

**ESTRUTURA E PROPAGAÇÃO DE CORRENTES LONGITUDINAIS NA
PRAIA DE TRAMANDAÍ – RS.**

GABRIELA BUENO JUNG

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eírio E. Toldo Jr.

Porto Alegre – 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**ESTRUTURA E PROPAGAÇÃO DE CORRENTES LONGITUDINAIS NA
PRAIA DE TRAMANDAÍ – RS.**

GABRIELA BUENO JUNG

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eírio E. Toldo Jr.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Siegle – Universidade de São Paulo.

Prof. Dr. Carlos Augusto França Scchetini – Universidade Federal do Ceará.

Prof. Dr. João Luiz Nicolodi – Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito
parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre – 2010

Agradecimentos

As primeiras pessoas que gostaria de agradecer são meus pais, que sempre confiaram nas minhas escolhas, e me apoiaram incondicionalmente! Sem eles esse trabalho não existiria!

Meu orientador Elírio, que na convivência diária nestes dois últimos anos me ajudou muito, sempre me enchendo de idéias, corrigindo meus erros, projetando guinchos, fazendo saídas de campo, me dando a oportunidade de dar aulas... Enfim, realmente fez jus à palavra orientador! E ainda por cima é gremista!

Agradecimento especial à Transpetro de Imbé por todo apoio à logística dos campos e para o fundeio do ondógrafo. À administração da Plataforma de Pesca de Tramandaí, por gentilmente ceder os registros de corrente, à CAPES pela bolsa, e ao David Motta Marques do IPH pelo empréstimo do ADP.

Muito obrigada ao Zé Nunes, por todas as saídas de campo, tentativas de fundeio do ondógrafo e conversas no CECO! Também a todos que colaboraram nas saídas de campo, em especial à Karina e o Lucas, sempre prontos pra ajudar!

A todos os professores do CECO, pelas aulas, conversas nos corredores e campos, principalmente ao Luiz Emilio, que foi peça chave em todas as tentativas de fundeio!

Aos amigos da salinha da pós do CECO, que tornaram tudo muito prazeroso, sempre com indagações sobre os trabalhos, milhões de dúvidas, momentos de surto, terror e pânico! Mas também muitas risadas, almoços no RU e mocaccinos que nos renderam a Vaca, o mascote da salinha! Edu, Heitor, Cláudia, Boris, Luana, Thunder, Felipe, Suelen e Aderson...valeu!

Todos os amigos queridos, além dos do CECO! A vida sem os amigos não tem sentido, então muito obrigada pro pessoal Cassineiro, nunca esquecido, e graças aos congressos os reencontros são garantidos! Ao pessoal do ato2007 e do LOG/Praia pela amizade. Ao pessoal da Geologia e ao CAEG por todas as Horas Felizes...sem palavras! Em especial pra Suzi, Paula, Daiane, Ane, Naná, Vi, Carine e Gabi, vocês são very special!

Enfim, agradeço a todos que fizeram parte da minha vida nestes dois últimos anos, sendo diretamente no trabalho, ou como amigos...com certeza foi tudo inesquecível!

Por fim, um dos ensinamentos do Elírio, num campo em Torres, que jamais será esquecido, e pra sempre citado: “Observem que após uma onda, vem outra” (Toldo, 2009).

Resumo

Através de observações diárias da direção da corrente longitudinal superficial, e da aquisição de perfis verticais coletados com um ADP no canal principal da praia de Tramandaí, RS, foi possível verificar o comportamento da corrente ao longo da coluna d'água e quanto à distribuição de sua direção superficial.

Análises qualitativas da direção superficial da corrente longitudinal, de 2004 a 2008, mostram a ocorrência anual de correntes sem uma única direção preferencial, sendo hora para nordeste, hora para sudoeste. A análise mensal dos registros mostra que fevereiro e março apresentaram maior bidirecionalidade que outros meses, com frequências de ocorrência semelhante de correntes para nordeste e para sudoeste. Embora o fluxo apresente ambas as direções em todos os meses, predominantemente no verão e primavera o fluxo é para sudoeste devido à ocorrência de intensos ventos alísios de nordeste, enquanto no outono e no inverno, devido às frentes frias, correntes para nordeste são mais frequentes. Comparações entre as direções simultâneas do vento, das ondas e das correntes, mostram que o ângulo de incidência das ondas é o principal fator influenciador da direção superficial da corrente.

Os perfis verticais de velocidade e direção da corrente, coletados concomitantemente a observações do vento e ondas incidentes na área de estudo, indicam valores de corrente com mínimos de 0.10m/s e máximos de 0.83m/s. Os dados indicam que o fluxo ocorre na forma de pulsos, com oscilações da direção ao longo da coluna d'água controladas pela velocidade da corrente, mais intensa nas camadas superficiais, diminuindo de intensidade próximo ao fundo. As maiores velocidades de propagação das correntes ocorrem associadas aos maiores ângulos de incidência das ondas, que durante os registros de corrente, atingiram valores entre 1,4° e 10,9°.

Abstract

Daily observations of the surface longshore current, and vertical profiles acquisitions by an ADP in the main bar of Tramandaí Beach, RS, made it possible to verify the current's behavior along water column and its surface direction distribution.

Qualitative analysis of the surface longshore current direction, from 2004 to 2008, show an annual occurrence without one preferential direction, being sometimes to NE, sometimes to SW. Monthly analysis from data showed february and march with larger bidirectionality than other months, with similar NE and SW occurrence frequencies. Although the flow shows both directions in all months, especially during summer and spring the flow is SW, due to intense NE winds, while during fall and winter, due to cold front, NE currents are more frequent. Comparisons between simultaneous wind, wave and current data, indicate that the wave's incidence angle is the most important variable to determine longshore current's direction.

The vertical profiles of velocity and longshore current direction showed variations in velocity throughout the water column with minimum and maximum values of 0.10m/s and 0.83m/s respectively. The data show that flow is in the form of pulses with oscillations in direction along the water column controlled by current velocity, being greatest in the surface layers and becoming weaker with depth. The highest velocities of current propagation correspond to the largest angles of wave incidence which, during the period of record, reached values between 1.4° and 10.9° .

Sumário

Agradecimentos	3
Resumo	4
Abstract	5
Introdução	8
Área de Estudo.....	14
Objetivos.....	16
Referências Bibliográficas	16
Longshore Current Vertical Profile on a Dissipative Beach.	19
Abstract.....	19
Resumo	19
Introduction	20
Study area	21
Methodology.....	23
Results and Discussion	25
Conclusions	36
Bibliography	36
Análise qualitativa da direção da corrente longitudinal entre 2004 e 2008 na praia de Tramandaí, RS, Brasil.....	39
Abstract.....	39
Introdução	39
Área de estudo	40
Metodologia.....	42
Resultados e Discussões	43
Conclusões.....	50
Referências Bibliográficas.....	51
Considerações finais	53

Índice de equações

Equação 1. Velocidade da corrente longitudinal proposta por Longuet-Higging (1970), modificada pelo Shore Protection Manual.	9
Equation 2. Velocity of longshore current (Shore Protection Manual, 1984, adapted from Longuet-Higgins, 1970).....	33

Índice de figuras

Figura 1. Localização da praia de Tramandaí no litoral norte do estado. Na imagem Google Earth® estão assinalados os três pontos de aquisição dos dados: corrente na plataforma de pesca, vento na estação meteorológica em terra, e local do fundeio do ondógrafo.....	15
Figure 2. Study area location, Brazilian State of Rio Grande do Sul (RS) north shore.	20
Figure 3. Position of Tramandaí beach on the State's northern coast. The Google Earth® image shows the three points of data collection: currents on the fishing platform (2), wind on the land-based meteorological station (3); the site of the wave recorder is also shown (1).....	22
Figure 4. Details of the ADP (Sontek) equipment used for current measurement.....	23
Figure 5. Tripod used to launch the ADP into the surf zone.....	24
Figure 6. Profiles of longshore current velocity and direction.....	27
Figure 7. Records from the directional waverider on 21/10/2009.....	28
Figure 8. Raw velocity profiles from the 21/10/2009 field campaign.	30
Figure 9. Relation between Hs and surface current velocity.....	32
Figure 10. Scatter plot showing dispersion of measured and estimated values of longshore current.	34
Figure 11. Trend lines of velocity of longshore current.....	35
Figura 12. Localização da área de estudo no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul.....	41
Figura 13. Localização da praia de Tramandaí no litoral norte do estado. Na imagem Google Earth® estão assinalados os pontos de aquisição dos dados: corrente na plataforma de pesca (2), vento na estação meteorológica (3), e localização do fundeio do ondógrafo (1).....	42
Figura 14. Histograma de registros anuais da direção da corrente superficial entre os anos de 2004 e 2008.	43
Figura 15. Registros mensais da direção da corrente entre 2004 e 2008.....	45
Figura 16. Distribuição da direção da corrente longitudinal nos meses de fundeio do ondógrafo, entre dezembro de 2006 e junho de 2007.....	47
Figura 17. Distribuição dos parâmetros de onda adquiridos entre novembro de 2006 e junho de 2007.	48
Figura 18. Distribuição da direção do vento durante o período de fundeio do ondógrafo, entre novembro de 2006 e junho de 2007.	49

Introdução

A hidrodinâmica na zona de surfe é controlada principalmente pelas ondas, que através do processo de quebra dissipam sua energia e formam correntes. As principais correntes costeiras são o undertow, as correntes de retorno e as correntes longitudinais (Short, 1999).

Fluxos paralelos à linha de praia, ou correntes longitudinais, são formados a partir da incidência oblíqua das ondas e por diferenças na altura das cristas, que formam gradientes no setup de água na costa, provocando um gradiente de pressão horizontal. De acordo com a teoria linear de ondas, em águas rasas, a velocidade de propagação das mesmas é proporcional à profundidade, portanto, ao longo de uma mesma crista, onde a profundidade for maior, a velocidade de propagação também será maior. O fator de atrito da água com o fundo estabiliza a corrente (Wright, 1985).

O estresse longitudinal causado pelas ondas é relacionado à taxa local de dissipação de energia da onda, independente de ser devido à quebra ou à fricção com o fundo. Portanto, usando a relação da altura de quebra da onda com a profundidade local na zona de surfe, pode-se estimar o estresse longitudinal causado pelas ondas (Longuet-Higgins, 1970).

Variações batimétricas longitudinais são comumente observadas na região nearshore, podendo causar variações na altura e direção das ondas, e no setup. Simulações matemáticas e observações em laboratório mostram que essas variações podem alterar significativamente as correntes nessa região, principalmente nas cavas (Ruessink *et al.*, 2001).

Quatro meses de observações realizadas na praia de Duck, nos Estados Unidos, indicam um padrão de circulação longitudinal uniforme em águas rasas. A área que apresentou não uniformidades foi próxima à linha de praia (até 1m de profundidade), onde a batimetria é menos regular. No entanto, os autores não encontraram uma relação entre a batimetria e as não uniformidades das correntes (Feddersen e Guza, 2003).

As correntes longitudinais aumentam de intensidade em direção a offshore, atingindo um máximo no meio da zona de surfe, a partir de onde decrescem (Wright, 1985). A Instalação de Transporte de Sedimentos de Larga Escala, do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia, das Forças Armadas dos Estados Unidos, desenvolveu estudos de variações espaciais e temporais dessas correntes. Ao

longo da zona de surfe, se mostrou uniforme em sua porção intermediária, com um pico de velocidades menores próximo à zona de swash e uma tendência decrescente de velocidade em direção a offshore (Wang *et al.*, 2002). Reniers e Battjes (1996) mostram que as correntes formadas unicamente pela incidência das ondas possuem velocidades máximas próximo às áreas onde a quebra de ondas é mais intensa.

Greenwood e Sherman (1985), constataram em medidas realizadas em uma praia arenosa canadense, com dois bancos paralelos, uma grande variabilidade espacial nos fluxos longitudinais. As regiões de quebra de onda apresentam aumentos no gradiente de fluxo de momentum, com velocidades de propagação de correntes mais altas. Nas cavas, regiões mais profundas, o gradiente é menor, provocando uma diminuição na velocidade da corrente.

Desde 1949 diversos autores desenvolvem equações teóricas e empíricas para o cálculo da velocidade da corrente longitudinal superficial. A equação mais utilizada é a proposta por Longuet-Higgins (1970), deduzida a partir do papel da componente longitudinal da tensão de radiação. Quando as ondas apresentam incidência oblíqua à linha de praia há um fluxo em direção à costa de tensão de radiação longitudinal. Ao balancear o gradiente dessa tensão com a tensão de cisalhamento de fundo gerada pela corrente, obteve a equação, posteriormente modificada pelo Shore Protection Manual:

$$V = 20,7 m (g.H_b)^{1/2} \text{sen}2\alpha_b$$

Equação 1. Velocidade da corrente longitudinal proposta por Longuet-Higgins (1970), modificada pelo Shore Protection Manual.

Onde, V = velocidade da corrente.

α_b = ângulo entre a linha de arrebentação e a linha de praia.

g = gravidade.

H_b = altura de quebra.

m = declividade do fundo.

O autor considera a altura e o ângulo de incidência das ondas como as principais variáveis condicionantes da formação e propagação das correntes, não incluindo componentes do vento. Drake (1976 *apud* Lanfredi & Framiñan, 1986), associa o efeito do vento no comportamento das correntes.

A resposta das correntes ao vento foi também analisada em Hubertz (1986). Os resultados mostram uma relação direta entre a velocidade do vento e a intensidade da corrente, ou seja, com o aumento da velocidade do vento há intensificação da corrente, e com a desaceleração do vento, diminuição de sua velocidade.

Através da análise espectral de uma série temporal de dados, o autor notou que picos de altas velocidades de corrente estão associados aos picos de altas velocidades de vento. Estes foram relacionados às passagens de frentes frias e às brisas locais.

Comparando valores medidos de corrente em diferentes pontos da zona de surfe, o autor encontrou resultados que corroboram com a proposta de Wright (1985), indicando o meio da zona de surfe como a região de correntes mais intensas. Feddersen e Guza (2003), mostram as mesmas tendências, comparando dados medidos em diferentes posições da zona de surfe da praia de Duck, que apresentaram valores mais intensos no meio da zona de surfe, diminuindo em direção a offshore.

