



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NO LITORAL MÉDIO DO RIO
GRANDE DO SUL**

LUCAS MARCHI DA MOTTA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.

Volume I

Porto Alegre - 2013

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

**BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NO LITORAL MÉDIO DO RIO
GRANDE DO SUL**

LUCAS MARCHI DA MOTTA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Jr.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein - Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Ernesto Mauricio González Rodríguez - Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, Espanha

Prof. Dr. Eduardo Siegle - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

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

Porto Alegre – 2013

A minha família e amigos.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer:

à toda minha família, em especial a excelentíssima senhora minha mãe, pelo carinho, convívio, churrascos de domingo e apoio incondicional;

ao povo brasileiro, que financia e mantém a Universidade Federal do Rio Grande do Sul como instituição pública;

aos meus amigos, desde a infância até os novos companheiros de rocha, com carinho especial à Isa, pela descontração e excelentes momentos vividos lado a lado;

ao meu orientador e coorientadores da sala 218, pela amizade e imensa bagagem de conhecimentos partilhados ao longo do curso;

ao Centro Acadêmico dos Estudantes de Geologia (CAEG), pelas discussões políticas e geológicas, sempre muito construtivas na formação de geólogos críticos.

Resumo

O cálculo do balanço de sedimentos arenosos litorâneos permite estimar o tempo e a intensidade dos processos associados à erosão, transporte e deposição, e também compreender a dinâmica de sedimentos local e regional aplicada, por exemplo, ao mapeamento das áreas de risco. O objetivo principal desta pesquisa é analisar as variações no transporte longitudinal de sedimentos ao longo da costa através de diferentes relações empíricas, descritas na literatura, e realizar o balanço sedimentar do litoral médio do Rio Grande do Sul (RS). Além disso, também é objetivo quantificar o volume de areia contido no campo de dunas costeiras que se desenvolve ao longo da área de estudo, com idade estimada entre 7-8ka (Dillenburg *et al.*, 2006; Martinho *et al.*, 2008). A presente dissertação é apresentada em forma de artigo, de acordo com a norma 103 do Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O corpo principal do trabalho é constituído por um artigo, submetido a uma revista especializada na área, que por sua vez, é antecedido por um capítulo introdutório sucinto com uma breve revisão bibliográfica sobre os temas abordados ao longo do curso de mestrado. Espera-se, com a realização desta dissertação, contribuir com novos dados e novas discussões sobre a dinâmica costeira durante o Holoceno do litoral médio do RS. Desta maneira foi aplicado o conceito de célula litorânea (Bowen & Inman 1966) e realizado o balanço sedimentar da região, identificando as fontes e os sumidouros de sedimentos arenosos. Os 275km de linha de praia foram divididos em 12 subcélulas para analisar as variações da deriva litorânea ao longo da área de estudo. Os parâmetros controladores do balanço sedimentar foram classificados em relação as suas resultantes de transporte, como adição (deriva litorânea, sangradouros e transporte eólico) ou remoção (deriva litorânea, transporte eólico e jato costeiro). As taxas de deriva litorânea foram estimadas e comparadas a partir do método do fluxo de energia, aplicando as relações empíricas sugeridas pelo Shore Protection Manual (1984), mais conhecida como fórmula CERC, Van Rijn (2001) e Kamphuis (1991). Os parâmetros ondulatórios em águas profundas foram obtidos do modelo global de previsão de ondas WAVEWATCH III da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e transferidos para o ponto de quebra a partir da teoria linear de ondas conforme metodologia sugerida por Herbich (2000). As estimativas do transporte longitudinal obtidas a partir da fórmula do CERC apresentaram os maiores volumes, variando de 0,60 a 2,93 milhões de m³. Os volumes obtidos através das equações de Van Rijn (2001) e Kamphuis (1991) foram muito semelhantes, variando de 0,15 a 1,00 milhão de m³. Também foi quantificado o volume de areia contido no campo de dunas costeiras, presente ao longo de toda a área de estudo, através de imagens de satélite com modelo digital de elevação do terreno. O valor obtido foi de aproximadamente 4,20 bilhões de m³ e através dele, e do resíduo do balanço sedimentar, foi estimado o aporte de areia adicionado a este reservatório pela ação eólica.

Abstract

The calculation of a coastal sandy sediment budget allows one to estimate the time and intensity of processes associated with erosion, transport, and deposition and to understand the local and regional sediment dynamics applied, for instance, to the mapping of risk areas. The main objective of this research is analyze variations in the longshore transport rates along the coast, using different equations and make the sediment budget of the mid-coast of Rio Grande do Sul (RS). Another objective is quantify the volume of sand in the coastal dunefield along the study area, with a estimated age between 7 - 8ka (Dillenburg *et al.*, 2006; Martinho *et al.*, 2008). The present work is presented in the form of scientific article, in agree with the resolution 103 of the Geosciences Pos Graduation Program of Federal University of Rio Grande do Sul. This dissertation is structured by a short introduction, with a bibliographic reviews of the themes studied along the master curse. We expect in this work contribute with new data and new discussions around the coastal dynamics of the mid-coast of RS during the Holocene. In this paper, the littoral cell concept was applied (Bowen & Inman 1966) to the mid-coast of Rio Grande do Sul, a state located in southern Brazil. The sediment budget of this state was determined by identifying the sediment sources and sinks. The 275 km of shoreline was divided into 12 sub-cells to analyze littoral drift variations along the study area. In addition, the controlling parameters of the sediment budget were classified according to their net transport as addition or removal. Littoral drift rates were estimated and compared using the energy flux method, applying the empirical relationships suggested by the Shore Protection Manual (1984), better known as the Coastal Engineering Research Center (CERC) formula, Van Rijn (2001) and Kamphuis (1991). Wave parameters were obtained from the WAVEWATCH III global wave forecast model created by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The volume of sand contained in this coastal dune field was also quantified throughout the study area using satellite imagery with a digital elevation model of the terrain.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação de mestrado foi elaborada em forma de artigo científico, de acordo com a norma 103 do Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ela é constituída por dois capítulos.

O primeiro é formado por uma breve introdução ao assunto, com os objetivos do trabalho e uma revisão bibliográfica sucinta dos temas abordados ao longo da pesquisa.

O corpo principal da monografia corresponde ao capítulo dois, onde é apresentado o artigo científico submetido a uma revista especializada na área de geociências. Nele são descritas a área de estudo, as metodologias utilizadas, os resultados obtidos, as discussões e por fim algumas conclusões.

Sumário

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. Balanço sedimentar.....	13
2.2. Deriva litorânea.....	15
REFERÊNCIAS.....	18

CAPÍTULO 2

1. ARTIGO CIENTÍFICO.....	22
“Sandy sediment budget in the mid-coast of Rio Grande do Sul, Brazil”	
2. INTRODUCTION.....	24
3. STUDY AREA.....	25
3.1. Sediments.....	26
3.2. Hydrodynamics.....	27
4. METHODOLOGY.....	27
4.1. Cell and sub-cells.....	27
4.2. Sediment budget.....	29
4.2.1. Littoral drift.....	30
4.2.2. Washouts.....	31
4.2.3. Coastal jet.....	31
4.2.4. Aeolian transport.....	32
5. RESULT AND DISCUSSION.....	32
5.1. Wave and littoral drift regime.....	32
5.2. Dunefield volume.....	35
5.3. Sediment budget.....	35
5.4. Sediment dynamics of the RS mid-coast.....	37
6. CONCLUSIONS.....	39

REFERENCES.....41

CAPÍTULO 1

1. Introdução

O desenvolvimento da planície costeira do Rio Grande do Sul é resultado dos ciclos de transgressões e regressões marinhas, ocasionadas pelas variações glacioeustáticas que ocorreram durante o quaternário (Villwock *et al.*, 1986). Estes ciclos ocorrem em centenas de milhares de anos e, neste trabalho, são considerados como sendo de escalas de tempo de muito longo prazo. Villwock *et al.* (1986) e Tomazelli *et al.* (2000) estabeleceram que o desenvolvimento da planície costeira do Rio Grande do Sul, com aproximadamente 33.000 km², teve início nos últimos 400ka, resultado das variações relativas do nível do mar. Estes autores identificaram quatro sistemas deposicionais do tipo laguna barreira, sendo as barreiras I, II e III as mais antigas, de idades Pleistocênicas, e a barreira IV, a mais jovem e onde se encontra a atual linha de praia, de idade Holocênica. Cada barreira é formada por areias eólicas e praias sobrepostas as lamas lagunares, marcando os máximos transgressivos de cada período interglacial. Diversos trabalhos (Villwock *et al.*, 1986; Tomazelli & Villwock 1996; Tomazelli *et al.*, 2000) abordaram a evolução regional da planície costeira do Rio Grande do Sul, analisando o seu desenvolvimento em escala temporal de muito longo prazo e associando sua evolução principalmente as variações relativas do nível do mar.

