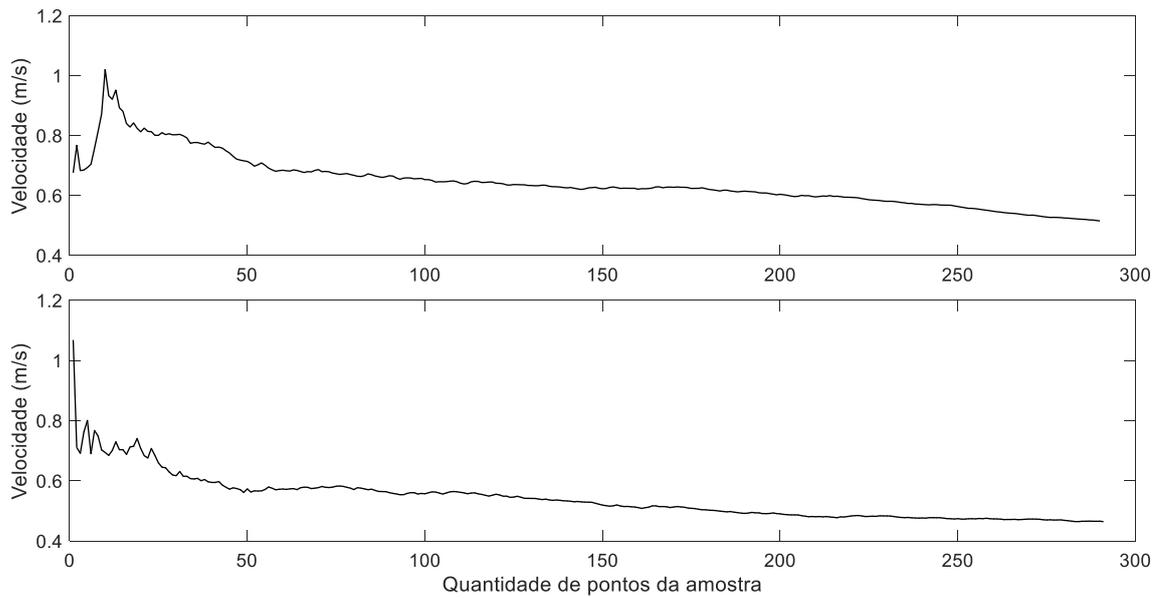
5.5.3 Variação da intensidade

Com intuito de compreender a estrutura das correntes de retorno no que se refere a sua intensidade, foi analisado o perfil das correntes em todo o seu lançamento, desde o pescoço até a cabeça. Foram escolhidas duas amostras de lançamentos que ocorreram na preamar (Figura 24) e duas amostras na baixa-mar (Figura 25) e foi aplicada uma média móvel simples, com objetivo de verificar se ocorre diferenças entre eles e em qual local as correntes estão tendo uma maior e menor velocidade.

Preamar

Os resultados dos perfis de intensidade das correntes de retornos que ocorreram na preamar (Figura 24) mostram que o início do lançamento, nos primeiros 20 segundos, é o momento de maior intensidade da corrente de retorno, ou seja, na região do alimentador. Após esse pico inicial, a intensidade da corrente começa a diminuir seguindo em direção costa a fora até chegar aos seus menores níveis de intensidade. Corroborando que dentro da zona de surfe as correntes são de grande intensidade chegando a serem 2,3 vezes mais fortes.

Figura 24. Perfil de intensidade das correntes de retorno na preamar. O eixo x corresponde a quantidade de pontos da amostra, onde cada ponto corresponde a 2 segundos.