Lanfredi & Framiñan (1986), mostram existir uma relação direta entre direção das ondas na arrebentação e direção do vento, sendo constatado que o vento pode ser um dos principais fatores a ditar a direção das ondas na arrebentação e por consequência, a corrente na costa. Hubertz (1986), observou que a direção da corrente superficial e a direção dos ventos apresentam concordância na maior parte do tempo. Foi encontrada discordância entre os dados apenas em situações de propagação de ondas na direção contrária da direção do vento.

Greenwood e Sherman (1985), registraram três casos de reversão na direção da corrente em suas campanhas de campo. O primeiro ocorreu em situação de ondas vagas com pequenas alturas, sem quebra de onda no banco externo, e correntes fracas, com 0,09 m/s de propagação. Atribuiu-se a reversão à superposição do fluxo costeiro com a ondulação de tempestade incidente.

Nos outros dois casos a reversão do fluxo foi devida às mudanças da direção de propagação das ondas, e à superposição das ondas de diferentes direções. O tempo de defasagem entre a reversão do vento e das ondas foi de uma hora e meia.

Observações realizadas em praias arenosas com bancos múltiplos, nos Estados Unidos, e com banco único, na Holanda, mostram que as ondas são a forçante principal das correntes, enquanto que o vento apresenta 20 a 25% do efeito das ondas na zona de surfe (Ruessink *et al.*, 2001).

De um modo geral, praias arenosas de bancos múltiplos, em diferentes costas, apresentam valores de intensidade da corrente longitudinal superficial semelhantes. Observações na praia de Egmond, na Holanda, apontam velocidades máximas de 1,4 m/s (Ruessink *et al.*, 2001). Feddersen e Guza (2003) mediram correntes com até 1,6 m/s no meio da zona de surfe, e até 1,0m/s em direção ao mar aberto, na praia de Duck, nos Estados Unidos.

Aproximadamente na porção média da zona de surfe, Greenwood e Sherman (1985) encontraram valores de 0,1 m/s, com um pico entre os bancos arenosos de 0,26 m/s, em situações de ventos pouco intensos. Nos mesmos locais, em eventos de passagem de frentes frias, os valores medidos foram, respectivamente, 0,2 m/s e 0,4 m/s.

No litoral do Rio Grande do Sul observam-se valores similares entre as praias. Na praia de Imbé, no litoral norte, as correntes longitudinais variam de 0,07 a 0,87 m/s (Toldo *et al.*, 1993), enquanto na praia do Mar Grosso, litoral sul, os valores variam entre 0,2 e 0,6 m/s (Alvarez *et al.*, 1981). Observam-se duas direções principais da corrente; para sudoeste, predominantes principalmente no verão e primavera, e para nordeste, mais frequentes durante o inverno (Alvarez *et al.*, *op cit*). Nicolodi *et al.* (2000), com base numa série de dados observados em 1996 e 1997, encontrou o mesmo padrão bidirecional da direção da corrente longitudinal superficial no litoral norte do Rio Grande do Sul.

Estudos desenvolvidos na praia do Cassino, litoral sul do Rio Grande do Sul, em 50 saídas de campo, mostram um predomínio das velocidades entorno de 0,40 m/s em correntes para sudoeste (mais de 30% do total medido), enquanto que praticamente não foram registradas correntes acima de 0,80 m/s nesta direção. A maioria das medições de correntes para nordeste apresentou valores abaixo de 0,40 m/s (26% do total observado), mas pelo menos 2% do total observado apresentou valores acima de 0,8 m/s. Isto mostra que existe um pequeno predomínio em intensidade das correntes para nordeste sobre as correntes para sudoeste (Fontoura, 2004).

Tozzi (1999), a partir de dados obtidos em cinco anos de observações visuais diárias do estado do mar ao largo da Praia do Cassino, mostrou que as correntes para sudoeste são predominantes em todas as épocas do ano, muito embora, as correntes mais intensas tenham sido observadas seguindo para nordeste. Tozzi & Calliari (2000), associam a intensidade e direção das correntes litorâneas na área de estudo à frequência

e intensidade dos eventos atmosféricos de S e E. Estes geram ondulações com elevadas alturas de onda, associadas à elevados valores de corrente.

Calliari *et al.* (2005), juntamente com pesquisadores do NPS (Naval Post-Graduate School), integrado no projeto “Wave attenuation over muddy bottoms, offshore Cassino Beach, RS Brazil”, através de medições de correntes longitudinais por correntômetros durante o Experimento Cassino, observou valores superiores a 50 cm/s, com direção nordeste a maior parte do tempo. Foi o primeiro trabalho onde foram coletados dados de séries temporais sobre correntes medidos com aparelhos de última geração (Puvs) na costa do RS. Foram constatadas duas inversões no sentido da corrente durante o período estudado, associadas às passagens de sistema frontais. A direção da corrente longitudinal para NE esteve associada à maior altura significativa das ondas de SE.

A velocidade da corrente variou de -1,21 (máxima para sudoeste) a 1,14 m/s (máxima para nordeste), um pouco acima dos valores encontrados em trabalhos pretéritos. A diferença entre os valores encontrados na literatura e medidos pode ter ocorrido pela metodologia de coleta de dados, visto que estes dados foram os primeiros a serem coletados com aparelhos na costa do RS.

Os aparelhos Puvs coletam dados pelo método Euleriano, ou seja, coleta os dados de corrente longitudinal ao longo do tempo, já os derivadores (utilizados nos trabalhos anteriores), coletam dados medidos no tempo e no espaço (método Lagrangeano), provocando então, diferenças entre os valores encontrados.

Os dados mostram que altos valores de corrente longitudinal estão associados a maiores alturas de onda. Observa-se que ventos fortes provocam aumentos na altura das ondas e nas velocidades de corrente longitudinal. As maiores alturas de onda estão associadas a ventos de sul.

A Tabela 1 apresenta uma relação entre a altura de onda e a velocidade da corrente:

Referência	Praia	Classificação morfodinâmica	Hs (m)	Corrente longitudinal (m/s)
Castelle e Bonneton, 2002	Truc Vert (França)	Intermediária	1 a 1,3	0,05 a 1,2
Castelle et al., 2005	Aquitanian (França)	Intermediária	2	0,5 a 1
Hubertz (1986)	Duck, CN (EUA)	Refletiva	0,3 a 3	0,11 a 0,84
Lanfredi e Framiñan (1984)	Unión (Argentina)	Dissipativa	0,87	0,2 a 1
Toldo <i>et al.</i> (1993)	Imbé, RS	Dissipativa	1,19 a 1,93	0,07 a 0,87
Feddersen e Guza (2003)	Duck, CN (EUA)	Refletiva	0,15 a 2,7	< 1,7
Fontoura (2004)	Cassino, RS	Dissipativa	0,5 a 0,75	0,4 a 0,8
Calliari <i>et al.</i> (2005)	Cassino, RS	Dissipativa	0,6 a 2	0 a 0,5
Lisniowski (2006)	Cassino, RS	Dissipativa	0,3 e 0,7	0,095 a 0,66
Jung (2008)	Cassino, RS	Dissipativa	0 a 0,95	0 a 0,66
Jung (2008)	Cassino, RS	Dissipativa	0,4 a 1,4	0 a 1,13

Tabela 1. Relação entre Hs(m) e Velocidade da corrente(m/s).

A estrutura vertical do fluxo de águas dentro da zona de surfe é fortemente controlada pela quebra das ondas e pelas correntes induzidas por ondas. Diferentemente das outras regiões de águas rasas, nela a turbulência domina em quase toda a coluna. Em profundidades menores que 5 m, a camada limite superficial e de fundo se sobrepõem à camada interna, produzindo turbulência e diferentes tipos de movimentos ainda não claramente compreendidos (Feddersen *et al.*, 2007). As velocidades no interior da coluna de água são modificadas pela turbulência das ondas incidentes e pela morfologia de fundo, em particular as velocidades das correntes próximas ao fundo.

Investigações sobre o comportamento das correntes longitudinais usualmente não consideram o fluxo não linear da estrutura vertical.

Resultados de médias temporais de dados ao longo da coluna d'água mostram que verticalmente elas não são homogêneas, mas sim apresentam uma tendência logarítmica de aumento de intensidade em direção à superfície (Wang *et al.*, 2002).

As maiores intensidades nas camadas mais próximas da superfície podem ser explicadas pela transferência de momentum do vento para o oceano e da turbulência

causada pela quebra das ondas. A força de atrito do vento na superfície provoca uma transferência de energia, que pelo atrito entre as camadas, se dissipa ao longo da coluna d'água. Espera-se que em situações com a presença de vagas haja uma maior transferência de momentum do vento para o oceano, pois a superfície do mar torna-se mais rugosa, aumentando a superfície de contato, e conseqüentemente, a transferência de energia (Withford e Thorton, 1993).

Área de Estudo

No litoral do Rio Grande do Sul, a praia escolhida para o monitoramento das correntes foi Tramandaí, 30° 00' 13'' S, 50° 07' 34'' O. A região dispõe de facilidades para o fundeio de equipamentos na zona de surfe a partir de uma plataforma de pesca com comprimento de 365m, 8m de largura e estrutura em forma de T em sua borda com 52 m. A plataforma possibilita a aquisição de dados de velocidade da corrente longitudinal no interior do canal principal (Figura 1). Além da plataforma, Tramandaí possui uma estação meteorológica próxima à praia, fornecendo dados horários de velocidade e direção dos ventos predominantes. De novembro de 2006 a junho de 2007 um ondógrafo modelo Waverider da Datawell[®] foi fundeado no ponto 29° 59' 58'' S, 50° 06' 09'' O, a 17m de profundidade. O equipamento coletou dados de altura, período e ângulo de incidência das ondas.



Figura 1. Localização da praia de Tramandaí no litoral norte do estado. Na imagem Google Earth® estão assinalados os três pontos de aquisição dos dados: corrente na plataforma de pesca, vento na estação meteorológica em terra, e local do fundeio do ondógrafo.

A praia de Tramandaí, localizada no litoral norte do Rio Grande do Sul, dispõe de facilidades para o fundeio de equipamentos oceanográficos a partir de uma plataforma de pesca, que possibilitou a aquisição de dados instantâneos de velocidades e direção da corrente longitudinal. A plataforma apresenta comprimento de 365 m, 8 m de largura e estrutura em forma de T. Sob condições de ondulação significativa esta estrutura atravessa toda a zona de surfe.

O litoral norte está inserido na extensa costa do estado com orientação uniforme NE-SW e leve sinuosidade ao longo dos seus 615 km (Figura 1). Toda esta área é constituída por depósitos quaternários inconsolidados que não recebem contribuições de areias modernas, pois toda carga de tração transportada pela rede de drenagem interior é retida nas lagunas e outros ambientes costeiros, como por exemplo, a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim. A Plataforma Continental é parte de uma ampla e passiva margem, com mais de 150 km de extensão, profundidades máximas variando entre 100 e 140 m e suave declividade da ordem de $0,06^\circ$. A antepraia é ampla e rasa com limite externo na profundidade de 10 m, onde predominam depósitos arenosos (Toldo *et al.*, 2006). A praia de Tramandaí possui um alinhamento de aproximadamente 110° .

Incidem sobre a costa ondulações geradas no Oceano Atlântico Sul e vagas geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera, provenientes de NE. Exceto pela passagem das frentes frias de S e SE, a agitação marítima é caracterizada por ondas de média a elevada energia, com altura significativa de 1,5 m e período entre 7 e 9 s. A maré astronômica é semi-diurna, com amplitude média de 0,25 m, sendo que a maré meteorológica pode alcançar 1,20 m (Almeida *et al.*, 1997). A profundidade de fechamento é estimada em 7,5 m, calculada com base em dois conjuntos de dados de ondas coletados nos anos de 1963 e 1996 no Litoral Norte do estado (Almeida *et al.*, 1999). Conseqüentemente, o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa são primariamente dominados pela ação da onda.

Objetivos

O objetivo do trabalho é determinar o comportamento da corrente longitudinal através de dois artigos. O primeiro avaliando o comportamento vertical da corrente, através de perfis verticais registrados com um ADP, e o segundo artigo determinando a distribuição da direção da corrente superficial entre 2004 e 2008, com base nos registros diários da Plataforma de Pesca de Tramandaí.

Referências Bibliográficas

Almeida, L.E.S.B.; Rosauo, N.L.; Toldo Jr., E.E. & Gruber, N.L.S. 1999. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: Anais do

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, MG. 1 CD-ROM.

Alvarez, J.A.; Gré, J.C. & Toldo Jr., E.E. 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande – Rio Grande do Sul. *Pesquisas, Porto Alegre*, 14: 131-147.

Allender, J.H. and Ditmars, J.D., 1981. Field measurements of longshore currents on a barred beach. *Coastal Engineering*, 05: 295-309.

Calliari, L.J., Holand, T., Dias M. S., Vinzon S., Thorton E. B., Stanton T. P., 2005. Experimento Cassino 2005: uma síntese dos levantamentos efetuados na ante-praia e zona de arrebentação. *Anais em CD do Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Vitória, ES, ABEQUA*.

Castelle, B. e Bonneton, P.; 2002. Wave-induced currents over the Aquitanian Coast on sand bars. 8th International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay.

Castelle, B., Bonneton, P., Sénéchal, N., Dupuis, H., Butel, R., Michel, D.; 2005. Dynamics of wave-induced currents over an alongshore non-uniform multiple-barred sandy beach on the Aquitanian Coast, France. *Continental Shelf Research*, 26: 113-131.

Feddersen F. and Guza, R.T., 2003. Observations of nearshore circulation: alongshore uniformity. *Journal of Geophysical Research*, 180.

Feddersen, F., Trowbridge, J. H. e Williams III, A. J., 2007. Vertical structure of dissipation in nearshore. *Journal of Physical Oceanography*, Vol 37 (1764 - 1777).

Fontoura, J.A.S., 2004. Tese de doutorado intitulada Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos Molhes da Barra de Rio Grande, RS, Brasil (Aplicação as praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências do Molhes Oeste e Leste da embocadura do estuário da Lagoa dos Patos).