Dillenburg *et al.* (2006), Martinho *et al.* (2008) e Martinho *et al.* (2010) realizaram importantes estudos com enfoque na formação e evolução da barreira IV (Holocênica) e segundo estes autores ela começou a se desenvolver entre 7-8ka atrás. Através de coleções de fotografias aéreas, furos de sondagem e datações pelo método do ¹⁴C, estes pesquisadores mapearam o comportamento da barreira Holocênica em escala de tempo de longo prazo (milhares de anos), identificando setores com características retrogradacionais, progradacionais e agradacionais. Tanto nos trabalhos de Villwock *et al.* (1986), Tomazelli & Villwock (1996) e Tomazelli *et al.* (2000), com enfoque na evolução da planície costeira em escalas de muito longo prazo, como nas pesquisas desenvolvidas por Dillenburg *et al.* (2006), Martinho *et al.* (2008) e Martinho *et al.* (2010) na formação da barreira IV, em escala

de tempo de longo prazo, as variações relativas do nível do mar foram consideradas como a principal variável controladora na formação e evolução destes sistemas deposicionais.

Já Toldo *et al.* (2006) mapeou o comportamento do sistema praial atual, que se desenvolve na barreira IV, em escala temporal de curto prazo, comparando a posição da linha de praia, obtida através de coleções de fotografias aéreas de 1975, com um levantamento planimétrico realizado no litoral do Rio Grande do Sul utilizando um DGPS. Este autor não leva em consideração as variações relativas do nível do mar por ela ser uma variável desprezível ao se analisar a mobilidade da linha de praia em intervalos de tempo de anos ou dezenas de anos. Neste caso a principal forçante controladora do comportamento do sistema praial no litoral do Rio Grande do Sul são variações no balanço sedimentar e no fluxo de energia ao longo da costa (Toldo *et al.*, 2006).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar o balanço de sedimentos arenosos no sistema praial atual, ao longo do litoral médio do Rio Grande do Sul, em escala temporal de curto prazo (dezenas de anos), sem considerar as variações relativas do nível do mar. Com isso se pretende identificar os trechos de erosão e deposição de sedimentos arenosos, além de estimar o volume de areia contido no campo de dunas costeiras, e a intensidade com que atuam os processos costeiros responsáveis pela erosão, transporte e deposição sedimentar. Para tanto, será analisada a variação da deriva litorânea ao longo da área utilizando o método do fluxo de energia, através da aplicação de diferentes relações empíricas descritas na literatura, além de utilizar imagens de satélite com modelo digital de elevação do terreno.

Uma série de trabalhos já foi realizada no litoral do Rio Grande do Sul visando explicar e compreender os diferentes comportamentos e a mobilidade da linha de praia no curto (Toldo *et al.*, 2006; Motta *et al.*, 2011) e longo prazo (Dillenburg *et al.*, 2003; Martinho *et al.*, 2009). Porém é muito difícil de obter valores quantitativos de mobilidade da linha de praia ou taxas confiáveis de transporte sedimentar devido, principalmente, as incertezas existentes nos cálculos da deriva litorânea. O balanço de sedimentos é uma importante ferramenta para auxiliar no entendimento da dinâmica costeira do litoral do Rio Grande do Sul, para desta maneira conhecer as

fontes, os sumidouros de sedimentos ao longo da costa e a magnitude com que os processos de erosão e deposição atuam, além de identificar como e para onde estes sedimentos são transportados.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Balanço sedimentar

De acordo com o *Coastal Engineering Manual* (2002), (CEM), por volta de 1950, foi criado o conceito de balanço sedimentar com o objetivo de conhecer a magnitude e a direção do transporte de sedimentos para uma determinada região de interesse dentro de um determinado intervalo de tempo. O balanço de sedimentos, aplicado a zonas costeiras, é uma valiosa ferramenta na investigação de mudanças observadas na costa, assim como na previsão de futuros cenários, possibilitando desta maneira, alternativas no seu manejo. O CEM foi um extenso trabalho realizado pelo *U.S Army Corps of Engineers*, referência internacional na aplicação de técnicas e métodos sobre os estudos de problemas costeiros. Dele foram extraídos trabalhos considerados basilares na área de processos costeiros.

Diversas pesquisas veem sendo realizadas aplicando o conceito de balanço de sedimentos, principalmente nos Estados Unidos. Em um dos primeiros trabalhos realizados aplicando este conceito, Savage (1962) reuniu dados a partir de estudos de campo e de laboratório para desenvolver a equação matemática que mais tarde foi adotada pelo *U.S Army Corps of Engineers* para a criação do *Coastal Design Manual*, em 1966, que ficou sendo conhecida como “CERC formula” ou método do fluxo de energia. Esta fórmula para o transporte litorâneo de sedimentos mais tarde foi modificada, baseada nas relações de transporte e em dados de campo publicados por Komar & Inman’s (1970). Esta é a metodologia utilizada pelo *Shore Protection Manual* (1984).

Caldwell (1966) desenvolveu um balanço regional de sedimentos para a costa norte de New Jersey. Através deste estudo foi possível identificar divergência nas direções das correntes de deriva litorânea na cidade de Mantoloking, localizada a norte de Dover Township (USA).

Bowen & Inman (1966) introduziram o conceito de células litorâneas no balanço de sedimentos, aplicado na costa sul da Califórnia, pelas evidentes fontes (fluxo do rio e erosão das falésias) e sumidouros de sedimentos (canyons submarinos), além da geologia costeira (costões rochosos) que limita bem fisicamente cada célula. Uma célula litorânea pode também ser definida como uma

região limitada por diferentes condições de transporte ou ainda por obras de engenharia.

Outro trabalho pioneiro de pesquisa seguindo esta linha foi o de Jarrett (1977, 1991), que desenvolveu um balanço regional de sedimentos arenosos para a costa da Carolina do Norte (USA), incluindo três ilhas costeiras e dois *inlets*. Jarrett (1977, 1991) utilizou as mudanças do perfil praias medidas em campo, para corrigir os valores das taxas potenciais de deriva litorânea calculadas a partir do método do fluxo de energia.

Kana & Stevens (1992) desenvolveram e introduziram o modelo de balanço conceitual de sedimentos. Eles recomendam que esta metodologia seja utilizada nas etapas de planejamento, para detalhar e estimar as fontes e os sumidouros de sedimentos de uma determinada região. O balanço conceitual de sedimentos é um modelo qualitativo que dá uma perspectiva regional da interação de *inlets*, praias e processos costeiros, considerando os efeitos na batimetria e incorporando os indicadores geomorfológicos de deriva litorânea.

Bodge (1993) desenvolveu trabalhos focados em *inlets* e em praias adjacentes e enfatizou a importância de se considerar tanto as taxas brutas como as líquidas de deriva litorânea, especialmente em embocaduras e praias que agem como sumidouros sedimentares.

Frihy & Dewidar (2003) analisaram 68 amostras de sedimentos ao longo do delta do rio Nilo (Egito) e através da concentração de minerais pesados e do tamanho médio dos grãos subdividiram a célula litorânea do delta em subcélulas. Estes autores interpretaram que os limites das subcélulas são estabelecidos pelas variações no fluxo de energia, e conseqüentemente nas taxas de transporte sedimentar ao longo do litoral Egípcio.

Rosati (2005) revisou os principais conceitos para a realização do balanço de sedimentos em zonas costeiras. No trabalho o autor ressalta os principais desafios no desenvolvimento do balanço sedimentar, como estabelecer os limites de cada célula, definir a magnitude dos processos responsáveis pela adição e remoção de sedimentos, para dentro ou para fora de cada célula, representar as incertezas associadas aos valores assumidos para o balanço sedimentar e testar sua sensibilidade ao longo do tempo.

Patsch & Griggs (2008) desenvolveram o balanço sedimentar para a praia de Santa Barbara, na Califórnia, aplicando o conceito de células litorâneas. Os volumes de sedimentos transportados através da deriva foram obtidos a partir de dados de dragagem devido ao elevado número de portos e molhes presentes na área.