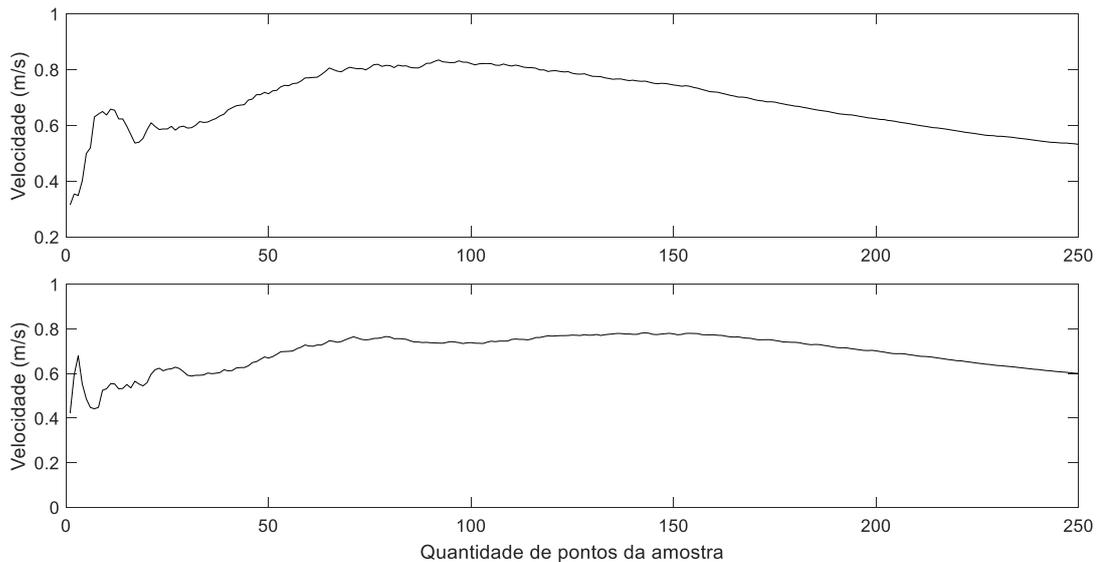


Fonte: O autor.

Baixa-mar

Os perfis de intensidade das correntes de retorno na baixa-mar mostram um comportamento diferente do que acontece na preamar. Enquanto a corrente de retorno na preamar tem seu pico de intensidade nos primeiros segundos, na baixa-mar, o pico de intensidade ocorre entre 3 a 5 minutos de lançamentos, indicando uma maior intensidade na região do pescoço. Esses resultados sugerem que as correntes de retorno vão ter um incremento na sua intensidade ao passar por regiões de menor profundidade e de área menor, uma vez que, a região do pescoço é onde está o canal entre os bancos.

Figura 25. Perfil de intensidade das correntes de retorno na baixa-mar. O eixo x corresponde a quantidade de pontos da amostra, onde cada ponto corresponde a 2 segundos.



Fonte: O autor.

É importante salientar, que a região do alimentador na baixa-mar, embora não seja a região de maior intensidade, ela apresenta picos, indicando ser uma região de bastante energia independentemente do nível do mar. Assim como na preamar, ao tempo que os derivadores cruzam a zona de surfe, a sua intensidade começa a diminuir.

Esses resultados indicam a uma modulação da intensidade das correntes pela topografia, ou, a relação que a profundidade tem sobre a intensidade das correntes de retorno, quanto menor a profundidades mais intensas serão as correntes.

6 CONCLUSÕES

Os derivadores lançados na zona de surfe da praia do Cupe tiveram cinco comportamentos principais: Fuga da zona de surfe, derivas longitudinais, circulação em célula, circulação com fuga e retorno a praia;

A zona de surfe da praia do Cupe é um ambiente dinâmico onde diversos padrões de correntes estão atuando, ora de forma simultânea, ora com algum padrão sendo predominante;

O ângulo de incidência das ondas, e com menor peso, a intensidade e direção dos ventos, irão influenciar no comportamento direcional dos derivadores;

A altura das ondas, variação do nível do mar e a topografia são os principais fatores que atuam modulando a intensidade das correntes da zona de surfe da praia do Cupe. Quanto maior for a altura das ondas mais intensas serão as correntes; níveis baixos a médios de maré tendem a causar correntes com maior intensidade assim como, regiões onde a relação de

profundida da superfície da água ao leito for menor também serão os locais onde as correntes serão mais intensas;