Greenwood, B. and Sherman, D.J., 1985. Longshore currents profiles and lateral mixing across the surf zone of a barred nearshore. *Coastal Engineering*, 10: 149-168.

Hubertz, J.M., 1986. Observations of local wind effects on longshore currents. *Coastal Engineering*, 10: 275 – 288.

Lanfredi, N.W. e Framiñan, M.B., 1986. Field Study and Prediction of Longshore Currents, Argentine Coast. *Journal of Coastal Research* 2(4): 409-417.

Krusche, N., Saraiva, J.M.B., Reboita, A.M. S., 2002. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS. Nota Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

Longuet-Higgins, M.S., 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. *Journal of Geophysical Research*, 75: 6778 – 6789.

Motta, V. F., 1969. Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela barra de Rio Grande.

Nicolodi, J.L; Toldo Jr., E.E. & Gruber, N.L.S, 2000. Análise da direcionalidade das correntes litorâneas no litoral norte do Rio Grande do Sul. *Anais Semana Nacional de Oceanografia* 461- 463.

Reniers, A.J.H.M. and Battjes, J.A., 1996. A laboratory study of longshore currents over barred and non-barred beaches. *Coastal Engineering* 30:1-22.

Ruessink, B.G, Miles, J.R., Feddersen, F., Guza, R.T and Elgar, S., 2001. Modeling the alongshore current on barred beaches. *Journal of Geophysical Research* 106: 451-463.

Shore Protection Manual.

Short, A.D., 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Coastal Studies Unit, School of Geosciences University of Sidney, Australia.

Soares, I.D., 2003. Apostila da disciplina de Dinâmica dos Oceanos, notas de aula do curso de graduação em Oceanologia da FURG.

- Toldo, E. E., Dillenburg S. R., Almeida, L. E. S. B., Tabajara, L. L., Martins, R. R. e Cunha, L. O. B. P., 1993. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. Pesquisas volume 20 número 01, 1993.
- Toldo Jr., E. E. ; Nicolodi, J. L. ; Almeida, L. E. S. B. ; Corrêa, I. C. S. 2006. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport.. Journal of Coastal Research, Itajaí, SC, v. SI39, p. 390-394.
- Tozzi, H.A.M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 115p.
- Tozzi, H.A.M e Calliari, L.J., 2000. Morfodinâmica da Praia do Cassino. Pesquisas em Geociências, 27, pp 29-42.
- Wang, P., Ebersole, B.A., Smith, E.R. and Johnson, B. D., 2002. Temporal and spatial variations of surf-zone currents and suspended sediment concentration. Coastal Engineering 46: 175-211.
- Whitford, D.J. and Thornton, E.B., 1993. Comparison of wind and wave forcing of longshore currents. Continental Shelf Research 13: 1205-1218.
- Wright, L.D., 1985. Elementary notes concerning the physical energy regime of coastal zone. Department of Geological Oceanography. School of Marine Science, Virginia Institute of Marine Science of the College of William and Mary.

Longshore Current Vertical Profile on a Dissipative Beach.

Jung, G.B.¹ and Toldo Jr., E.E.²

1- Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS, gabriela.jung@yahoo.com.br

2- Universidade Federal do Rio Grande do Sul / UFRGS, toldo@ufrgs.br

Abstract

Vertical profiles of velocity and longshore current direction were obtained in the main channel of a dissipative beach with longitudinal bar-trough structure, using a SonTek[®] ADP, together with simultaneous measurements of wind and incident waves in the study area. Values recorded by the ADP show variations in velocity throughout the water column with minimum and maximum values of 0.10m/s and 0.83m/s respectively. The data show that flow is in the form of pulses with oscillations in direction along the water column controlled by current velocity, being greatest in the surface layers and becoming weaker with depth. The highest velocities of current propagation correspond to the largest angles of wave incidence which, during the period of record, reached values between 1.4° and 10.9°.

Key words: hydrodynamics, costal currents, surf zone.

Resumo

Perfis verticais de velocidade e direção da corrente longitudinal foram obtidos no canal principal de uma praia dissipativa do tipo banco e cava longitudinal com a utilização de um ADP da marca SonTek[®], concomitantemente a observações do vento e ondas incidentes na área de estudo. Valores registrados pelo ADP mostram variações de velocidade ao longo da coluna d'água, com valores mínimos de 0,10m/s e máximos de 0,83m/s. Os dados indicam que o fluxo ocorre na forma de pulsos, com oscilações da direção ao longo da coluna d'água controladas pela velocidade da corrente, mais intensa nas camadas superficiais, diminuindo de intensidade próximo ao fundo. As maiores velocidades de propagação das correntes ocorrem associadas aos maiores ângulos de incidência das ondas, que durante os registros de corrente, atingiram valores entre 1,4° e 10,9°.

Palavras chave: hidrodinâmica, correntes costeiras, zona de surfe.

Introduction

The hydrodynamics in the surf zone is complex and is mainly controlled by the incident waves which dissipate their energy by breaking, forming currents. The main flows extending throughout the whole of the surf zone are the undertow, rip currents, and longshore currents (Short, 1999). Longshore currents are flows of coastal water parallel to the line of the beach; they are generated by waves or wind and develop from the obliqueness of wave incidence and from longitudinal variation in the height of wave-break. They increase in intensity towards the open sea and attain their maximum in the middle of the surf zone, beyond which they decrease (Wright, 1985).

Longshore currents generated by winds are temporary and occur locally, their most notable effect being to disperse fine sediments (Drake, 1976 apud Lanfredi & Framiñan, 1986).

Along the coast of the Brazilian State of Rio Grande do Sul (Figure 2), the distribution of longshore current directions is highly regular towards both SW and NE in a pattern that is clearly bi-directional. Nicolodi et al. (2000) reported that in years 1996 and 1997 the main current direction was SW for 62.8 and 54.8 % of the time respectively, whilst in 1998 and 1999 there was an inversion, with a NE current for 54 and 51.2 % of the time. It has also been found that the bi-directionality has a seasonal component determined by climatic factors. From October to March, the main current direction is towards the SW, whilst between May and August it is to the NE.



Figure 2. Study area location, Brazilian State of Rio Grande do Sul (RS) north shore.

Within the surf zone the vertical structure of water flow is strongly controlled by wave-break and by currents induced by waves. Unlike other shallow-water regions, turbulence is dominant throughout the whole of the water column. At depths less than 5 m, the surface and bottom boundary layers are superimposed on the intermediate layer, producing turbulence and different types of movement not yet fully understood (Feddersen *et al.*, 2007). Velocities within the water column are modified by the turbulence of incoming waves and by bed morphology, especially those velocities near the bottom.

Field studies of the behavior of longshore currents do not usually consider the vertical structure of flow, nor the effects of bed morphology. This study reports an analysis of hydrodynamic data collected in the surf zone at Tramandaí beach on the northern coast of the State of Rio Grande do Sul, a wide sandy dissipatory beach with longitudinal bar-trough structure (Toldo *et al.*, 1993). The data were collected in field campaigns with wave measurements taken in shallow water, together with velocity and direction of current developing in the main channel between the outter and inner banks.

Study area

The beach at Tramandaí, situated on the northern coast of Rio Grande do Sul, has facilities for mounting oceanographic equipment in the form of a fishing platform, at which instantaneous measurements of velocity and direction of longshore current were recorded. The platform is 365 m long, 8 m wide, and is T-shaped (Figure 3). When there are significant waves the structure extends into the surf zone.

This northern beach forms part of the long State coast-line extending in the NE-SW direction with slight curvature along its length of 615 km (Figure 2). The whole area consists of unconsolidated quaternary deposits which are free of more recent sand deposits, since all material transported from the interior by its drainage system is retained in lagoons and other coastal environments such as the Lagoa dos Patos and the Lagoa Mirim. The Continental Platform is part of a wide and inactive margin, more than 150 km long, with maximum depth varying between 100 and 140 m and gentle slope of about 0.06° . The area inland of the beach is wide and flat with an outer limit of depth 10 m, where sand deposits predominate (Toldo *et al.*, 2006). The beach at Tramandaí runs at an angle of about 110° .

The beach is subject to swells generated in the Southern Atlantic Ocean and sea produced by the strong local winds of spring and summer, blowing from the NE. Except when cold fronts arrive from the S and SE, the sea surface is characterized by waves with medium and high energy with significant height 1.5 m and period between 7 and 9 s. The astronomical tide is semi-diurnal with mean amplitude 0.25 m, and the meteorological tide may reach 1.20 m (Almeida *et al.*, 1997). The closure depth is estimated as 7.5 m, calculated from two sets of wave data collected in years 1963 and 1996 on the State's northern coast (Almeida *et al.*, 1999). Consequently, transport and deposition of sediments along the coast are mainly determined by wave action.



Figure 3. Position of Tramandaí beach on the State's northern coast. The Google Earth® image shows the three points of data collection: currents on the fishing platform (2), wind on the land-based meteorological station (3); the site of the wave recorder is also shown (1).

Methodology

Data on the velocity and direction of longshore current were collected using a SonTek[®] ADP (Acoustic Doppler Profiler), with frequency 1.5MHz, with equi-distant sampling points over depth at increasing by steps of 0.25 m.

The ADP transmits sound pulses at constant frequencies. While the sound travels, its waves are reflected by particles in suspension. Because of the Doppler effect, particles further from the apparatus reflect waves with slightly lower frequencies, whilst particles nearer to it reflect waves that have slightly higher frequencies. The difference in frequencies is termed the Doppler displacement and is used to calculate the velocity of particular movement, and thus the velocity of the water surrounding it.

The ADP equipment, fixed to a wooden support (Figure 4), was launched into the sea surface with the aid of a tripod (

Figure 5), from the wall of the fishing platform that was exposed to incoming waves. Field procedures after launch included positioning the transducers towards the sea-bed and configuring the apparatus with the “Bottom Track” system, to give the sea-bed direction as reference. Errors of inclination and drift of the device are corrected automatically.



Figure 4. Details of the ADP (Sontek) equipment used for current measurement.



Figure 5. Tripod used to launch the ADP into the surf zone.

Data were always collected in the main channel of the surf zone, i.e., between the positions of the first and second sandbanks identified visually from the line of wave-break (Figure 3). This is the most appropriate region for collecting current data as it is free of the direct effects of turbulence that occur at the first line of wave-break.

During the course of the project there were three field visits to make simultaneous measurements of current and waves. In the field, the ADP was configured to record values of current velocity and direction at depth intervals of 0.5 m. Each profile of data collected lasted for two minutes. Table 2 shows the number of profiles measured during each field campaign. The mean velocity and resultant direction were calculated for each profile recorded.

Date	Number of profiles
30/04/2008	04
01/10/2008	04
21/10/2009_13h	06
21/10/2009_14h	04
21/102009_15h	06
21/10/2009_16h	05

Table 2. Number of profiles measured on each field visit.

In the field visits of 2008 the significant wave height was estimated visually using an aluminium ruler, taking as reference the line between the horizon and the height of the observer's eye. Wave period was measured using the time taken for ten consecutive crests to pass through the platform pillars, whilst the angle of incidence was estimated visually using as reference the angle between the line of the beach and the first wave-break.

In 2009 the directional wave meter Waverider of Datawell was moored near the beach at the point with co-ordinates 29° 59'58''S, 50° 06'09''W, at 17m depth. Considering the depth of the Waverider's anchoring is in intermediate waters, and when waves propagate through shallow waters they are affected by the sea floor, generating refraction, they're high and incidence angle change on the way to the break point. So, Wave's Linear Theory's equations were applied to calculate H_s and incidence angle in shallow waters, as proposed on Chapter 04 of Shore Protection Manual (1984). Local wind data were obtained from Tramandaí Meteorological Station of UFRGS, throughout the whole period of the study.

Results and Discussion

Wave, wind and longshore current measurements are shown in Table 3. Positive values of current velocity indicate movement towards the north-east, negative values movement towards the south-west. Incident waves in the field campaign of 30/04/2008 had period 13s, significant height 2.37m and incidence angle 121°. During the campaign of 30/10/2008, the period was about 9.25s, significant height 2.53m and angle of incidence 106°. The wave-rider measurements of 21/10/2009 showed significant wave height varying between 1.05m and 1.25m, the period between 6.9s and 7.2s, and the angle between 100.1 and 112.8°.