Toldo (2006) propôs um modelo de sedimentação costeira no litoral médio do Rio Grande do Sul (RS) aplicado a progradação do campo de dunas costeiras e da antepraia na região de Mostardas e Dunas Altas. O autor interpreta que a dinâmica costeira da área é controlada principalmente pelas variações no balanço sedimentar e na deriva litorânea devido às inflexões da linha de costa ao longo do litoral do RS.

2.2. Deriva litorânea

As correntes longitudinais, ou correntes de deriva litorânea, são geradas paralelamente a linha de praia e sua formação é relacionada a gradientes instantâneos de massa d'água devido à ação mecânica e a incidência oblíqua das ondas. A velocidade média atingida por estas correntes é de 0,3 m/s, mas durante eventos de tempestade esse valor pode ultrapassar 1 m/s (*Costal Engineering Manual*, 2002). O desenvolvimento e a magnitude da deriva litorânea é diretamente relacionado com o tamanho e o ângulo de incidência no ponto de quebra das ondas. Além disso, a área em que ela age e remobiliza os sedimentos é limitada pela largura da zona de surfe.

Komar & Inman (1970) realizaram um trabalho para testar dois modelos usados para estimar taxas de transporte longitudinal. O primeiro modelo assume que o peso imerso dos sedimentos transportados é diretamente proporcional a componente longitudinal do fluxo de energia das ondas incidentes. O segundo modelo considera que a quebra das ondulações prove a energia necessária para remobilizar e manter suspensos os sedimentos na coluna da água e a corrente longitudinal superimposta os transporta ao longo da costa. Para tanto os autores mediram simultaneamente, em campo, os parâmetros ondulatórios e a velocidade das correntes longitudinais, assim como o volume de areia transportada sob tais condições com a ajuda de traçadores. Por fim, Komar & Inman (1970) concluem que ambos os modelos estimam satisfatoriamente os volumes de areia transportados e possuem boa correlação entre eles quando não há influência de outros mecanismos de transporte, tais como correntes geradas por maré e vento. Neste trabalho os

autores também observaram, comparando resultados medidos em campo, que modelos de transporte longitudinal gerados em laboratórios tendem a subestimar os verdadeiros volumes remobilizados. Eles interpretam que isso ocorre devido aos experimentos laboratoriais não representarem condições totalmente desenvolvidas de transporte sedimentar. As observações realizadas neste trabalho modificaram, e foram incorporadas, nas formulações de transporte litorâneo utilizadas pelo *Shore Protection Manual* (1984), mais conhecida como a fórmula CERC.

Kamphuis (1991) desenvolveu, através de modelo físico experimental, uma equação para estimar o volume de areia transportada, relacionando as taxas de transporte longitudinal com os parâmetros ondulatórios, declividade da praia, tamanho do grão e ângulo de quebra da onda. Os parâmetros ondulatórios medidos no modelo em águas profundas, altura das ondas na zona de surfe, ângulo de incidência das ondas no ponto de quebra, distribuição das velocidades de corrente longitudinal e distribuição dos volumes de areia transportados em suspensão e no fundo foram obtidos simultaneamente, criando uma base de dados consistente. O autor conclui, através dos dados obtidos no experimento, que a fórmula do *Shore Protection Manual* (1984) superestima as taxas de transporte longitudinal, principalmente sob efeito de tempestade, e que isso ocorre pela utilização do termo $(\sin 2\alpha)$ nas equações.

Lima (2001) utilizou os dados de ondas provenientes de embarcações para, através do método do fluxo de energia, estimar as taxas de deriva litorânea para o litoral médio e norte do RS. No trabalho ele observa que as taxas de deriva líquida decrescem em direção ao litoral norte do RS.

Van Rijn (2001, 2002) desenvolveu uma equação mais simples para estimar taxas de deriva litorânea e, com dados medidos durante tempestades nos Estados Unidos da América e Holanda, comparou os volumes transportados utilizando as equações do *Shore Protection Manual* (1984), mais conhecida como fórmula CERC, e Kamphuis (1991). O autor conclui que as estimativas de deriva obtidas com a fórmula do CERC superestimam os volumes transportados, principalmente em condições de mar calmo. Porém utilizando a equação sugerida por Kamphuis (1991) as taxas de deriva são subestimadas em condições de mar calmo e superestimadas em eventos de tempestade.

Adams *et al.* (2011) analisaram as mudanças nas taxas de transporte longitudinal devido as variações climáticas e na direção das ondulações na costa sul da Califórnia (EUA), aplicando modelos de propagação de ondas e transporte sedimentar influenciados pelo El Niño e pela maior ocorrência de ciclones. Os autores observaram pontos de divergência nas direções da deriva litorânea ao longo das praias de Santa Bárbara e Torrey Pines, devido a maior incidência e altura das ondas provenientes de W. Os resultados deste estudo são um exemplo de praias que tem maiores taxas de mobilidade quando influenciadas por variações climáticas e maior ocorrência de ciclones.

Splinter *et al.* (2012) ressalta que mudanças na direção do regime de ondas podem ocorrer devido a variações de longo prazo no clima, resultando também, em variações espaciais no ambiente costeiro (erosão e acreção). Os pesquisadores analisaram mais de 50 anos de dados de direção e padrão de ondas em águas profundas no sudeste de Queensland, Austrália, e utilizaram para gerar o clima de ondas da região. Aplicando um modelo espectral de ondas eles estimaram as condições no ponto de quebra para conhecer as taxas de transporte sedimentar ao longo dos 35 km de praias arenosas. Os resultados demonstraram que as variações na direção e nas taxas de deriva litorânea líquida possuem boa correlação com dois índices climáticos que influenciam a Austrália, o *Southern Oscillation Index* (SOI) e o *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO).

Referências

ADAMS, P.N., INMAN, D.L. & LOVERING, J.L. 2011. Effects of climate change and wave direction on longshore sediment transport patterns in southern California. *Climatic Change*. 109: S211-S228.

BODGE, K.R. 1993. Gross Transport Effects and Sand Management Strategy at Inlets. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 18, Fall 1993, pp 111-124.

BOWEN, A.J. & INMAN, D.L. 1966. Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arquello, California. U.S Army Coastal Engineering Research Center. P.41.

CALDWELL, J.M. 1966. Coastal Processes and Beach Erosion. *Journal of the Society of Civil Engineers*. Vol 53, No. 2, pp 142-157.

DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., CLEROT, L.C.P. 2003. Gradients of wave energy as the main factor controlling the evolution of the coast of Rio Grande do Sul in southern Brazil during the late Holocene. *Proceedings of the 5th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Process*. American Society of Civil Engineers, New York. V1, CD.

DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., HESP, P.A., BARBOZA, E.G., CLEROT, L.C.P. & SILVA, D.B. 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dunefield barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*. Res. SI 39, 132–135.

FRIHY, O.E. & DEWIDAR, K.M. 2003. Patterns of erosion/sedimentation, heavy mineral concentration and grain size to interpret boundaries of littoral sub-cells of the Nile Delta, Egypt. *Marine Geology*, 199: 27-43.

JARRETT, J.T. 1991. Coastal Sediment Budget Analysis Techniques. *Proceedings, Coastal Sediments '91*. ASCE, Reston, VA, pp 2223-2233.

JARRETT, J.T. 1977. Sediment Budget Analysis: Wrightsville Beach to Kore Beach, NC. Proceedings of Coastal Sediments '77. ASCE, New York, 1977.

KAMPHUIS, J.W. 1991. Alongshore sediment transport rate. Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE, 117(6), 624-641.

KANA, T.W. & STEVENS, F.D. 1992. Coastal Geomorphology and Sand Budgets Applied to Beach Nourishment. Proceedings of Coastal Engineering Practice '92. ASCE, New York, pp 29-44.

KOMAR, P.D. & INMAN, D.L. 1970. Longshore sand transport on beaches. Journal of Geophysical Research. Vol 75, N°30, pp 5914-5927.

LIMA, S.F., ALMEIDA, L.E.S.B. & TOLDO Jr, E.E. 2001. Estimate of longshore sediments transport from waves data to the Rio Grande do Sul coast. Pesquisas, 28(2):99-107.

MARTINHO, C.T., DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. Marine Geology, 256: 49-64.

MARTINHO, C.T., DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. 2009. Wave energy and longshore sediment transport gradients controlling barrier evolution in Rio Grande do Sul, Brazil. Journal of Coastal Research. 25: 285-293.

MARTINHO, C.T., HESP, P.A. & DILLENBURG, S.R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. Geomorphology. 117: 14-32.