Foram encontradas correntes de retorno de alta intensidade na praia do Cupe, com média de $0,52 \text{ m s}^{-1}$ e picos médios de até $2,04 \text{ m s}^{-1}$;

Correntes de retorno estiveram presentes em todos os níveis de maré, com as maiores intensidades ocorrendo na baixa-mar;

Correntes de retorno apresentam perfis distintos de intensidade entre preamar e baixa-mar. Com a preamar apresentando intensidades maiores no alimentador e a baixa-mar apresentando intensidades maiores no pescoço;

As correntes de retorno chegam a ser 2,3 vezes mais fortes dentro da zona de surfe do que fora dela;

Embora não seja o objetivo deste trabalho, estas informações podem ser direcionadas e aprofundadas para fins de gerenciamento costeiro, podendo ser aplicadas desde a educação e treinamento sobre o risco de afogamentos até o entendimento do balanço sedimentar e erosão da praia do Cupe.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD, T.; GREENWOOD, B.; NIELSEN, J. “Mean Currents and Sediment Transport in a Rip Channel”, **Marine Geology**, v. 140, pp. 25-45, 1997.
- AAGAARD, T.; VINTHER, N. Cross-shore currents in the surf zone: rips or undertow? **Journal of Coastal Research**, v 24, pp. 561–570, 2008.
- AUSTIN, M. J., MASSELINK, G., SCOTT, T. M.; RUSSELL, P. E. “Water-level controls on macro-tidal rip currents”. **Continental Shelf Research**, v. 75, pp. 28-40, 2014.
- AUSTIN, M. J.; SCOTT, T. M.; RUSSELL, P. E.; MASSELINK, G. “Rip current prediction: development, validation and evaluation of an operational tool”, **Journal of Coastal Research**, v.29, pp. 283–300, 2013.
- BIRRIEN, F.; CASTELLE, B.; DAILLOUX, D.; MARIEU, V.; RIHOUEY, D.; PRICE, T. D. Video observation of megacusp evolution along a high- energy engineered sandby beach: Anglet, SW France. In: Conley, D. C., Masselink, G., Russell, P. E., O’Hare, T. J. (Eds.). **Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England)**, Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 1727-1732, 2013.

- BOWEN, A. J. “Rip currents, 1, Theoretical investigations”, **Journal of Geophysical Research**. v.74, pp. 5467-5478. 1969.
- BRANDER, R. W. Sediment transport in low-energy rip current systems. **Journal of Coastal Research**, 15(3): 839-849, 1999.
- BRANDER, R. W.; SHORT, A. D. Flow kinematics of low energy rip current systems. **Journal of Coastal Research**, v 17, pp. 468– 481, 2011.
- BRANDER, R. W.; SHORT, A. D. Morphodynamics of a large-scale rip current system, Muriwai Beach, New Zealand. **Marine Geology**, v. 165, p. 27-39, 2000.
- BRUNEAU, N.; CASTELLE, B.; BONNETON, P.; PEDREROS, R.; ALMAR, R.; BONNETON, N.; BRETTEL, P.; PARISOT, J.; SÉNÉCHAL, N. Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. **Continental Shelf Research**, v. 29, pp. 1650–62, 2009.
- CASTELLE, B.; ALMAR, R.; DOREL, M.; LEFEBVRE, J.-P.; SENECHAL, N.; ANTHONY, E. J.; PENHOAT, Y. D. Rip currents and circulation on a high-energy low-tideterraced beach (Grand Popo, Benin, West Africa). **Journal of Coastal Research**, 70 (70), 633–638, 2014.
- CASTELLE, B.; BRETTEL, P.; MORISSET, S., BONNETON, P.; BONNETON, N.; TISSIER, M.; SOTIN, C.; NAHON, A.; BRUNEAU, N.; PARISOT, J. P.; CAPO, S.; BUJAN, S.; MARIEU, V. Rip current over strong alongshore nonuniformities: on the use of HADCP for model validation. **Journal of Coastal Research**, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium), Lisboa, Portugal, pp. 1746–1750, 2009.
- DALRYMPLE, R. A. A mechanism for rip current generation on an open coast. **Journal of Geophysical Research**, 80, 3485–3487. 1975.
- DALRYMPLE, R. A.; MACMAHAN, J. H.; RENIERS, A. J. H. M.; NELKO, V. Rip Currents. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 43, p. 551–81, 2011.
- DAVIES, J. L. A morphogenetic approach to world shorelines. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, 8, 127-142. 1964
- ENGLE, J.; MACMAHAN, J.; THIEKE, R. J.; HANES, D. M.; DEAN, R. G. Formulation of a rip current predictive index using rescue data. **Florida Shore and Beach Preservation Association National Conference**. 2002.