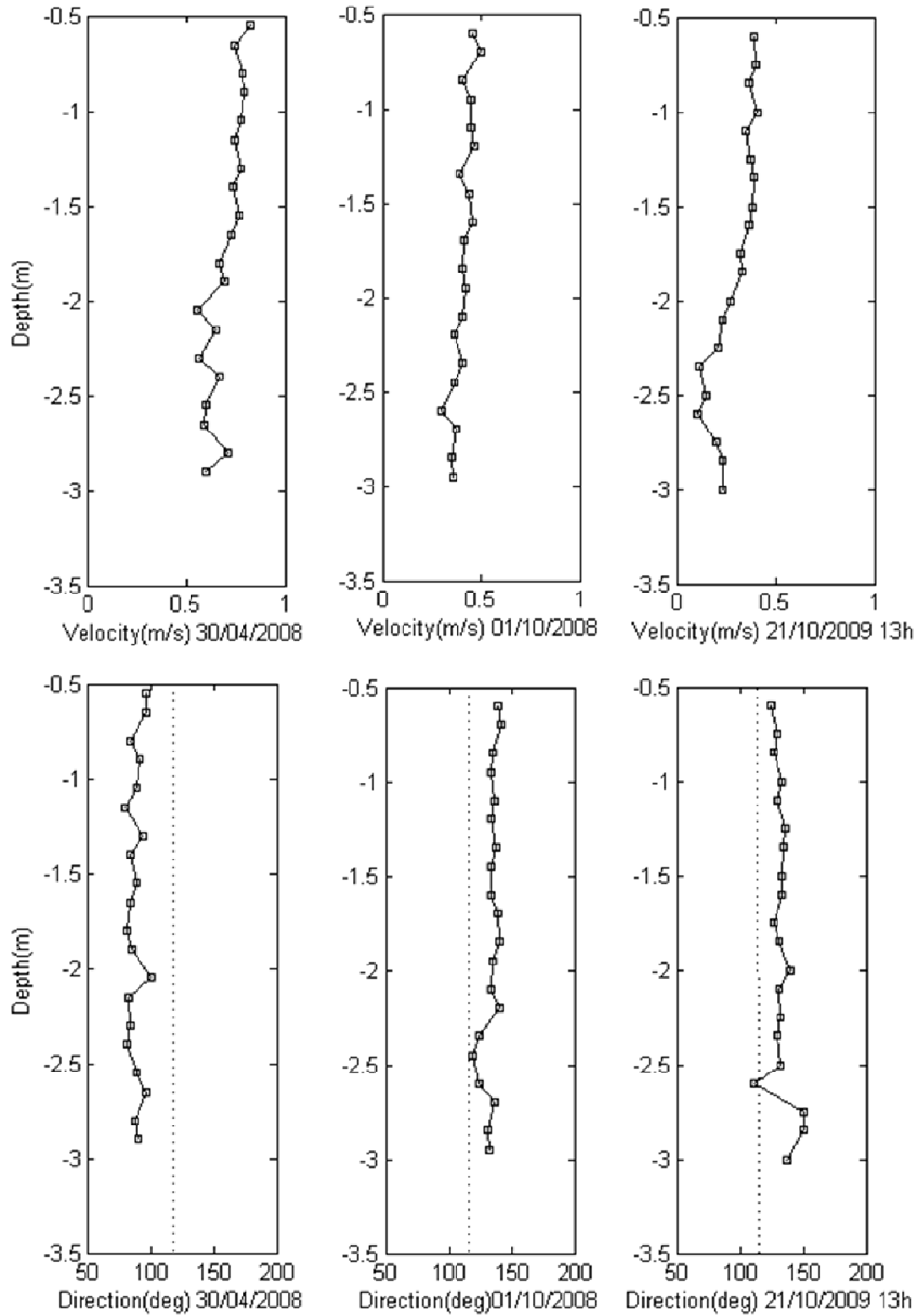
Profile		Wave			Wind		Longshore current	
Date	Time	T	H_s	Dir	Vel	Dir	Bottom vel.	Surface vel.
30/04/08*	11:00h	13	2.37	121	5.6	42	0.55	0.83
01/10/08*	11:30h	9.25	2.53	106	5.3	25	-0.30	-0.49
21/10/09	13:00h	7.2	1.05	109.6	5.3	68	-0.10	-0.40
21/10/09	14:00h	6.9	1.09	112.8	5.4	81	-0.13	-0.35
21/10/09	15:00h	6.9	1.25	100.4	5.9	97	-0.12	-0.34
21/10/09	16:00h	7.2	1.11	100.1	5.8	91	-0.12	-0.37

Table 3. Meteo-oceanographic parameters and velocities of longshore currents recorded during the course of the project, where T = period (s), H_s = significant height (m), Dir= angle of incidence (°), Vel= velocity (m/s) (*data collected by eye-level measurements).

The wind velocity was very similar in all field campaigns, between 5.3 m/s and 5.9m/s. In the campaigns of 2008 the prevailing wind direction was from the NNE and NE, and in the 2009 campaigns from ENE to E.

The ADP records are illustrated in Figure 6, giving the mean velocities and direction throughout the water column between -0.5 and -3.5 m for all profiles

surveyed in each field campaign (Table 2). The dotted line in the profiles of current direction shows the inclination of the local coastline, SW-NE, roughly 110° .



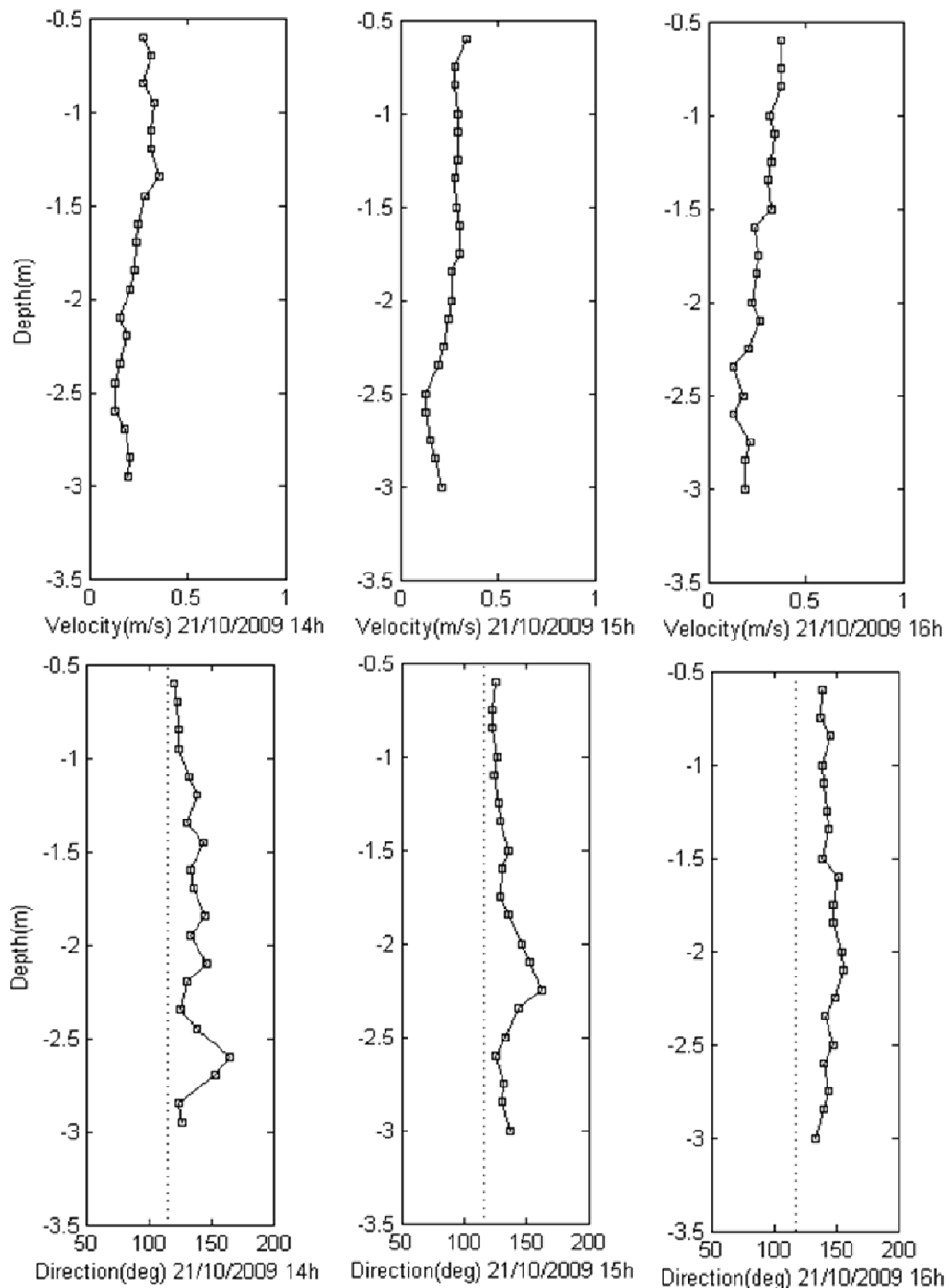


Figure 6. Profiles of longshore current velocity and direction

Profiles, in all field campaigns, show higher velocities near the surface, and smaller velocities near bottom areas. Faster currents were registered in field campaign of 30/04/2008. This situation is associated with a high incidence angle of swell, in order of 11° . During the campaign of 21/10/2009 there was a velocity

variation between sampling hours, due to changes in wave's incidence angle. Data show that the current's response to waves is instantaneous, being influenced mostly by changes in wave's incidence angles. On Figure 6, wave's registers show a similar high and oscillating incidence angle. The dot line represents the coast line position.

There's a changing in wave's propagation direction. At 13h it showed a south propagation, while current velocity was 0,4m/s. At 14h, as waves become more parallel to the beach, velocity's current is smaller, maintaining a low velocity of propagation at 15h, when wave's approach angle changes again. Even being the instant of higher waves, when there's a transition of quadrant; wave's tendency is to lose intensity. At 16h, with south waves, the longshore current assumes higher values. Between 13 and 16 h winds remained light and from the same quarter, ENE-E (Table 3).

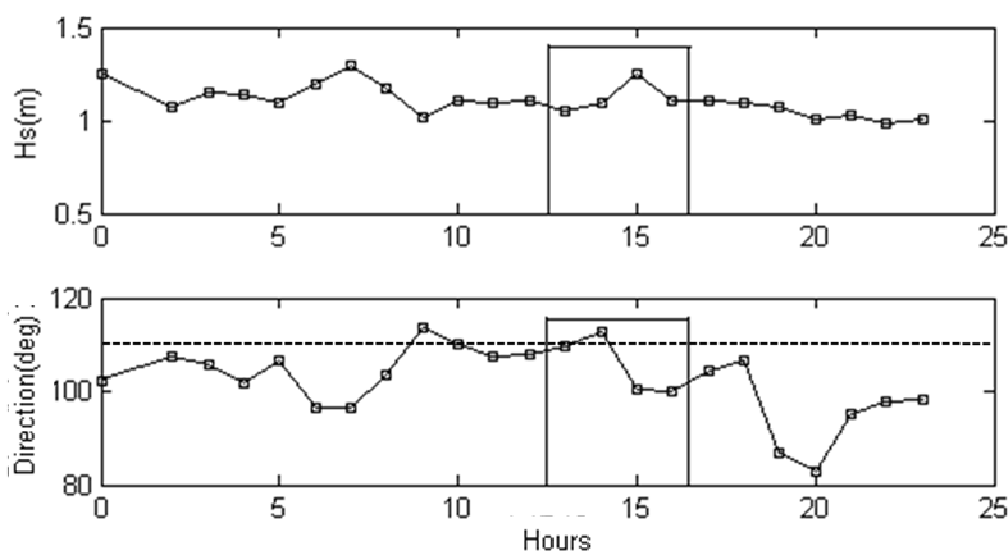


Figure 7. Records from the directional waverider on 21/10/2009.

The profiles show small fluctuations, both in velocity and direction, throughout the water column (Figure 6). The direction of the current near the surface is in agreement with the dispersion of energy flux from the incident waves, after wave-break. This was found in all field campaigns, even where wind direction differed from the direction of waves.

The greatest changes in direction were at depths greater than 2 m, although no changes or inversions in the preferential direction of propagation were found: only variations within the same quadrant. In situations where the longshore current had low velocity of propagation, as in the profile of 21/10/2009 at 13h, the

direction of current becomes more closely parallel to the beach line. The same happened in the profiles of 01/10/2008 and 21/10/2009 at 15 h. These profiles show more homogeneity in the velocity through the water column, not only in velocity but also in direction, where profiles show smaller changes between water layers.

The reduction in velocity of the current below 2m can be explained by the presence of the external and internal sandbanks near the data collection point. Greenwood and Sherman (1985) report that regions of wave-break show increased gradient of momentum flux, with higher current propagation velocities. In the hollows, which are deeper, the gradient is smaller, causing reduction in velocity of the current.

When the behavior of vertical profiles of current intensity is analysed, records are found where velocities are different at the same depths, showing that flow behavior is not uniform (Figure 8). Differences along the length of the profiles, and oscillations in the values measured, show that current moves in pulses.

From the graphs in Figure 6, showing mean values of velocity and direction of longshore current, it is not possible to detect whether the oscillations are present. However the raw profiles recorded at each sampling hour 13h, 14h, 15h and 16h (Figure 8), reveal the oscillations in velocity along the whole of the water column.

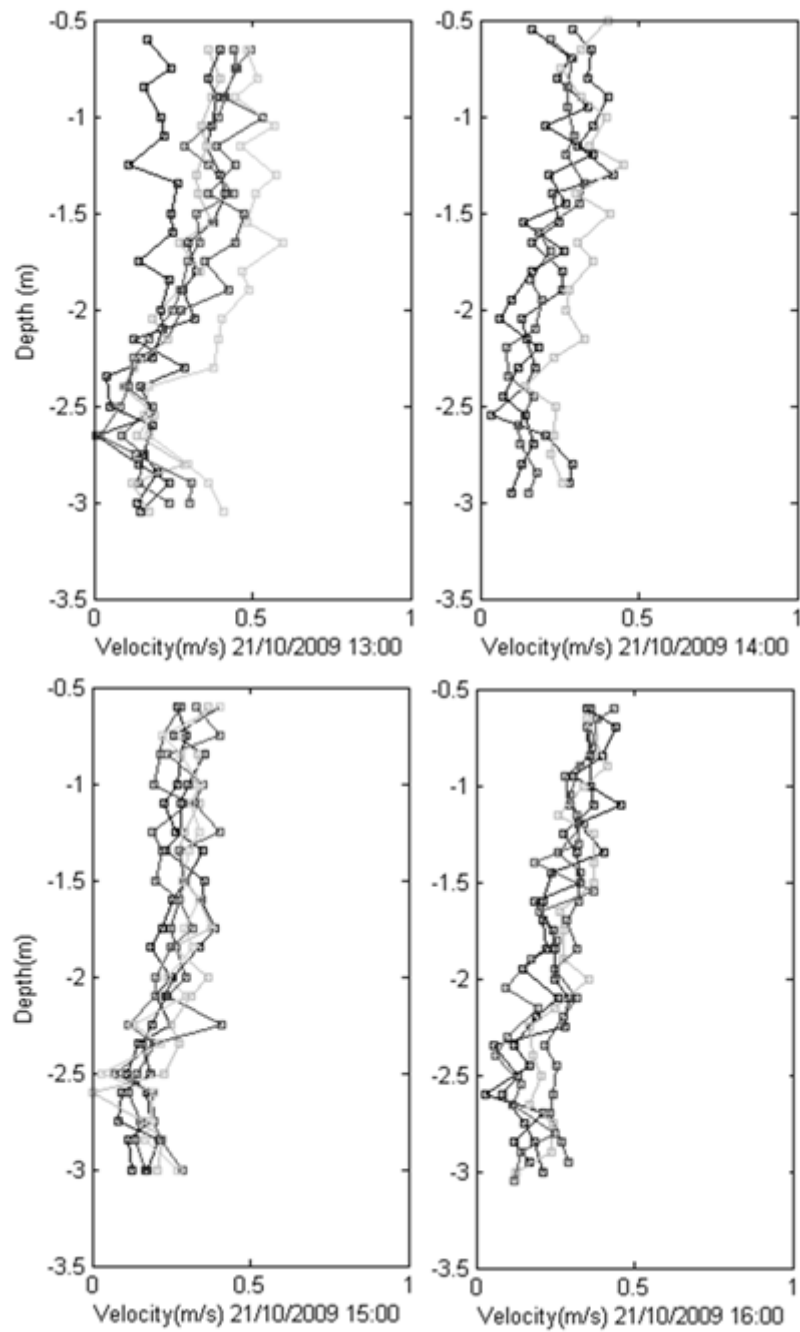


Figure 8. Raw velocity profiles from the 21/10/2009 field campaign.