MOTTA, L.M. 2011. Balanço de sedimentos arenosos no litoral médio do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 67p. Monografia de conclusão de curso, curso de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PATSCH, K. & GRIGGS, G. 2008. A sand budget for the Santa Barbara littoral cell, California. *Marine geology*, 252: 50-61.

ROSATI, J.D. 2005. Concepts in Sediment Budgets. *Journal of Coastal Research*. 21(2):307-322.

SAVAGE, R.P. 1962. Laboratory determination of littoral transport rates. *Journal of the waterway port, coastal, and ocean division, American society of civil engineers*, Nº WW2, pp69-92.

SPLINTER, K.D., DAVIDSON, M.A., ALIASGHAR, G. & TOMLINSON, R. 2012. Climate controls on longshore sediment transport. *Continental Shelf Research*. 48: 146-156.

TOLDO Jr, E.E., NICOLODI, J.L., ALMEIDA, L.E.S.B., CORRÊA, I.C.S. & ESTEVES, L.S. 2006. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. *Journal of Coastal Research, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium*. SI39:390-394.

TOMAZELLI, L.J., DILLENBURG, S.R. & VILLWOCK, J.A. 2000. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30 (3):474-476.

TOMAZELLI, L.J. & VILLWOCK, J.A. 1996. Quaternary geological evolution of Rio Grande do sul coastal plain, southern Brazil. *An. Acad. Bras.* 68:373-382.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center/CERC, 1984. *Shore Protection Manual*. 4ed., Vol (1). Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. USA. 208 p.

U.S. Army Corps of Engineers. 2002. *Coastal Engineering Manual*. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).

VAN RIJN, L.C. 2001. Longshore sediment transport, Report Z3054, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

VAN RIJN, L.C. 2002. Longshore sand transport. 28th ICCE, Cardiff, Wales, United Kingdom 2006.

VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN, P.N.O., BACHI, F.A. & DEHNHARDT, B.A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. Quaternary of south America and antartic península. Rotterdam, Balkema. 4:79-97.

CAPÍTULO 2

Assunto Submission Confirmation

Remetente Quaternary Science Reviews

Para lucas.motta@ufrgs.br

Data Hoje 16:33

Quaternary Science Reviews

Title: Sandy sediment budget in the mid-coast of Rio Grande do Sul, Brazil.

Authors: Lucas Marchi Motta, M.D.; Elírio Toldo Jr., Dr.; Luiz Emílio Almeida, Dr.; José Nunes

Article Type: Research and Review Paper

Dear Mr. Lucas Marchi Motta,

Your submission entitled "Sandy sediment budget in the mid-coast of Rio Grande do Sul, Brazil." has been received by Quaternary Science Reviews.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/jqsr/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal. Please do not hesitate to contact me if you have any queries.

Kind regards,

Quaternary Science Reviews

Title: Sandy sediment budget in the mid-coast of Rio Grande do Sul, Brazil.**Abstract**

The calculation of the coastal sandy sediment budget allows the estimation of the time and intensity of processes associated with erosion, transport, and deposition and the understanding of local and regional sediment dynamics, which can be applied, for instance, to map risk areas. In this paper, the littoral cell concept (Bowen & Inman 1966) was applied to the mid-coast of Rio Grande do Sul, southern Brazil. The sediment budget was determined by identifying the sediment sources and sinks. To analyze littoral drift variations along the 275 km of our study area, the shoreline was divided into 12 sub-cells. In addition, the controlling parameters of the sediment budget were classified according to their net transport as addition or removal. Littoral drift rates were estimated and compared using the energy flux method, applying the empirical relationships suggested by the CERC formula (Shore Protection Manual, 1984), Van Rijn (2001) and Kamphuis (1991). Wave parameters were obtained from WAVEWATCH III, a global wave forecast model created by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The longshore transport rates obtained with the CERC equation present the major volumes, ranging from 0.60 to 2.63 million cubic meters per year. The littoral drift rates obtained with the Van Rijn (2001) and Kamphuis (1991) equations are very similar, between 0.15 to 1.00 million cubic meters per year. The sand volume of the coastal dune field was also quantified throughout the study area using satellite imagery with a digital elevation model of the terrain. The obtained value was 4.20 billion m³.

1. Introduction

Calculation of the coastal sandy sediment budget allows the estimation of the time and intensity of processes associated with erosion, transport, and deposition and the understanding of local and regional sediment dynamics applied, for instance, to the mapping of risk areas.

Thus, on a short-term time scale (years and decades), the sediment supply contained on a beach can be defined as the volume of sediment contained and moving along it. According to Rosati (2005), the sediment supply corresponds to the results of a balance between the addition and removal of sediments measured within a defined time interval and area.

Bowen & Inman (1966) developed the concept of a sediment budget to identify and quantify the sandy sediment sources and sinks on California beaches (USA), dividing the area of interest into littoral cells and sub-cells. Since then, several studies have been conducted on different beaches using this concept, such as Patsch & Griggs (2008), Rodríguez & Dean (2009), Cooper *et al.* (2001) in southern England, Anthony *et al.* (2006) in northern France, and Frihy & Dewidar (2003) in the Nile River delta.

This concept was applied to the mid-coast of Rio Grande do Sul (RS), southern Brazil, during the period from 1998 to 2009, through the division of 275 km of coastline into sub-cells. This paper presents the results obtained from the sandy sediment budget as well as the definition and quantification of sand sources and sinks along the littoral.

The greatest challenge in implementing the concept of a sediment budget is identifying sand sources and sinks acting within the study area and quantifying their respective transport rates into and out of each littoral cell (Patsch & Griggs, 2008). The absence of a long wave spectrum series measurement along the coast is also a major source of uncertainty in the calculation of the directional distribution of the energy flux and, consequently, the sediment budget. Another difficulty, which leads to an increase in the inaccuracy of this calculation, is the lack of periodic topographic surveys of the beach profile given that RS has an extensive coastline that features seasonal morphodynamic behavior.

The presence of extensive dune fields has been noted by Bowen & Inman (1966) as being a good qualitative indicator of sediment sinks in a littoral cell or sub-cell. In this sense, the presence of noteworthy coastal geoindicators in the study area favorably aided the interpretation of the sediment budget.

As an alternative to delimiting sediment sources and sink areas, Toldo *et al.* (2006) mapped the shoreline changes throughout the RS coast based on collections of aerial photographs and surveys conducted with Differential GPS.

2. Study Area

The Rio Grande do Sul coastal plain, which covers approximately 33,000 km² (Fig. 1), consists of four barrier-lagoon-type depositional systems caused by cycles of glacio-eustatic variations that occurred during the Quaternary and mark the transgressive maxima of each event (Tomazelli *et al.*, 2000). These deposits have been classified, from oldest to newest, as barriers I, II, III, and IV and consist of lagoonal, aeolian, beach and marine facies with a NE-SW orientation. The development of each of these depositional systems occurred from 400 ka, associated with the last four transgressive-regressive events. The first three barriers are Pleistocenic, and the most recent, barrier IV, was generated in the Holocene (Fig. 2).