- HALLER, M. C. Experimental study of nearshore dynamics on a barred beach with rip channels. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, pp. 21, 2002.
- HERKER, S.; BRANDER, R.; FINCH, C.; HATFIELD, J. Why Australia needs an effective national campaign to reduce coastal drowning. **Journal of Science Med. Sport**. 11, 81e83. 2008.
- HOLLAND, K.; HOLMAN, R.; LIPPMANN, T.; STANLEY, J.; PLANT, N. Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 22, n.1, 1997.
- HOLMAN, R. A.; SYMONDS, G.; THORNTON, E. B.; RANASINGHE, R. Rip spacing and persistence on an embayed beach, **Journal of Geophysical Research**, 111, C01006, 2006.
- HOLMAN, R. Nearshore processes. **Review of Geophysics**, pages 1237–1247. 1995
- HUNTLEY, D. A.; SHORT, A. D. On the spacing between observed rip currents. **Coastal Engineering**, 17 (23), 211–225, 1992.
- INMAN, D.; TAIT, R.; NORDSTROM, C. Mixing in the surf zone. **Journal Geophysical Research**, 26, 3493–3514, 1971.
- KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2nd Edição, Prentice-Hall, Englewood-Cliffs.1998.
- KUMAR, A. S. V. V.; PRASAD, K. V. S. R. “Rip current-related fatalities in India: a new predictive risk scale for forecasting rip currents”,**Nat. Hazards**, v 71, pp. 313-335. 2014.
- LI, ZHIQIANG. **Rip current hazards in South China headland beaches**. Ocean and Coastal Management, v. 121, p. 23-32, 2016.
- LIPPMANN, T. C.; HOLMAN, R. A. The spatial and temporal variability of sand bar morphology. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. 11, p. 575–590, 1990.
- MACMAHAN, J. H.; BROWN, J.; BROWN, J.; THORNTON, E.; RENIERS, A.; STANTON, T.; HENRIQUEZ, M.; GALLAGHER, E.; MORRISON, J.; AUSTIN, M. J.; SCOTT, T. M.; SENECHAL, N. Mean Lagrangian flow behavior on an open coast rip-channelled beach: a new perspective. **Marine Geology**, v. 268, n. 1-4, p. 1–15, 2010.
- MACMAHAN, J. H.; THORNTON, E. B.; RENIERS, A. J. H. M. Rip current review. **Coastal Engennering** 53, 191 e 208. 2006.