There is little variation amongst the velocity values recorded at each hour (Figure 8). Profiles are measured every two minutes and show oscillations at all sampling depths, indicating that the propagation of flow is not continuous but occurs as pulses.

The greater current intensities in layers nearer the surface can be explained by the transfer of momentum from wind to sea surface, and by the turbulence caused by breaking waves. Wind-shear at the water surface causes a transfer of energy

which is transmitted between water layers but which is dissipated at greater depths in the water column. It is expected that in the presence of swells there would be a greater transfer of momentum from wind to ocean as the sea-surface becomes rougher, increasing the contact surface and, in consequence, the transfer of energy (Withford and Thornton, 1993).

The surface velocities recorded were 0.83 m/s, 0.45 m/s, 0.39 m/s, 0.27 m/s, 0.34 m/s and 0.37 m/s. These values are consistent in magnitude with those found in earlier work, where velocities of between 0.07 and 0.87 m/s were reported for the beach at Imbé (Toldo *et al.*, 1993), and between 0.2 and 0.6 m/s for the beach at Mar Grosso (Alvarez *et al.*, 1981).

The minimum velocities measured, between 0.1 and 0.13 m/s, are smaller than those found in the literature, perhaps because of the way in which samples were collected. It is possible that the use of devices such as the ADP gives more accurate and more sensitive measurements so that even very low minimum flows are detected.

In general, sandy beaches with multiple banks on different coasts give values of longshore surface current intensities that are very similar. This is seen from the summary of earlier work in Table 4, giving beach classification, significant height and incidence angle of waves, and variation in values of current intensities.

Reference	Beach	Classification	Hs	Incidence angle	Current
Castelle and Bonneton (2002)	Truc Vert (France)	Intermediate	1 to 1.3	Up to 10	0.05 to 1.2
Castelle <i>et al.</i> (2005)	Aquitainian (France)	Intermediate	2	Up to 8	0.5 to 1
Hubertz (1986)	Duck, CN (USA)	Reflective	0.3 to 3	12 to 23	0.11 to 0.84
Lanfredi and Framiñan (1984)	Unión (Argentina)	Dissipative	0.87	--	0.2 to 1
Toldo <i>et al.</i> (1993)	Imbé, RS	Dissipative	1.19 to 1.93	3 to 10	0.07 to 0.87
Feddersen and Guza (2003)	Duck, CN (USA)	Reflective	0.15 to 2.7	-47 to 58	< 1.7
Fontoura (2004)	Cassino, RS	Dissipative	0.5 to 0.75	3 to 8	0.4 to 0.8
Calliari <i>et al.</i> (2005)	Cassino, RS	Dissipative	0.6 to 2	--	0 to 0.5
Lisniewski (2006)	Cassino, RS	Dissipative	0.3 to 0.7	2 to 20	0.095 to 0.66
Jung (2008)	Cassino, RS	Dissipative	0 to 0.95	Up to 9	0 to 0.66
Jung (2008)	Cassino, RS	Dissipative	0.4 to 1.4	Up to 12	0 to 1.13

Table 4. Relation between wave height (m), incidence angle (degrees), morphodynamic classification and values of longshore current velocity (m/s).

The relation between significant height and surface current velocity can be seen in Figure 9. Wave height during the campaigns of 30/04/2008 and 01/10/2008 were very similar, with a small difference of 0.16 m, but with significant differences in angle of incidence, of 11° and 4°, respectively, in relation to the line of beach (Table 3).

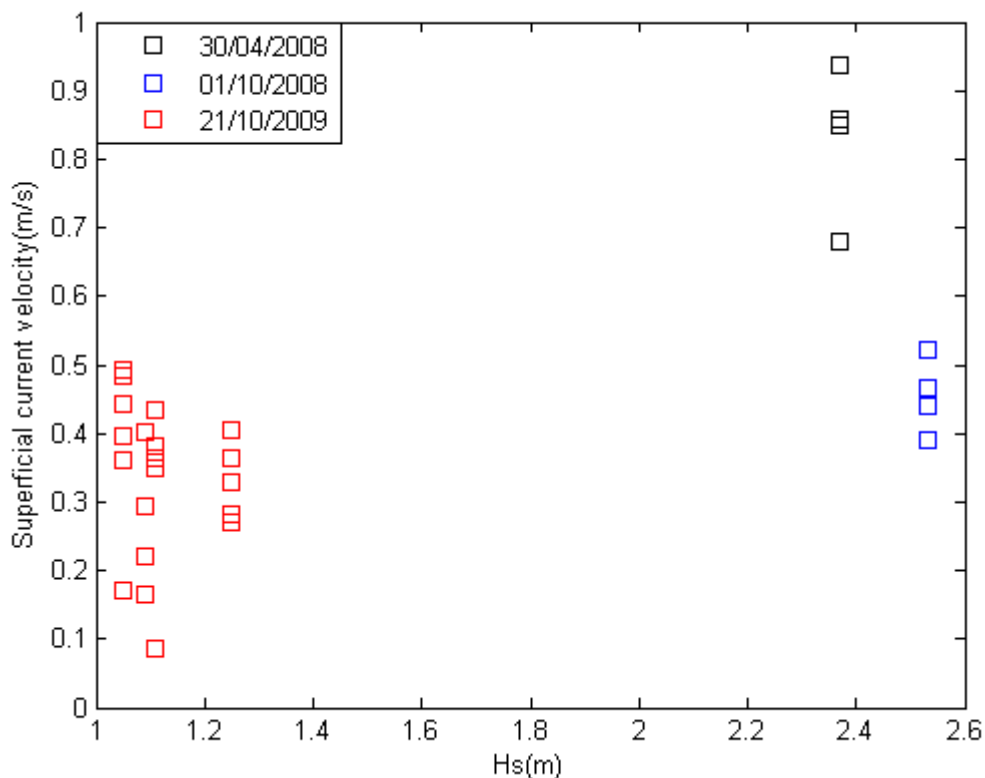


Figure 9. Relation between Hs and surface current velocity.

The smallest values for current were in the campaign of 21/10/2009, when the smallest wave heights and smallest angles of incidence were also found. It is therefore noted that the greatest velocities of surface current are associated with the greatest wave heights and the greatest angles of wave incidence. Jung *et al* (2008) observed a similar result at Cassino Beach on the southern RS coast, where calculation of a Pearson correlation coefficient between the variables resulted in a positive linear relationship.

Fontoura (2004), in a study also at Cassino Beach, observed that more intense currents were associated with higher waves and greater angles of incidence, and reported that currents to the north-east were faster than those to the south-west. This behaviour is to be expected along the coast of RS, since waves with this characteristic are associated with cold fronts coming from the south.

Observations on sandy beaches with multiple banks in the United States, and with a single bank in Holland, show that waves are the principal driver of currents, whilst the wind effect is 20 to 25% of the effect of waves in the surf zone (Ruessink *et al.*, 2001).

Comparison of data recorded by the ADP and incident waves agree with the conjecture of Longuet-Higgins (1970), who considered that wave height and angle of incidence were the most significant variables for flow propagation. Estimated values of current velocity are given in

Table 5, obtained by calculation based on the Longuet-Higgins (1970) formula, adapted in the Shore Protection Manual (1984). Values used in the equation were: H_b e α_b = measured in Field campaigns, $g = 9.81$ and $m = 1/30$, proposed by Toldo *et al.* (1993) to Tramandai beach.

$$V = 20.7 m (g.H_b)^{1/2} \sin 2\alpha_b$$

Equation 2. Velocity of longshore current (Shore Protection Manual, 1984, adapted from Longuet-Higgins, 1970).

where m = beach face slope;
 g = acceleration due to gravity;
 H_b = height at which waves break;
 α_b = angle of incidence of waves.

Measured velocity (m/s)	Estimated velocity (m/s)
0.83*	0,62
0.49*	0,23
0.40	0,01
0.35	0,11
0.34	0,39
0.37	0,38

Table 5. Estimated velocities of longshore current obtained using the Longuet-Higgins (1970) equation, compared with velocities observed in the field (* data collected by eye's high measurements).

The calculated values are smaller when the incidence angle of the waves are closely parallel to the beach, and higher when waves show a high incidence angle. Estimated and measured values differ, however, Pearson's linear correlation indicates a significant positive correlation of 0,714. The correlation was calculated between the surface and the estimated velocities, since the equation gives the surface velocity of the longshore current. The significant correlation is consistent with earlier results reported

by Toldo *et al.* (1993) and Lanfredi & Framiñan (1986), who compared observed data with estimates given by the Longuet-Higgins equation, also with good results.

The scatter plot in Figure 10 shows points concentrated near to the line, indicating high correlation between measured and calculated values.

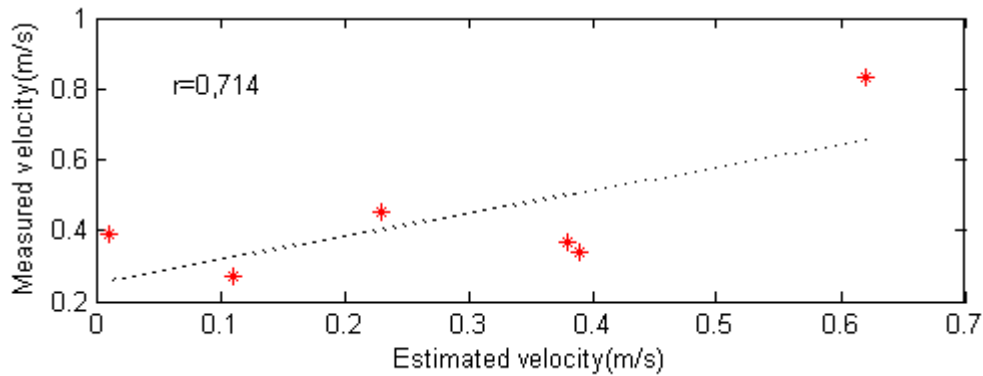
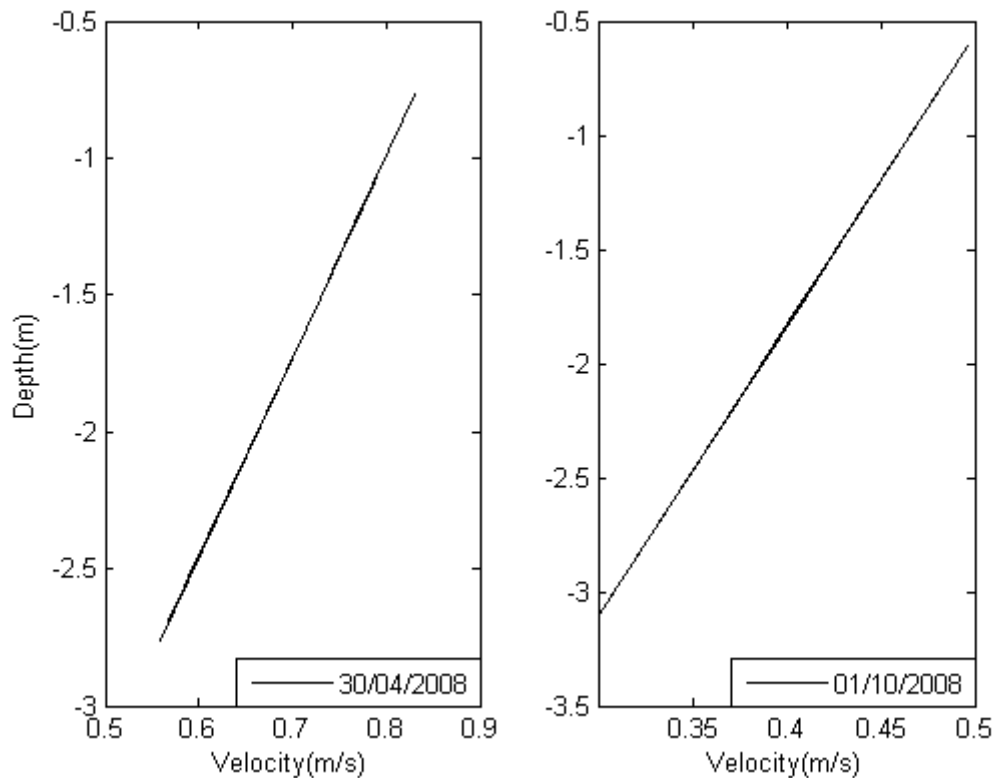


Figure 10. Scatter plot showing dispersion of measured and estimated values of longshore current.

To visualize the vertical trend in velocity of the longshore current, trend lines were fitted to the observed data. Intense flows show the same direction for the surface current, whilst less intense flows force the fit towards the direction of propagation, with the current moving parallel to the beach line (Figure 11).