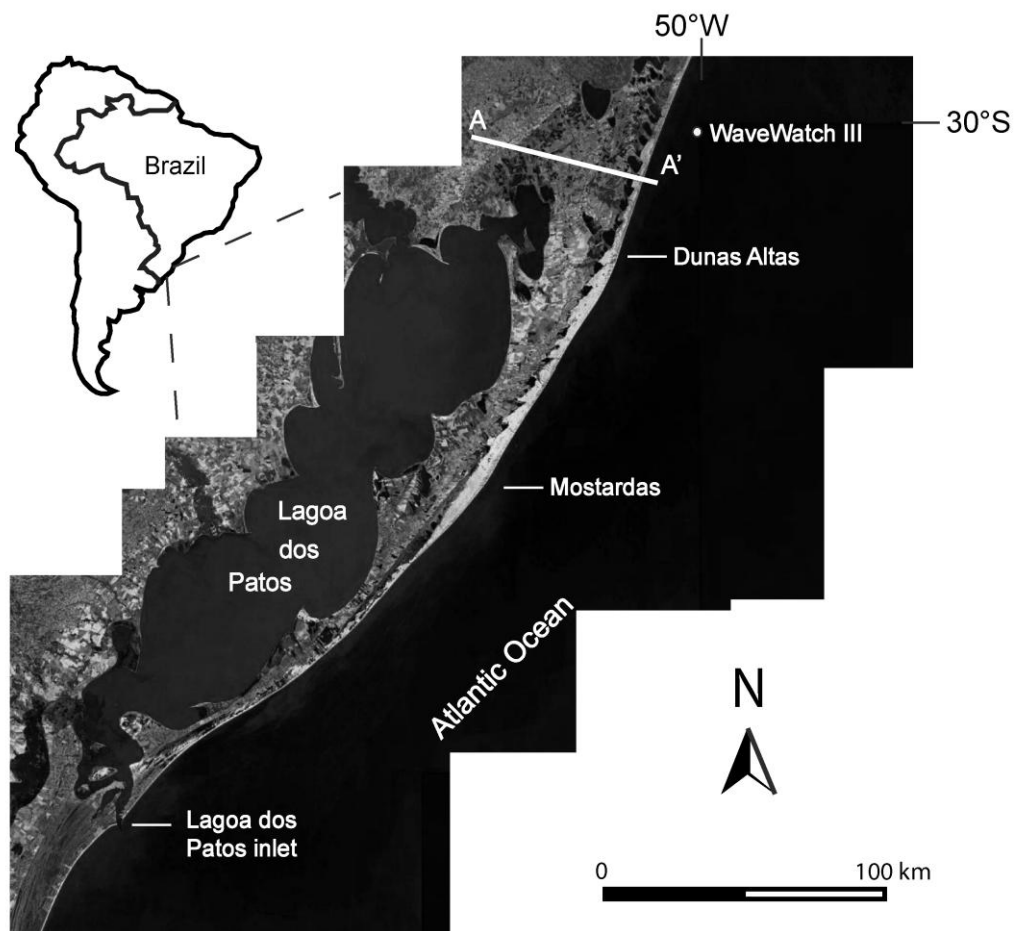


Figure 1 – Location of the mid-coast between the Lagoa dos Patos inlet and Dunas Altas beach, a 275 km-long Holocene fine sand barrier, and the point to collect the wave data from the WAVEWATCH III.

The oceanic beach developing over the Holocene barrier is slightly sinuous along the full 615 km length (Fig. 1). Dillenburg *et al.* (2006) studied the stratigraphic evolution of barrier IV using aerial photographs, boreholes, and ^{14}C sediment dating. These authors identified three main lithofacies composed of aeolian sands overlaying marine and beach sands. Well-preserved mollusks, which are present on top of the marine facies, have been dated between 7 and 8 ka. This age is used to mark the beginning of the Holocene barrier progradation and the development of the coastal dune field. These aeolian deposits were formed by fine quartz sands and occupy virtually the entire surface of the Holocene barrier along the middle coast, mainly in the locations named the Dunas Altas and Mostardas beaches, where the greatest extensions occur (Fig. 1). The adjacent continental platform has a width between 150 and 200 km, reaching maximum depths of approximately 100 to 140 m, with slopes ranging from 0.5 to 1.5 m/km (Côrrea, 1996). The coastline is dominated by waves (Figueiredo & Calliari, 2006), and the regional processes of erosion and deposition are primarily controlled by the wave energy flux parallel to the beach (Lima *et al.*, 2001; Toldo *et al.*, 2006).

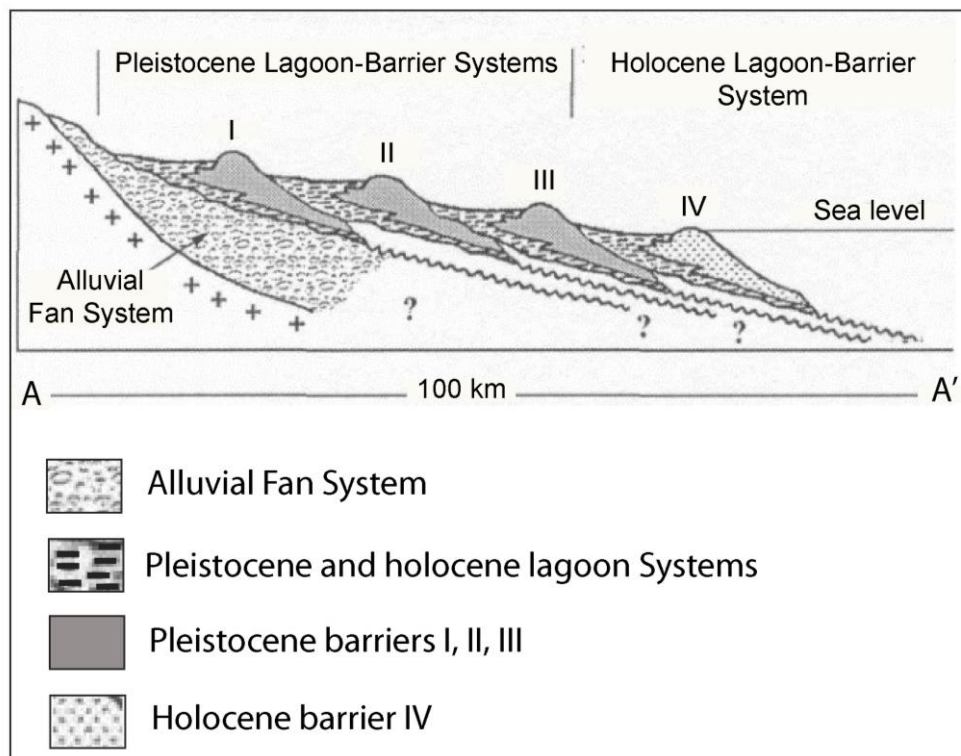


Figure 2 – Stratigraphic details of barrier-lagoon systems I, II, III, and IV, from cross-section A-A' (Fig. 1).

Modified from Tomazelli *et al.* (2000).

2.1. Sediments

The Rio Grande do Sul coast receives no modern sand contributions from the mainland because the entire bed load of the drainage network is retained in the lagoons and

other coastal environments, such as the Lagoa dos Patos and Lagoa Mirim. Thus, the most important component controlling the beach sediment budget on a short-term time scale and without the changes in the relative sea level is the littoral drift, which is mainly forced by the mechanics of the incident waves. The beaches' sediments have uniform grain size, mainly represented by fine sands ($M_d = 0.15$ mm), and quartz compositions with low carbonate contents (between 0.2 and 0.5%), but the concentration of heavy minerals varies widely, reaching values of up to 40% north of the Lagoa dos Patos inlet (Toldo *et al.*, 2006).

2.2. Hydrodynamics

The incident waves have a seasonal behavior. Strong waves generated from the South Atlantic Ocean occur in the fall and winter and are associated with the passage of cold fronts. Waves are generated by strong local NE winds during the summer and spring. With the exception of the passage of cold fronts, the sea agitation is represented by waves of medium to high energy, with a significant height of 1.5 m and a period between 7 and 9 s. The astronomical tide is semidiurnal and has a mean amplitude of 0.25 m, and the meteorological tide amplitude can reach 1.20 m. Based on two wave datasets obtained between 1963 and 1996 on the northern coast of RS, the depth of closure on the shoreface has been estimated at 7.5 m (Toldo *et al.*, 2006).

The directional distribution of the longshore current throughout the entire coast is very regular for both the SW and NE, in a clearly bidirectional pattern. However, the sediment transport associated with the SW longshore currents is more expressive than that originating from the NE because the SW currents mostly result from greater wave energy flux associated with the passage of cold fronts (Lima *et al.*, 2001).

3. Methodology

3.1. Littoral cell and Sub-Cells

Based on the littoral cells concept proposed by Bowen & Inman (1966) and later improved by the U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984), Cooper *et al.* (2001), Rosati & Kraus (2001), Frihy & Dewidar (2003), Rosati (2005), Anthony *et al.* (2006), Patsch & Griggs (2008), and Rodríguez & Dean (2009), morphological limits were established along the mid-coast to enable the use of this concept.

The cell was outlined on the beach system from the Lagos dos Patos inlet to the Dunas Altas beach, at a length of 275 km (Fig. 1). The mouth of the lagoon has been fixed since the beginning of the twentieth century by two large jetties that extend more than 4 km into the sea

and represents a major obstacle to sand transfer between the mid and south coasts of RS (Fig. 3). The geomorphological criterion used to establish the NE boundary of the littoral cell has been associated with the significant size reduction of the coastal dune field. The formation of urbanized areas concentrated along the north coast has also occurred in this location across more than 70 km. The transverse boundaries of the littoral cell, or the coastal and seaward limit of the beach profile change, were established between the foot of the foredune and the depth of closure.