- MACMAHAN, J.; BROWN, J.; THORNTON, E. B. Low-cost handheld global positioning system for measuring surf-zone currents. **Journal of Coastal Research**, 25(3), 744–754, 2009.
- MACMAHAN, J.; THORNTON, E. B.; STANTON, T. P.; RINIERS, A. J. H. M. RIPEX: observations of a rip current system. **Marine Geology**, v. 218, pp. 113–134, 2005.
- MALLMANN, D. L. B.; NUNES, K. C.; SA, L. A.; ARAUJO, T. C. M. **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo do litoral de Pernambuco**. Recife, Linceu, 208p, 2011.
- MALLMANN, D.; PEREIRA, P.; SANTOS, F.; FAÇANHA, P. Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169-190, 2014.
- MASSELINK G.; HUGHES, M. G.; KNIGHT, J. **Introduction to coastal processes and geomorphology**. Hodder Education, Second edition, p. 433, 2011.
- MICHALLET, H.; CASTELLE, B.; BARTHÉLEMY, E.; BERNI, C.; BONNETON, P. Physical modeling of three-dimensional intermediate beach morphodynamics. **Journal of Geophysical Research**, 118(2), 1045-1059 ,2013.
- MUNK, W. H. “The Solitary Wave Theory and its Application to Surf Problems”, **Annals New York Academy of Sciences**, v.51, pp.376-424. 1949.
- NEUMEIER, U. **Processing of wave data from pressure sensors**. Disponível em: <http://neumeier.perso.ch/matlab/waves.html>, 2013. Acesso em: 07 de julho de 2016.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. **Série Recursos Naturais e Meio Ambiente**, IBGE, Rio de Janeiro, v.4, p. 422, 1979.
- PEREIRA, P. S.; NOGUEIRA NETO, A. V. Caracterização do clima de ondas ao largo da costa de Pernambuco a partir de dados da PNBoia Recife. **XI Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite**, Arraial do Cabo, v. único, 2015.
- SATO, OLGA. Ondas e marés. Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica Instituto Oceanográfico - Universidade De São Paulo, São Paulo, SP. Disponível em ftp://io.usp.br/los/IOF1224/ondas_100623.pdf, 2010. Acesso em 10 de janeiro de 2018.
- SCHMIDT, W.; WOODWARD, B.; MILLIKAN, K.; GUZA, R.; RAUBENHEIMER, B., AND ELGAR, S. A GPS-tracked surf zone drifter. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 20, 1069–1075. 2003.

- SCOTT, T.; MASSELINK, G.; AUSTIN, A. J., RUSSELL, P. Controls on macrotidal rip current circulation and hazard. **Geomorphology**, v. 214, pp. 198-215, 2014.
- SCOTT, T.; RUSSELL, P.; MASSELINK, G. “High volume sedimenttransport and its implications for recreational beach risk. In: **Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering**, pp. 4250-4262, Hamburg. 2008.
- SHANKS, A. L.; MORGAN, S. G.; MACMAHAN, J. H.; RENIERS, A. J. H. M. Surf zone physical and morphological regime as determinants of temporal and spatial variation in larval recruitment. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 392, 140-150, 2010.
- SHEPARD, F. P.; EMERY, K.O.; LAFOND, E. C. “Rip currents: a process of geological importance”. **Journal of Geology**, v. 49, pp. 338–369, 1941.
- SHORT, A. D. Rip-current type, spacing and persistence, Narrabeen Beach, Australia. **Marine Geology**. v. 5, p. 47–71, 1985.
- SHORT, A.D.; HOGAN, C. L. Rip Currents and Beach Hazards: Their Impact on Public Safety and Implications for Coastal Management. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 12: 197-209, 1993.
- SLSA. National Surf Safety Report. **Surf Life Saving Australia**. Disponível em: <http://sls.com.au/content/2011-national-coastal-safety-report-released-61-confirmed-coastal-drownings-2010-11>. 2011. Acesso em 14 de outubro de 2017.
- SUDAU, F. F. C. **Dinâmica das correntes de retorno em uma praia intermediária de micromaré dominada por ondas**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2016.
- USLA. **National Lifesaving Statistics Report 2012**. Disponível em http://arc.usla.org/Statistics/USLA_National_Statistics_Report_2012.pdf, 2012. Acesso em 14 de outubro de 2017.
- WOODWARD, E. M.; BEAUMONT, E.; RUSSELL, P. E.; WOOLER, A.; MACLEOD, R. Analysis of rip current incidents and victim demographics in the UK. **Journal of Coastal Research**. 65 (SI), 850e855, 2013.
- WRIGHT, T. D.; SHORT, A. D. “Morfodynamics Variability of Surf Zones and Beach: A Synthesis”, **Marine Geology**, v.56, p.93-118, 1984.