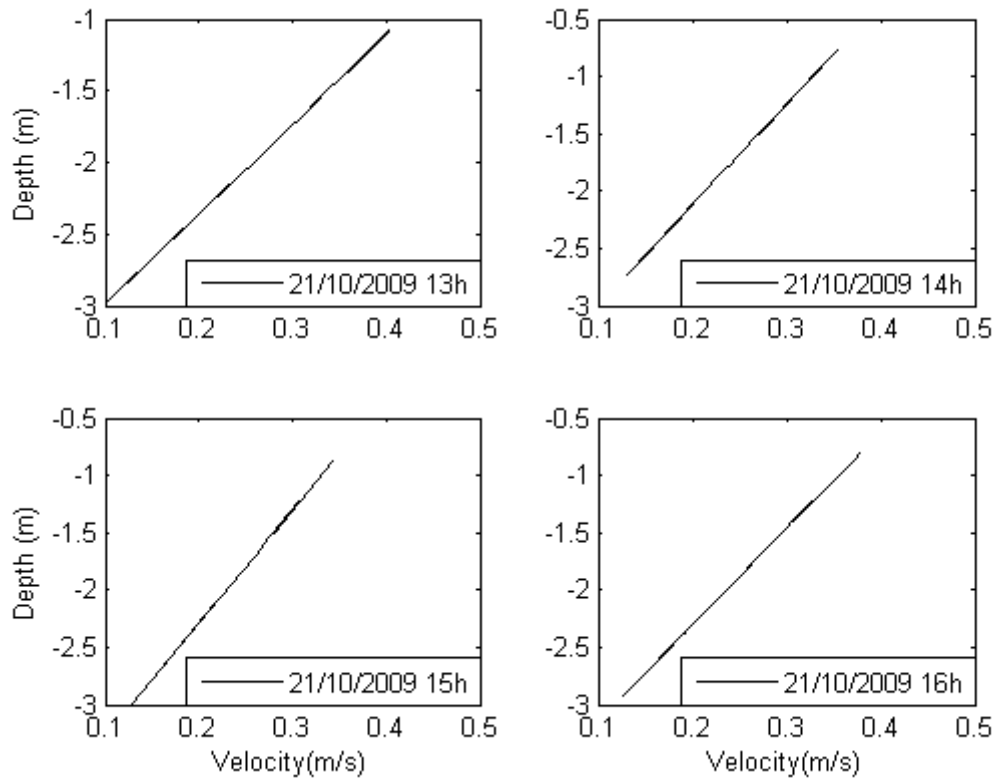


Figure 11. Trend lines of velocity of longshore current.

In all velocity profiles analyzed, the reduction in current intensity with increasing depth is notable. Turbulence caused by waves breaking on the external bank and the transfer of momentum from wind to sea surface can be associated with more intense records obtained nearer the surface.

This is consistent with results of Wang *et al.* (2002) who used averages over time down through the water column to show that the trend showed lower velocities nearer to the sea-bed.

Feddersen *et al.* (2007) stated that magnitudes down the water column can only be clearly differentiated when the longshore current is quite strong, and that the surface is the principal source of turbulence, thus explaining the similar values obtained throughout the water column and why peaks of maximum velocity occur nearer to the surface than at depth.

Conclusions

Along the water column, the longshore current was found to be strongest at the surface and in the intermediate water layer, with weakest velocities nearest the sea-bed. This is the result of the influence of turbulence from waves breaking on the external sandbank and from the momentum transferred from wind to the upper and intermediate water layers. The lowest velocities, near to the bed, are associated with the morphology of the main channel, which being at greater depth shows lower hydrodynamics.

Flow was found to be non-uniform, propagated in pulses, and with an instantaneous response to variations in the incident wave field. The least variability amongst profiles, and the greatest variations in the direction of current propagation, was observed in regions near to the bottom, where mean currents are smaller.

Current direction is controlled by flux intensity. The upper and intermediate portions of the water column, which are more directly affected by incoming waves, show uniformity of direction, consistent with the direction of wave propagation. But from the intermediate portion down to the bottom of the main channel, where the greatest reductions in current velocity occur, the flow direction tends to become parallel to the coastline, principally when the current velocity is close to zero.

Comparison of the values of current velocity found on different field campaigns showed that more intense flows occur when waves are higher with large angle of incidence relative to the beach line. Measured and estimated values were significantly linearly correlated.

Bibliography

- ALMEIDA, L.E.S.B.; ROSAURO, N.L.; TOLDO JR., E.E. & GRUBER, N.L.S. 1999. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, MG. 1 CD-ROM.
- ALVAREZ, J.A.; GRÉ, J.C. & TOLDO JR., E.E. 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande – Rio Grande do Sul. Pesquisas, Porto Alegre, 14: 131-147.

- CALLIARI, L.J., HOLAND, T., DIAS M. S., VINZON S., THORTON E. B., STANTON T. P., 2005. Experimento Cassino 2005: uma síntese dos levantamentos efetuados na ante-praia e zona de arrebentação. *Anais em CD do Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Vitória, ES, ABEQUA.
- CASTELLE, B. E BONNETON, P.; 2002. Wave-induced currents over the Aquitanian Coast on sand bars. 8th International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay.
- CASTELLE, B., BONNETON, P., SÉNÉCHAL, N., DUPUIS, H., BUTEL, R., MICHEL, D.; 2005. Dynamics of wave-induced currents over an alongshore non-uniform multiple-barred sandy beach on the Aquitanian Coast, France. *Continental Shelf Research*, 26: 113-131.
- FEDDERSEN F. AND GUZA, R.T., 2003. Observations of nearshore circulation: alongshore uniformity. *Journal of Geophysical Research*, 180.
- FEDDERSEN F. E TROWBRIDGE, J. H., 2005. The effect of breaking on surf-zone turbulence and alongshore currents: a modeling study. *American Meteorological Society* (2187 - 2203).
- FEDDERSEN, F., TROWBRIDGE, J. H. E WILLIAMS III, A. J., 2007. Vertical structure of dissipation in nearshore. *Journal of Physical Oceanography*, Vol 37 (1764 - 1777).
- FONTOURA, J.A.S., 2004. Tese de doutorado intitulada Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos Molhes da Barra de Rio Grande, RS, Brasil (Aplicação as praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências do Molhes Oeste e Leste da embocadura do estuário da Lagoa dos Patos).
- GREENWOOD, B. AND SHERMAN, D.J., 1985. Longshore currents profiles and lateral mixing across the surf zone of a barred nearshore. *Coastal Engineering*, 10: 149-168.
- HUBERTZ, J.M., 1986. Observations of local wind effects on longshore currents. *Coastal Engineering*, 10: 275 – 288.
- JUNG, G.B, PEREIRA, P.S. E CALLIARI, L.J., 2008. Comportamento das correntes longitudinais na praia do Cassino, RS: análise durante o experimento Cassino (2005). *Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia*.

- JUNG, G.B, PEREIRA, P.S. E CALLIARI, L.J., 2008. Comportamento das correntes longitudinais na praia do Cassino, RS: análises se observações visuais (2007). Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia.
- LANFREDI, N.W. E FRAMIÑAN, M.B., 1986. Field Study and Prediction of Longshore Currents, Argentine Coast. *Journal of Coastal Research* 2(4): 409-417.
- LISNIEWSKI, A. M., 2006. Variação granulométrica nos sedimentos em suspensão transportados longitudinalmente na zona de surfe na praia do Cassino (RS), 99p. Trabalho de graduação do curso de Oceanologia, FURG.
- LONGUET-HIGGINS, M.S., 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. *Journal of Geophysical Research*, 75: 6778 – 6789.
- USACE (U.S. Army Corps of Engineers), 1984. Shore Protection Manual, 4th edition, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- SHORT, A.D., 1999. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Coastal Studies Unit, School of Geosciences University of Sidney, Australia.
- TOLDO, E. E., DILLENBURG S. R., ALMEIDA, L. E. S. B., TABAJARA, L. L., MARTINS, R. R. E CUNHA, L. O. B. P., 1993. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. Pesquisas volume 20 número 01, 1993.
- TOLDO JR., E. E. ; NICOLODI, J. L. ; ALMEIDA, L. E. S. B. ; CORRÊA, I. C. S. 2006. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport.. *Journal of Coastal Research*, Itajaí, SC, v. SI39, p. 390-394.
- WANG, P., EBERSOLE, B.A., SMITH, E.R. AND JOHNSON, B. D., 2002. Temporal and spatial variations of surf-zone currents and suspended sediment concentration. *Coastal Engineering* 46: 175-211.
- WHITFORD, D.J. AND THORNTON, E.B., 1993. Comparison of wind and wave forcing of longshore currents. *Continental Shelf Research* 13: 1205-1218.
- WRIGHT, L.D., 1985. Elementary notes concerning the physical energy regime of costal zone. Department of Geological Oceanography. School of Marine Science, Virginia Institute of Marine Science of the College of William and Mary.

Análise qualitativa da direção da corrente longitudinal entre 2004 e 2008 na praia de Tramandaí, RS, Brasil.

Jung, G.B. e Toldo Jr., E.E.

Abstract

Análises qualitativas da direção superficial da corrente longitudinal, na praia de Tramandaí, RS, de 2004 a 2008, mostram a ocorrência anual de correntes sem uma única direção preferencial, sendo hora para nordeste, hora para sudoeste. A análise mensal dos registros mostra que fevereiro e março apresentaram maior bidirecionalidade que outros meses, com frequências de ocorrência semelhante de correntes para nordeste e para sudoeste. Embora o fluxo apresente ambas as direções em todos os meses, predominantemente no verão e primavera o fluxo é para sudoeste devido à ocorrência de intensos ventos alísios de nordeste, enquanto no outono e no inverno, devido às frentes frias, correntes para nordeste são mais frequentes. Comparações entre as direções simultâneas do vento, das ondas e das correntes, mostram que o ângulo de incidência das ondas é o principal fator influenciador da direção superficial da corrente.

Palavras chave: hidrodinâmica, zona de surfe, correntes litorâneas.

Introdução

Correntes longitudinais são formadas quando as ondas apresentam incidência oblíqua à linha de praia, provocando um fluxo em direção à costa de tensão de radiação longitudinal. A intensidade destas correntes é dependente da altura das ondas e do ângulo de incidência das mesmas, apresentando relação diretamente proporcional (Longuet-Higgins, 1970).

Existe uma relação direta entre direção das ondas na arrebentação e direção do vento, sendo constatado que o vento pode ser um dos principais fatores a

ditar a direção das ondas na arrebentação e por consequência, a corrente na costa (Lanfredi & Framiñan, 1986).

Hubertz (1986) analisou a direção da corrente superficial, comparando-a com a direção dos ventos e ondas incidentes, e notou concordância entre três variáveis na maior parte do tempo. Foi encontrada discordância entre os dados apenas em situações de propagação de ondas na direção contrária da direção do vento.

Fontoura (2004) encontrou resultados semelhantes, onde as direções da corrente mostram-se quase integralmente dependentes da direção e intensidade da componente longitudinal do vento na costa. Alterações na direção do vento provocam pronta resposta da direção da corrente, que busca imediatamente acompanhar a direção do vento. Exceções ocorrem quando a componente do vento é muito pequena ou nula, neste caso a corrente passa a ser governada pela direção das ondas na arrebentação.

Nas praias do Rio Grande do Sul a corrente mostra duas direções predominantes de propagação, para SW e para NE. Fluxos para nordeste predominam durante o inverno, enquanto no verão prevalecem correntes para sudoeste (Alvarez *et al.*, 1981).

Tozzi (1999), a partir de dados obtidos em cinco anos de observações visuais diárias do estado do mar ao largo da Praia do Cassino, mostrou que as correntes para SW são predominantes em todas as épocas do ano, muito embora, as correntes mais intensas tenham sido observadas seguindo para nordeste. Calliari *et al.* (2005), através de dados coletados por Puvs, observou que ventos intensos provocam aumento na altura das ondas, e na velocidade da corrente longitudinal.

Na praia de Tramandaí, litoral norte do Rio Grande do Sul, Nicolodi *et al.* (2000), com base numa série de dados observados em 1996 e 1997, encontrou o mesmo padrão bidirecional da direção da corrente longitudinal superficial observado por Alvarez *et al.* (1981).

Área de estudo

A praia de Tramandaí (Figura 12), localizada no litoral norte do Rio Grande do Sul, dispõe de facilidades para o fundeio de equipamentos oceanográficos a partir de uma plataforma de pesca, que possibilitou a aquisição de dados instantâneos de velocidades e direção da corrente longitudinal. A plataforma apresenta comprimento de

365 m, 8 m de largura e estrutura em forma de T (Figura 13). Sob condições de ondulação significativa esta estrutura atravessa toda a zona de surfe.



Figura 12. Localização da área de estudo no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul.

O litoral norte está inserido na extensa costa do estado com orientação uniforme NE-SW e leve sinuosidade ao longo dos seus 615 km (Figura 12). Toda esta área é constituída por depósitos quaternários inconsolidados que não recebem contribuições de areias modernas, pois toda carga de tração transportada pela rede de drenagem interior é retida nas lagunas e outros ambientes costeiros, como por exemplo, a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim. A Plataforma Continental é parte de uma ampla e passiva margem, com mais de 150 km de extensão, profundidades máximas variando entre 100 e 140 m e suave declividade da ordem de $0,06^\circ$. A antepraia é ampla e rasa com limite externo na profundidade de 10 m, onde predominam depósitos arenosos (Toldo *et al.*, 2006). A praia de Tramandaí possui um alinhamento de aproximadamente 110° .

Incidem sobre a costa ondulações geradas no Oceano Atlântico Sul e vagas geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera, provenientes de NE. Exceto pela passagem das frentes frias de S e SE, a agitação marítima é caracterizada por ondas de média a elevada energia, com altura significativa de 1,5 m e período entre 7 e 9 s. A maré astronômica é semi-diurna, com amplitude média de 0,25 m, sendo que a maré meteorológica pode alcançar 1,20 m (Almeida *et al.*, 1997). A profundidade de fechamento é estimada em 7,5 m, calculada com base em dois conjuntos de dados de

ondas coletados nos anos de 1963 e 1996 no Litoral Norte do estado (Almeida *et al.*, 1999). Conseqüentemente, o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa são primariamente dominados pela ação da onda.



Figura 13. Localização da praia de Tramandaí no litoral norte do estado. Na imagem Google Earth® estão assinalados os pontos de aquisição dos dados: corrente na plataforma de pesca (2), vento na estação meteorológica (3), e localização do fundeio do ondógrafo (1).

Metodologia

Medidas diárias da direção da corrente superficial são realizadas na plataforma de pesca de Tramandaí, às 08:00, 12:00 e 16:00 horas. A direção da corrente é observada no canal principal, entre o primeiro e o segundo banco arenoso (Figura 13), através do espalhamento da espuma associada a quebra da onda.