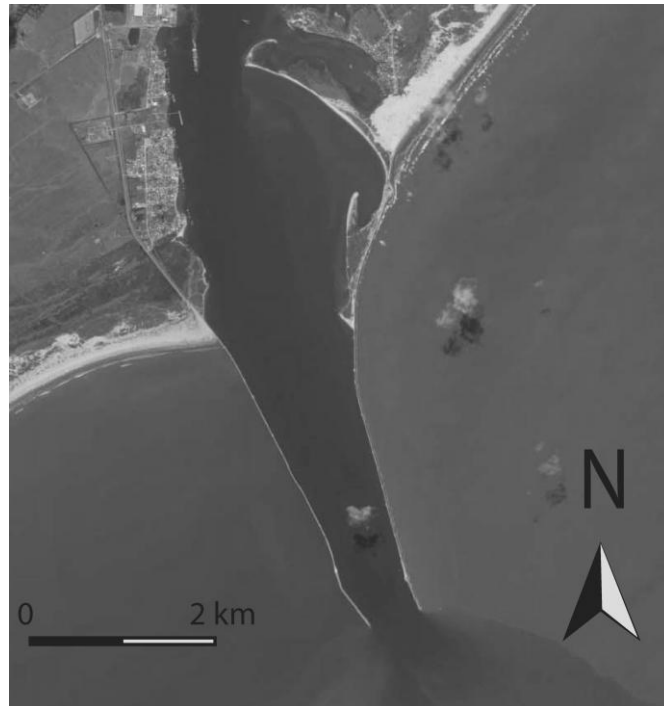


Figure 3 – Landsat image of the Lagoa dos Patos mouth, fixed by the construction of jetties in 1914.

Although small in magnitude, changes in the direction of the coastline were used as topographic geoindicators for the division of the littoral cell into sub-cells (Tab. 1). The angle of each division was defined trigonometrically based on the UTM X and Y point coordinates. Through detailed analysis of the coastline orientation by LandSat 7 images, the mid-coast was divided into 12 sub-cells (Fig. 4).

Sub-cell	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Angle (°)	40.3	54.7	56.5	48.7	40.6	46.0	39.7	29.4	32.0	33.3	25.4	18.4
Length (km)	24.8	17.2	28.7	30.0	26.2	21.0	20.5	21.5	40.9	14.9	13.1	19.6

Table 1. Alignment angle and length of littoral sub-cell.



Figure 4 – Location of the coastal dune field (white area) along the mid-coast and morphological details surrounding the 12 littoral sub-cells.

3.2. Sediment Budget

The parameters controlling the sediment budget were defined by the transport mechanism and its capacity to transport sediments into or out of each sub-cell (Tab. 2).

Addition	Removal
Littoral drift	Littoral drift
Aeolian transport	Aeolian transport
Washouts	Coastal jet

Table 2. Classification of transport mechanisms for the sediment budget, proposed by Toldo *et al.* (2006).

Based on the concept developed by Bowen and Inman (1966) according to which the sandy sediment budget from a coastal region consists of the application of the principle of conservation of mass, the balance was conducted for each sub-cell in the period between 1998 and 2009 (Fig. 5).

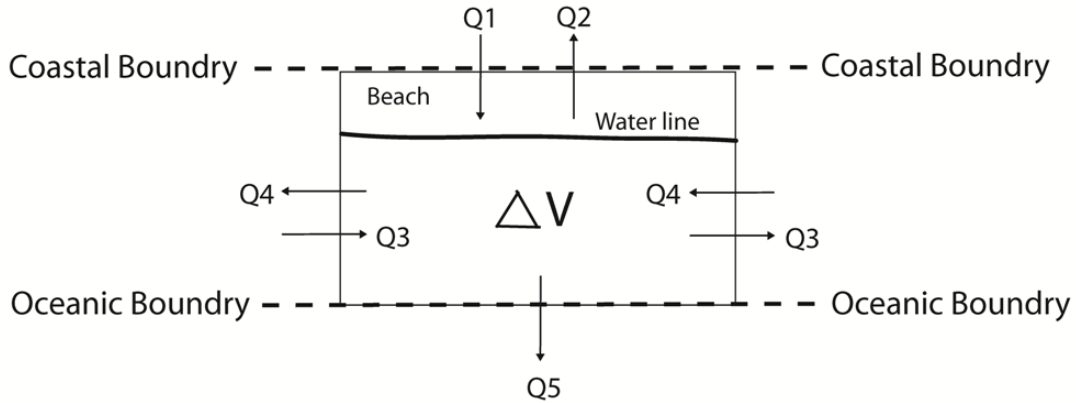


Figure 5 – General diagram for calculating the sediment budget applied to the littoral sub-cells, where:
 Q1 = addition by wind and washouts, Q2 = removal by wind, Q3 = addition and removal by SW littoral drift,
 Q4 = addition and removal by NE littoral drift, Q5 = removal by coastal jet, and ΔV = change in volume within
 the sub-cell. Adapted from Rosati and Kraus (2001).

3.2.1. Littoral Drift

Littoral drift is the main controlling variable of the sediment budget in the middle coast of RS because of the magnitude of the wave energy flux compared to other forces, such as wind and tides.

The wave parameters used to estimate the littoral drift rates were taken from the NWW3 operational model hindcast reanalysis (Tolman, 1997 and 1999). To define the wave climate, an ocean site located north of the mid-coast was analyzed (Fig. 1). The period, significant height, and peak direction were continually generated in deep water at 3 hour intervals between 1998 and 2009 and accounted for more than 35,000 records. The data from the *WAVEWATCH III* model were transferred to break point conditions through the linear wave theory according to methodology suggested by Herbich (2000).

To estimate the sand volume transported by longitudinal currents, empirical relationships from the U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984), better known as the CERC formula, in addition to those proposed by Van Rijn (2001) and Kamphuis (1991), were used:

$$Q = 0.025 H_r^2 \sqrt{g d_r} \sin(2\alpha_r) \quad (1)$$

where Q is the volume of transported sediments (m^3/s); H_r and d_r correspond to the wave height and depth at break point (m), respectively; α_r is the wave incidence direction ($^\circ$); and g is the gravity acceleration (m/s^2),

$$Q = 40H_r^3 \sin(2\alpha_r) \quad (2)$$

where Q is the transported volume in kg/s, H_r is the wave height at break point (m), and

$$Q = 2.33(T)^{1.5}(\tan \beta)^{0.75}(d_{50})^{-0.25}(H_r)^2(\sin(2\alpha_r))^{0.6} \quad (3)$$

where Q is the transported volume in kg/s, T is the period (s), $\tan \beta$ is the beach slope, d_{50} is the mean grain size (m).

These equations have been widely used in academic studies and applied to coastal engineering projects and thus show differences in transport rates (Kamphuis, 1991; Van Rijn, 2001; Van Rijn, 2002 and Van Rijn & Bôer, 2006). The three methodologies were used to calculate annual littoral drift volumes for each sub-cell based on the same wave parameter records from the WAVEWATCH III model.

3.2.2. Washouts

Washouts add sediments by moving sand from the dunes into the littoral cell. However, due to the lack of information on the volume of this mechanism of the sediment supply, this component was not considered in the budget. Figueiredo & Calliari (2006) have mapped the occurrence of washouts along the mid-coast of RS and observed the highest occurrence near the Lagoa dos Patos inlet and between the Mostardas and Dunas Altas beaches. The authors concluded that the presence of washouts was not linked to the prevalence of erosive or depositional processes on the beach system but was a result of the geological and geomorphological components of the adjacent coastal plain. In addition, they identified a seasonal control in the washouts occurring more and less frequently during the winter and summer, justified respectively by the higher incidence of precipitation and increased evaporation rates.

3.2.3. Coastal Jet

Toldo *et al.* (2006) have identified through aerial photographs the development of a coastal jet associated with the passage of cold fronts on the Mostardas beach in sub-cell 7 (Fig. 4). This mechanism removes sediments from the littoral cell to the shoreface, but there are no measurements or estimatives of the remobilized sand volumes. The circulation pattern is forced by a jet with a short duration and, in some instances, can transport the suspended sediments of the surf zone to the shoreface by diffusion. The physical process that controls the formation and evolution of this circulation mode has not been completely explored, but a good correlation has been found between the jet geometry and the width of the shoreface, which extends for over 2 km in this sub-cell.