Ao contrário da convenção adotada na Oceanografia, cuja direção da corrente aponta o sentido no qual esta se desloca (para nordeste ou para sudoeste), as observações realizadas na plataforma são no sentido contrário, de onde a corrente vem (de nordeste ou de sudoeste), convenção utilizada entre os pescadores. Portanto, neste

trabalho, a direção dos dados cedidos foi invertida, a fim de enquadrar-se na metodologia científica.

Foram analisados dados mensais de 2004 a 2008, sendo que para 2007 os dados disponíveis são de janeiro a junho, e para 2008 de janeiro a maio.

De novembro de 2006 a junho de 2007, o ondógrafo modelo WaveRider da Datawell® foi fundeado no ponto 29° 59' 58'' S, 50° 06' 09'' O, a 17m de profundidade. O equipamento coletou dados de altura, período e ângulo de incidência das ondas.

Deste modo, com os dados concomitantes de onda coletados pelo ondógrafo, de direção da corrente superficial, registrados pelos funcionários da plataforma, e de vento coletados pela Estação Meteorológica de Tramandaí, é possível verificar quais são as variáveis controladoras da direção da corrente.

Resultados e Discussões

A Figura 14 apresenta o número de registros de correntes para nordeste e para sudoeste de 2004 a 2008.

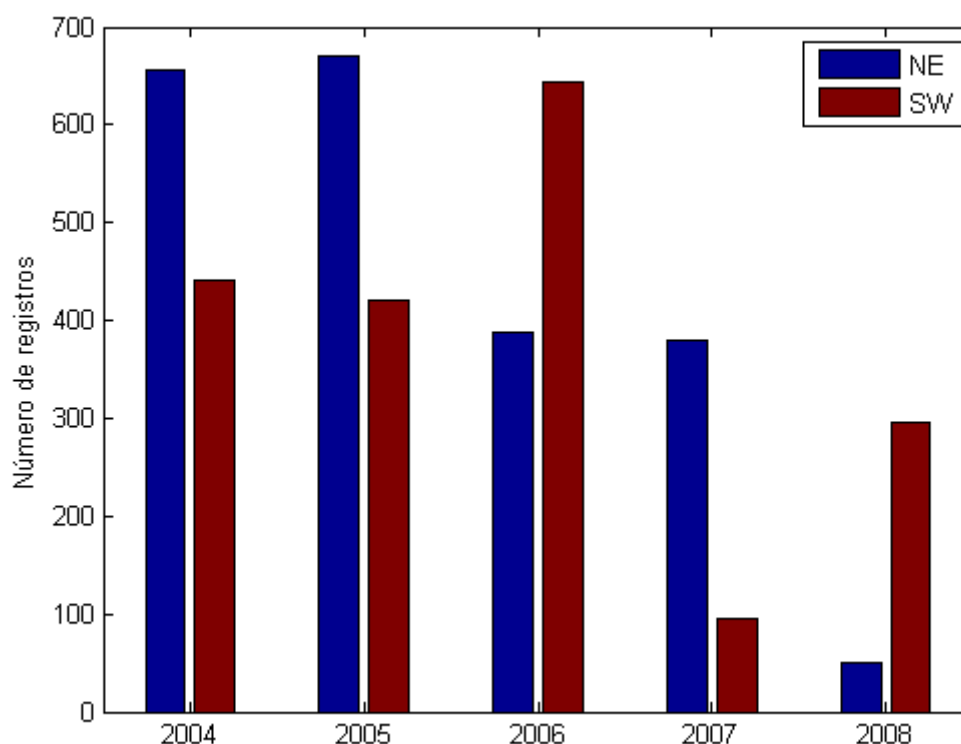


Figura 14. Histograma de registros anuais da direção da corrente superficial entre os anos de 2004 e 2008.

Observa-se a propagação das correntes para ambas as direções em todos os anos, havendo predominância de correntes para NE em 2004 e 2005, e para SW em 2006. A variação anual da direção predominante da corrente também foi observada por Nicolodi *et al.* (2000), cujos dados apontam predominância de correntes para SW em 1996 e 1997 e para NE em 1998 e 1999.

Em 2007 houve uma elevada predominância de ocorrência de correntes para NE, visto que o período de aquisição de dados foi de janeiro a junho. Correntes para NE são predominantes no outono e no inverno, enquanto correntes para SW são predominantes no verão e na primavera (Alvarez *et al.*, 1981). Como os registros de corrente em 2007 são relativos ao período do verão, outono e parte do inverno, é esperada a maior ocorrência de correntes para SW; formadas por ondas incidentes do quadrante sul.

Já em 2008, os dados correspondem aos meses de janeiro a maio, e uma maior ocorrência de correntes para SW é observada, uma vez que as frentes frias passam a ser mais frequentes a partir de abril. Os ventos de NE são predominantes durante o verão, gerando ondas do mesmo quadrante, que formam correntes com propagação para SW.

Na Figura 15 as ocorrências das correntes longitudinais para NE e para SW são avaliadas mensalmente.

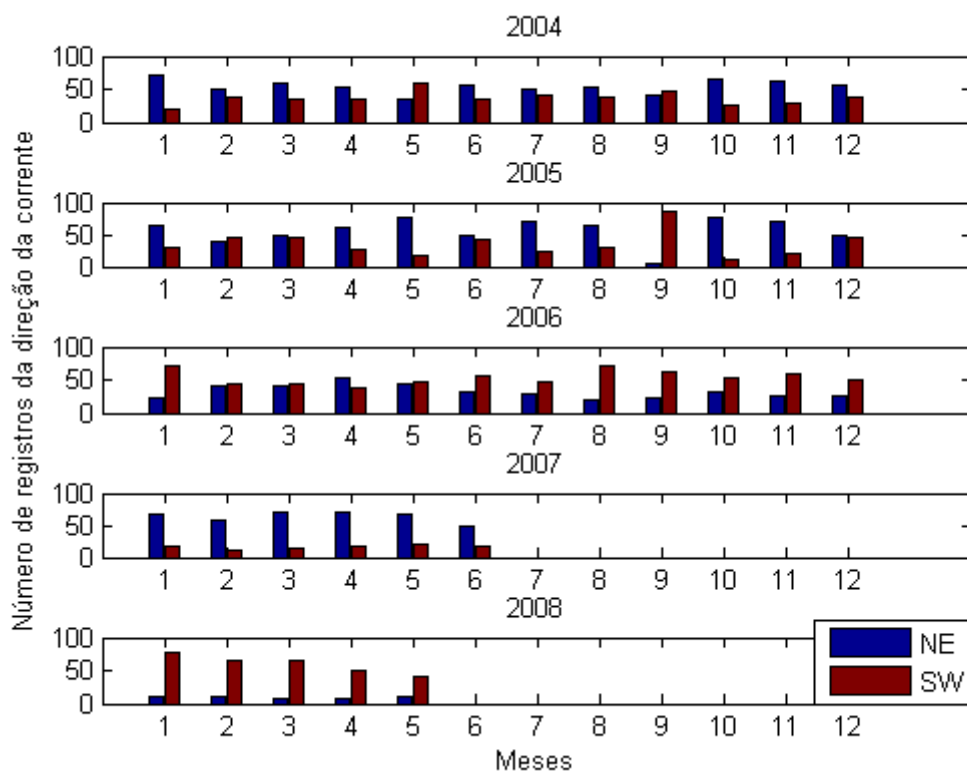


Figura 15. Registros mensais da direção da corrente entre 2004 e 2008.

Durante o mês de janeiro de todos os anos analisados houve uma direção de propagação predominante em relação à outra, com uma maior quantidade de registros para SW em 2006 e 2008 e para NE nos demais anos.

Em fevereiro dos anos 2004, 2005 e 2006 o fluxo mostrou-se bidirecional, com correntes para NE e para SW em frequência de ocorrência muito semelhante. Em 2007 o fluxo foi preferencialmente para NE, enquanto em 2008 foi para SW.

Padrão semelhante foi observado no mês de março, apresentando a mesma bidirecionalidade em 2005 e 2006, e maior ocorrência de correntes para NE em 2004 e 2007, enquanto em 2008 houve predomínio de correntes para SW. De janeiro a março há predominância de ventos de NE na costa do Rio Grande do Sul, gerando ondas vagas que formam correntes para SW. Os registros de corrente para NE podem estar associados às passagens de frentes frias, gerando ondulações e correntes para NE.

Trabalhos anteriores de Alvarez et al. (1981), Fontoura (2004) e Linsiowski (2006), indicam um padrão de maior ocorrência de correntes para SW nos meses de verão e primavera, e correntes para NE durante os meses de outono e inverno.

Abril apresentou predominância de correntes para NE de 2004 a 2007, sendo o fluxo predominante para SW apenas em 2008. Maio apresentou padrão bidirecional em 2006, correntes para SW predominantes em 2004 e 2008, e para NE em 2005 e 2007. Em junho, o padrão bidirecional ocorreu em 2005, correntes para NE predominaram em 2004 e 2007, enquanto em 2006 foi observada uma maior incidência de correntes para SW.

Em junho e julho houve uma maior ocorrência de correntes para SW em 2006. Correntes para NE foram predominantes em junho de 2004 e 2007, e julho de 2005. Em junho de 2005 o padrão foi bidirecional, assim como em julho de 2004.

Em agosto de 2004 e 2005 as correntes para NE foram predominantes, enquanto em 2006 foram observadas mais correntes para SW. Em setembro apresentaram fluxo predominante para SW em 2005 e 2006, e bidirecional em 2004. Em outubro e novembro o comportamento foi semelhante, com maior ocorrência de correntes para SW em 2006 e para NE em 2004 e 2005; enquanto em dezembro de 2004 houve predominância de correntes para NE, para SW em 2006, e bidirecionalidade em 2005.

De um modo geral, o padrão proposto pelos trabalhos anteriores foi encontrado nos registros da Plataforma. Durante o verão e primavera houve uma maior ocorrência de correntes para sudoeste, e durante o outono e inverno, para nordeste. Os meses de fevereiro e março foram os que apresentaram maior bidirecionalidade. A sazonalidade da bidirecionalidade dos registros corrobora com resultados de Nicolodia *et al.* (2000), que entre 1996 e 1999 notou predominância de registros totais para SW, mas variações entre os anos devido a tendências sazonais atreladas às variações de padrões climáticos.

As principais forçantes da corrente longitudinal são a altura e o ângulo de incidência das ondas (Longuet-Higgins, 1970), portanto, a direção da corrente superficial tende a acompanhar a direção de propagação das ondas na zona de surfe. O vento também influencia a direção da propagação das correntes costeiras, transferindo momentum para a coluna d'água (Feddersen *et al.*, 2007). Sendo assim, a Figura 16 mostra a distribuição da direção da corrente durante os meses de fundeio do ondógrafo Waverider da Datawell, onde em novembro e dezembro as correntes predominantes foram para SW e nos demais meses de fundeio, para NE. A Figura 17 representa os parâmetros de onda registrados pelo equipamento, e a Figura 18 as direções predominantes do vento para o mesmo período.

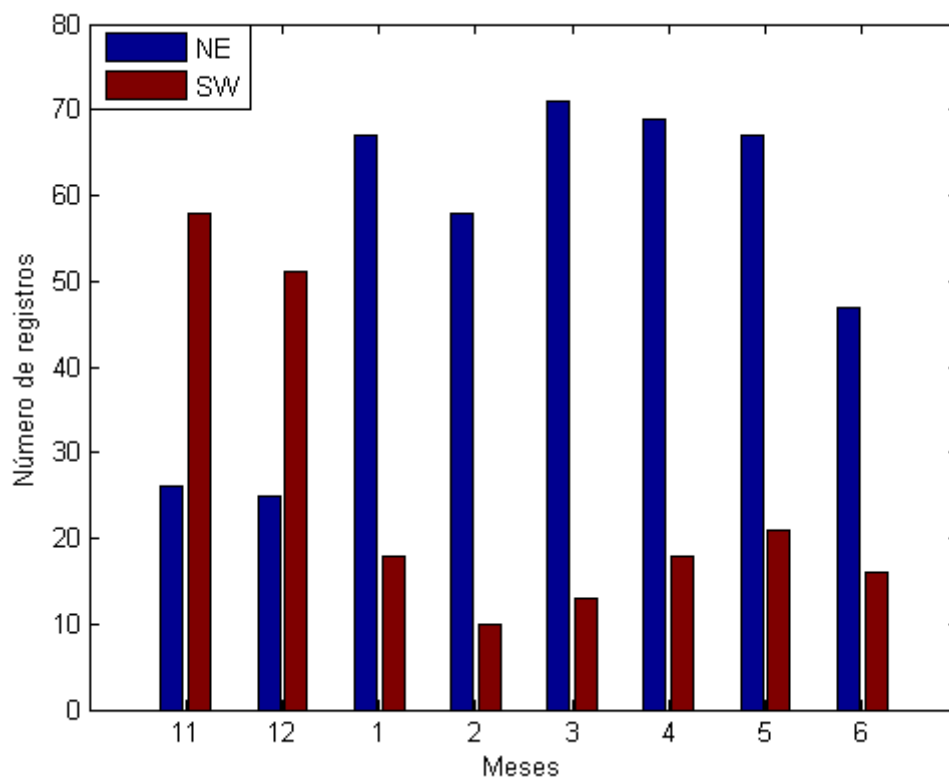


Figura 16. Distribuição da direção da corrente longitudinal nos meses de fundeio do ondógrafo, entre dezembro de 2006 e junho de 2007.

Através da Figura 17 pode-se inferir que houve a predominância de vagas em todos os meses, com a presença de ondulações mais frequentes de março a junho, meses em que a passagem de frentes frias é comum, gerando ondas de maior período. As maiores alturas significativas também foram registradas durante abril maio e junho, relacionadas à maior frequência de incidência de ondas de sul.

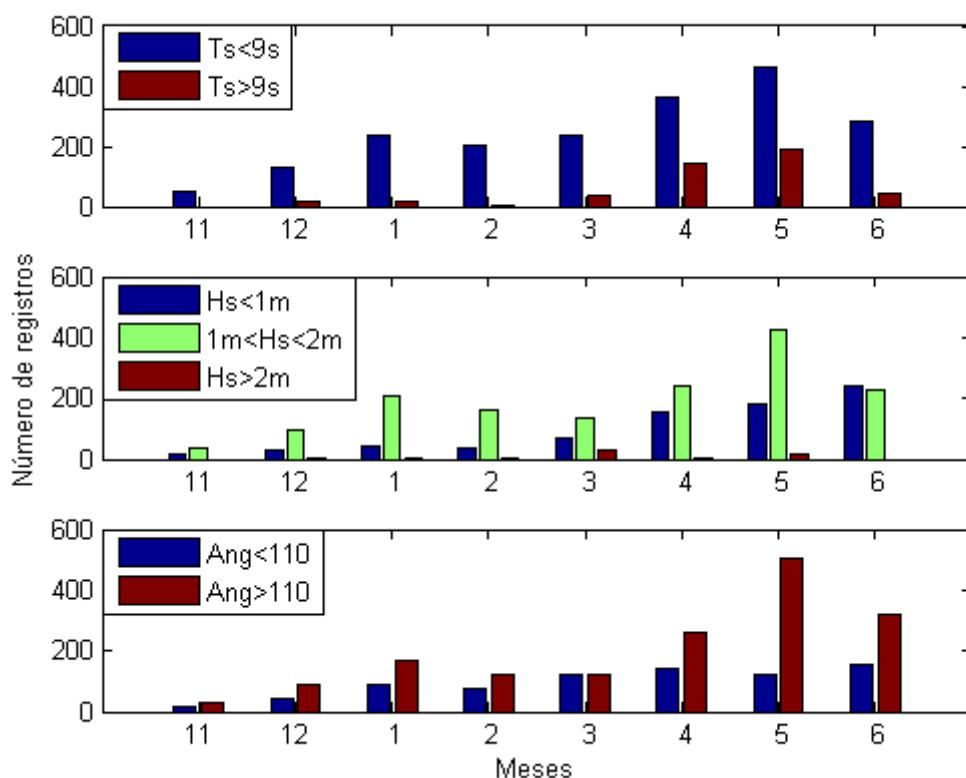


Figura 17. Distribuição dos parâmetros de onda adquiridos entre novembro de 2006 e junho de 2007.

A Tabela 6 mostra o intervalo de variação dos registros do ondógrafo para cada mês de coleta de dados. Os registros indicam ocorrência de ondulações em todos os meses, com períodos variando de 4,1s a 13,1s. Março foi o mês que apresentou ondas com maiores valores de altura significativa, bem como valores mais elevados de ângulo de incidência, variando respectivamente entre 0,7m a 2,93m; e 58,92° a 201,62°.

	Hs (m)	T (s)	Ângulo (graus)
Novembro	0,52m a 1,97m	4,4s a 7,2s	79,30° a 161,63°
Dezembro	0,64m a 2,05m	4,9s a 10,8s	77,61° a 187,28°
Janeiro	0,46m a 2,89m	5,1s a 10,8s	27,56° a 187,73°
Fevereiro	0,55m a 2,02m	4,1s a 9,2s	21° a 182,94°
Março	0,7m a 2,93m	4,6s a 9,1s	58,92° a 201,62°
Abril	0,64m a 2,68m	4,9s a 13,1s	39,04° a 186,93°
Maió	0,51m a 2,32m	5,1s a 12,4s	38,63° a 201,55°
Junho	0,19m a 1,79m	4,6s a 14s	29,98° a 198,02°

Tabela 6. Intervalo de variação dos registros de onda.

Os dados de vento (Figura 18) mostram uma maior predominância de ventos de NE de novembro a fevereiro, bidirecionalidade em março e abril, sem predominância, e maior ocorrência de ventos de SW em maio e junho. O padrão apresentado é o esperado para a região, com ventos de NE durante o verão, ventos de SW durante o inverno, e ao longo do outono ventos de NE com a incidência de passagens de frentes frias com ventos predominantemente de S.

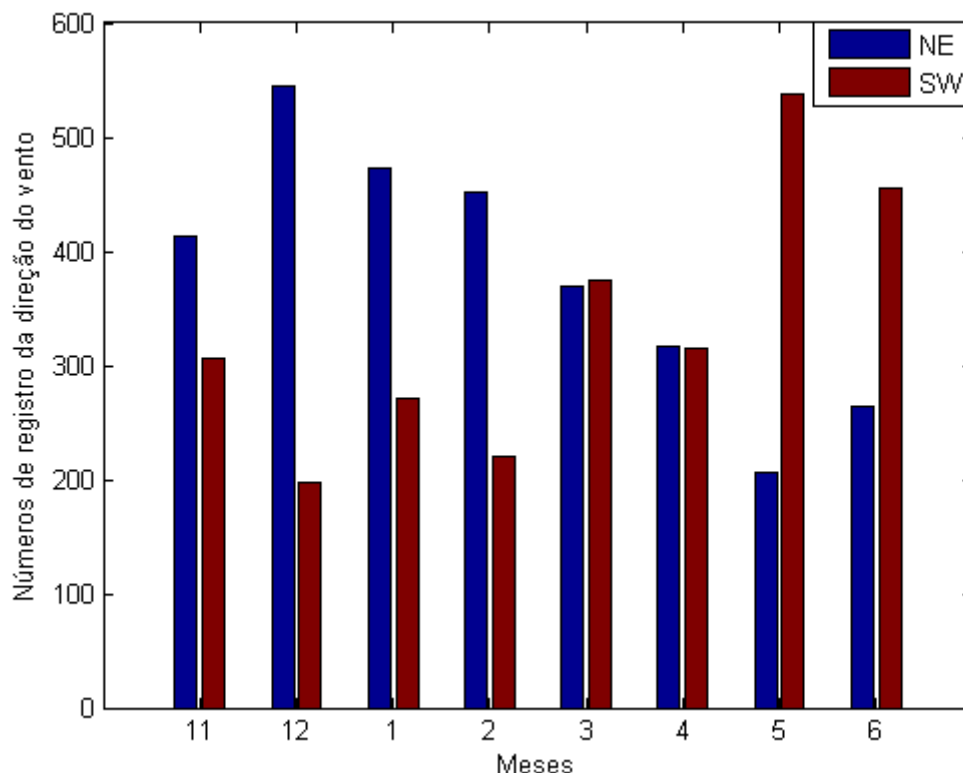


Figura 18. Distribuição da direção do vento durante o período de fundeio do ondógrafo, entre novembro de 2006 e junho de 2007.

Para uma avaliação precisa do efeito das ondas e do vento na corrente longitudinal, foram calculadas as frequências de concordância entre a direção das ondas e da corrente, e da direção do vento e da corrente, apenas nos horários dos registros de corrente na plataforma de pesca (Tabela 7).

	Corrente x Onda		Corrente x Vento	
	NE	SW	NE	SW
Novembro 2006	92,3	7,69	77,77	18,66
Dezembro 2006	27,27	36,36	45,31	5,47
Janeiro 2007	34,54	18,18	60,25	11,53
Fevereiro 2007	49,99	17,76	61,46	8,95
Março 2007	47,16	9,43	52,43	10,96
Abril 2007	34,99	21,66	52,85	14,56
Mai 2007	28,91	25,08	22,52	21,17
Junho 2007	31	19	26,85	17,46

Tabela 7. Frequência de concordância entre as direções da onda e da corrente, e do vento em relação à direção da corrente, onde NE=correntes para NE, SW=correntes para SW.

Em todos os meses analisados houve maior concordância do que discordância entre a direção de propagação das ondas e da corrente, indicando uma alta influência das ondas no comportamento da direção da corrente. Em novembro as ondas apresentaram maior número de registros de correntes com a direção concordante do que com o vento, assim como nos meses de dezembro, maio e junho. Nos meses de fevereiro, março e abril as frequências de concordância foram muito semelhantes, e janeiro foi o único mês que apresentou maior concordância entre a direção do vento e da corrente do que entre as ondas e as correntes. Portanto, os dados apontam as ondas como a principal forçante da direção da corrente superficial longitudinal.

Conclusões

Os registros de direção superficial da corrente longitudinal mostram a ocorrência de correntes para NE e para SW em todos os anos avaliados, mas sem uma única direção preferencial, onde em 2004 e 2005 a direção mais frequente foi NE, e em 2006, SW.

A análise mensal mostra que fevereiro e março apresentaram maior bidirecionalidade que outros meses, com frequências de ocorrência semelhante de correntes para NE e para SW. Embora o fluxo apresente ambas as direções em todos os

meses, predominantemente no verão e primavera o fluxo é para SW devido à ocorrência de intensos ventos alísios de NE, enquanto no outono e no inverno, devido às frentes frias, correntes para NE são mais frequentes.

Comparações entre as direções simultâneas do vento, das ondas e das correntes, mostram que o ângulo de incidência das ondas é o principal fator controlador da direção superficial da corrente longitudinal.

Referências Bibliográficas

Almeida, L.E.S.B.; Rosauo, N.M.L. & Toldo Jr., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 12., 1997, Vitória, ES. Anais... Vitória, ES, ABRH. v.1, p.560-566.

Almeida, L.E.S.B.; Rosauo, N.L.; Toldo Jr., E.E. & Gruber, N.L.S. 1999. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, MG. 1 CD-ROM.

Alvarez, J.A.; Gré, J.C. & Toldo Jr., E.E. 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande – Rio Grande do Sul. Pesquisas, Porto Alegre, 14: 131-147.

Calliari, L.J., Holand, T., Dias M. S., Vinzon S., Thorton E. B., Stanton T. P., 2005. Experimento Cassino 2005: uma síntese dos levantamentos efetuados na ante-praia e zona de arrebentação. Anais em CD do Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Vitória, ES, ABEQUA.

Feddersen, F., Trowbridge, J. H. e Williams III, A. J., 2007. Vertical structure of dissipation in nearshore. Journal of Physical Oceanography, Vol 37 (1764 - 1777).

Fontoura, J.A.S., 2004. Tese de doutorado intitulada Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos Molhes da Barra de Rio Grande, RS, Brasil (Aplicação as praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências do Molhes Oeste e Leste da embocadura do estuário da Lagoa dos Patos).

Hubertz, J.M., 1986. Observations of local wind effects on longshore currents. Coastal Engineering, 10: 275 – 288.

Lanfredi, N.W. e Framiñan, M.B., 1986. Field Study and Prediction of Longshore Currents, Argentine Coast. Journal of Coastal Reaserch 2(4): 409-417.

- Lisniewski, A. M., 2006. Variação granulométrica nos sedimentos em suspensão transportados longitudinalmente na zona de surfe na praia do Cassino (RS), 99p. Trabalho de graduação do curso de Oceanologia, FURG.
- Longuet-Higgins, M.S., 1970. Longshore currents generated by obliquely incident sea waves. *Journal of Geophysical Research*, 75: 6778 – 6789.
- Nicolodi, J.L; Toldo JR., E.E. & Gruber, N.L.S, 2000. Análise da direcionalidade das correntes litorâneas no litoral norte do Rio Grande do Sul. *Anais XIV Semana Nacional de Oceanografia* 461- 463.
- Ruessink, B.G, Miles, J.R., Feddersen, F., Guza, R.T and Elgar, S., 2001. Modeling the alongshore current on barred beaches. *Journal of Geophysical Research* 106: 451-463.
- Toldo, E. E., Dillenburg S. R., Almeida, L. E. S. B., Tabajara, L. L., Martins, R. R. e Cunha, L. O. B. P., 1993. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. *Pesquisas* volume 20 número 01, 1993.
- Tozzi, H.A.M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. *Dissertação de Mestrado*, UFRGS, Porto Alegre, 115p.

Considerações finais

A análise conjunta dos dois artigos propostos na dissertação fornece uma visão geral do comportamento da corrente longitudinal, tanto superficialmente quanto ao longo da coluna d'água, permitindo uma maior compreensão deste fluxo costeiro.

Através da avaliação de registros da direção superficial da corrente longitudinal, pode-se observar, durante os anos analisados, 2004 a 2008, ocorrências de correntes tanto para NE quanto para SW, indicando um padrão anual bidirecional sem predominância, visto que em 2004 e 2005 a direção preferencial foi NE e em 2006 SW.

A análise mensal dos dados mostra que fevereiro e março apresentaram maior bidirecionalidade que outros meses, com frequências de ocorrência semelhante de correntes para NE e para SW. Predominantemente no verão e primavera o fluxo é para SW devido à ocorrência de intensos ventos alísios de NE, enquanto no outono e no inverno, devido à frentes frias, correntes para NE são mais frequentes.

Comparações feitas entre registros diários às 8:00, 12:00 e 16:00, simultaneamente a registros de onda e vento, mostram maior concordância entre as direções das ondas e das correntes do que entre o vento e as correntes, indicando que o ângulo de incidência das ondas é o principal fator influenciador da direção superficial da corrente.

Além das observações da direção da corrente feitas sob a plataforma de pesca, em 2008 e 2009 foram realizadas campanhas de campo para a medição das correntes com a utilização de um ADP, gerando perfis verticais de velocidade e direção da corrente da superfície ao fundo.

Os perfis mostram que o fluxo não é uniforme, apresentando deslocamento em pulsos. A corrente é mais intensa na superfície e na camada intermediária, apresentando as menores velocidades em regiões mais próximas ao fundo, devido à influência da turbulência das ondas que sofreram processo de quebra no banco externo e do momentum transferido pelo vento às camadas superiores e intermediárias. As menores velocidades, próximas ao fundo, estão associadas à morfologia do canal principal, que por ser uma região de maiores profundidades apresenta menor hidrodinâmica. Nestas regiões foram observadas as maiores variações da direção de propagação da corrente.

A direção da corrente é controlada pela intensidade do fluxo. A porção superficial e intermediária da coluna d'água, sob efeito direto das ondas incidentes,

apresenta direção uniforme, concordante com a direção de propagação das ondas. No entanto, da porção intermediária até o fundo do canal principal, onde ocorrem as maiores diminuições na velocidade da corrente, a direção do fluxo tende a se ajustar, propagando-se paralelamente à linha de costa, principalmente quando a velocidade da corrente tende a zero.

Comparando os valores de velocidade da corrente encontrados nas diferentes campanhas de campo, observa-se que os fluxos mais intensos ocorrem na presença de ondas altas e com grande ângulo de incidência em relação à linha de praia. Os valores medidos e estimados possuem uma correlação linear significativa.