3.2.4. Aeolian Transport

The aeolian transport from the continent to the sea is responsible, to a lesser extent, for adding sediments to the littoral sub-cells. However, the wind acts mainly in the opposite direction, removing sand from the sub-cells and shifting into the coastal plain. There are no measurements that quantify the annual volume, but in this case, it was possible to evaluate the amount of sand contained in the dune field, an area defined here as the largest reservoir of sediments on the mid-coast of RS.

To assess the amount of sediments in the dune field, the software *Global Mapper 11*[®] and a mosaic of Aster GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model) images were used, with a spatial resolution of 30 m and an altimetric resolution of 1 m, superimposed by LandSat 7 images. Errors and inaccuracies of this methodology were established from the field planialtimetric survey conducted near the Dunas Altas beach. In the topographic measurement, a dune of approximately 30,000 m² was demarcated by a grid of 1,717 points, with planar coordinates and altitudes using the Topcon GR3 dual-frequency DGPS system operated in kinematic mode. In the final adjustment, the coordinates were compared with those stored in the RBMC base station and followed by post-processing. The Mapgeo 2010 software from IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) was used to correct the orthometric height. Maximum vertical and horizontal errors of 15.43 and 15 cm, respectively, were observed. A dune volume of 393,498.6 m³ was calculated using Software *Surfer 9*[®] and 332,676.2 m³ using *Global Mapper 11*[®], a difference of approximately 15%.

4. Results and Discussion

4.1. Wave and Littoral Drift Regime

The wave data for the mid-coast of RS were generated from a WAVEWATCH III model that runs based on the NCEP wind data reanalysis. The waves from the SSE, E, and ENE were observed to be the most frequent, and the highest waves were from the ESE (Tab. 3). Based on the available archive of a waverider buoy, Araújo *et al.* (2003) and, from NWW3 reanalysis on an eleven-year time series (Jan/1997-Dec/2007), Pianca *et al.* (2010) defined the wave climate of the southern Brazilian coast and observed the influence of the strong swells and winds associated with the passage of cold fronts that most affect this part of Brazil. Strauch *et al.* (2009) also observed the predominance of waves coming from the E, ESE, SE and SSE, from a waverider anchored between 2006 and 2007 in northeastern RS coast.

H _s (m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW
<0.5			0.06	0.09	0.14	0.07	0.03	0.07	0.03	
0.5 - 1.0	0.03	0.12	1.02	4.61	3.41	1.95	1.55	2.02	1.25	0.21
1.0 - 1.5	0.01	0.06	2.39	6.51	7.80	4.86	3.64	6.22	4.27	0.85
1.5 - 2.0		0.01	1.02	4.39	3.98	3.21	3.20	7.02	3.58	0.86
2.0 - 2.5			0.15	1.25	1.31	1.37	1.75	3.77	1.51	0.31
2.5 - 3.0			0.01	0.19	0.40	0.56	0.71	1.31	0.41	0.09
3.0 - 3.5				0.01	0.10	0.11	0.18	0.41	0.15	0.04
3.5 - 4.0					0.03	0.05	0.06	0.06	0.03	0.01
4.0 - 4.5						0.01	0.01	0.02		
4.5 - 5.0						0.01				
5.0 - 5.5						0.01	0.01			
5.5 - 6.0						0.01				
TOTAL (%)	0.04	0.19	4.65	17.04	17.17	12.22	11.13	20.90	11.23	2.37

Table 3. Wave regime from the WAVEWATCH III model between 1998 and 2009.

The sediment volume annually transported between 1998 and 2009 ranged from 1.10 to 2.93 million m³ to the NE and between 0.60 and 2.41 million m³ to the SW, based on equation (1). Using equation (2), for the same period, the volume transported was between 0.35 and 1 million m³ to the NE and between 0.15 and 0.78 million m³ to SW. From equation (3), the transport ranged from 0.28 to 0.70 million m³ to the NE and from 0.10 to 0.47 million m³ to the SW.

Kamphuis (1991), Van Rijn (2001), Van Rijn (2002), and Van Rijn & Bôer (2006) analyzed the CERC formula, comparing the estimates with data measured in the laboratory and field, and they found that it tends to overestimate the longitudinal transport, especially in storm events. This overestimation partially explains the higher drift rates obtained with equation (1) when compared to the results from equations (2) and (3).

The annual net drift to the NE is marked in all sub-cells. However, a reversal occurred in sub-cells 2 and 3 in the years 1998, 2000, 2001, 2004, and 2008 (Fig. 6). These two sub-cells had the largest alignments angles in common, between 54° and 56° (Tab. 1), whereas the other sub-cells had values lower than 49°. Furthermore, net littoral drift reversal to the SW also occurred in sub-cells 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 and 11 in the year 2001.

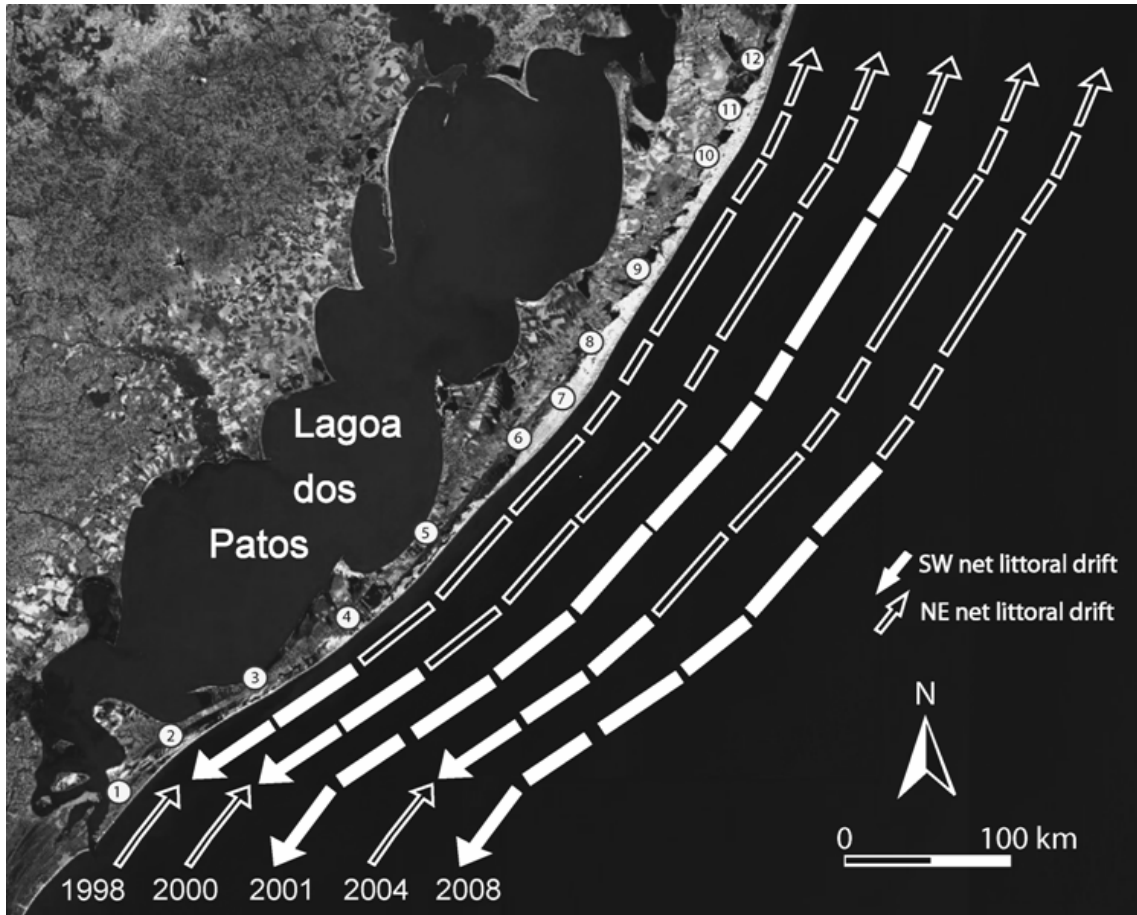


Figure 6 – Net littoral drift for each sub-cell (eq. 1), in which littoral drift reversal is observed, from NE to SW, in 1998, 2000, 2001, 2004, and 2008.

The reversal of the net littoral drift in the mid-coast is related to the geographical position of extratropical cyclones in the Atlantic Ocean. Parise *et al.* (2009) identified three patterns of cyclone trajectories, one of which is generated on the southern Uruguayan coast with displacement to the east with E and ESE waves, classified by the authors as pattern two. Littoral drift reversal has been observed in the years when the predominance of this cyclogenesis occurred.

Using mathematical models of wave generation and analyzing series from the last 35 years, Codignotto *et al.* (2012) observed changes in the wave regime in the La Plata River region (located between Uruguay and Argentina), with an increase in the frequency and height of waves coming from the E and ESE. This change may have been associated with an increase in the frequency of type 2 extratropical cyclones.

An important regional geindicator present along sub-cells 1 and 2 has been associated with the process of littoral drift reversal to the SW. Developing a model of historical evolution for the Lagoa dos Patos inlet, Long & Paim (1987) described the growth of large

sets of beach ridges, which, based on their orientation, resulted from longitudinal transport predominantly directed to the SW.

4.2. Dune field Volume

The coastal dune field consists of an extensive regional sand reservoir with no discontinuities between the 12 sub-cells. Considerable dune field widening occurred in the more pronounced shoreline inflections between sub-cells 6 to 8 and 10 to 12 (Fig. 4).

The stretch between sub-cells 6 to 8 had the greatest sand volume with 2,007,894,829.05 m³, followed by sub-cells 10 to 12 with 827,567,770.28 m³, sub-cell 9 with 743,418,571.76 m³ and sub-cells 1 to 5 with 620,687,414.40 m³. The total volume of the dune field is 4,199,568,589.49 m³, and almost half of this volume is found between sub-cells 6 and 8.

Tomazelli (1993) associated the height of the foredunes in the north and mid-coast of RS with the shoreline orientation and incidence of NE wind. According to this author, Mostardas and Dunas Altas, which are situated between sub-cells 6 to 8 and 10 to 12, respectively, have foredunes with greater heights due to the large angle of beach alignment with the prevailing wind from the NE.

4.3. Sediment Budget

The sediment budget was calculated for each sub-cell based on the littoral drift rates, both SW and NE, according to the diagram shown in Figure 5. In the budget for sub-cell 12 (Fig. 4), in the extreme north of the mid-coast, the SW drift rates of the shore segment that lies further north were included. However, for sub-cell 1, the input of sediments coming from the south side of the Lagoa dos Patos inlet was considered null due to the physical barrier represented by the Rio Grande jetties (Fig. 7).

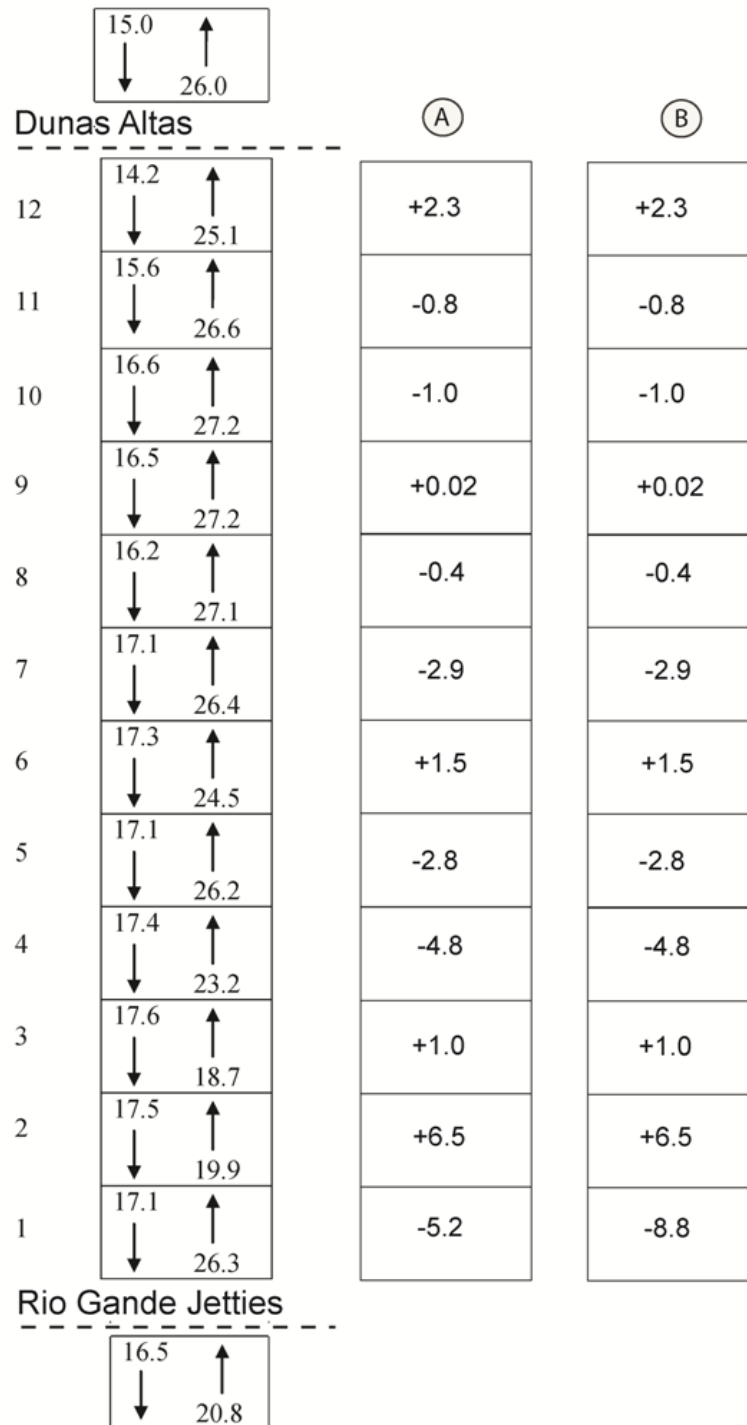


Figure 7 – Sediment budget by littoral drift rates from equation (1): A) historical balance before the jetties and B) after the presence of physical structure, without the input of south coast drift.

Sub-cells 2, 3, 6, and 12 had positive sediment budgets throughout the period from 1998 to 2009 and were classified as sandy sediment sinks. Sub-cells 1, 4, 5, 7, 10, and 11 showed negative budgets, being locations with a prevalence of the erosional component, and were classified as sediment sources. Sub-cells 8 and 9 showed different behavior depending

on the equation used, but the volume variation was very small, which demonstrated the stability in the balance of these sub-cells (Tab. 4).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eq. (1)	-8.8	6.5	0.98	-4.8	-2.8	1.5	-2.9	-0.38	0.02	-1	-0.8	2.3
Eq. (2)	-3.5	2.1	0.2	-1.7	-0.8	0.4	-0.9	0.08	-0.04	-0.4	-0.05	0.9
Eq. (3)	-2.8	1.3	0.08	-1.1	-0.4	0.2	-0.7	-0.03	0.09	-0.3	-0.1	0.7

Table 4. Volumes of eroded sediments (-) and deposited (+) in each sub-cell between 1998 and 2009 ($\times 10^6$ m³), from littoral drift rates.

The sediment budget results showed alternating erosional and depositional trends in the same sub-cell depending on the season of the year, mainly in 7, 8, 9, 10, and 11 (Tab. 5), located between the two most expressive shoreline inflections on the Mostardas and Dunas Altas beaches. This information revealed that the regional sediment budget is also controlled by the seasonality of the wave parameters, causing changes in the classification of the sub-cells from sandy sediment sources to sinks according to the season. Thus, it was concluded that the coastal dynamics in these locations were more complex than in other sub-cells that did not show seasonal variation.

A negative residual value was found in the sediment budget once the eroded volume along the beach system exceeded the deposited volume. This difference is more than 10 million m³ using equation (1) and 3.7 and 3.3 million m³ using equations (2) and (3), respectively. Part of this deficit is caused by the Rio Grande jetties, which prevents the transfer of sediments coming from the south coast into sub-cell 1, and another cause is the sediment transfer from sub-cell 12 toward the north coast. If the Rio Grande jetties did not exist, the littoral drift rates to the NE in the southernmost segment of sub-cell 1 (Fig. 7) would have reduced the negative residual result to -6.5 million m³ using equation (1) and -1.7 and -1.5 million m³ using equations (2) and (3), respectively.

4.4. Sediment Dynamics of the RS Mid-Coast

Sub-cell 1, located in the extreme south of the area, is the greatest source of sediments for the other sub-cells, except in the summer, when it acted as a sink due the net littoral drift reversal to the SW. Sub-cell 2 is the largest sediment sink and had depositional behavior between 1998 and 2009, but the development of an expressive dune field is not observed in this stretch of beach due to its parallel orientation with the NE predominant wind. Sub-cell 3 also behaved as a sink, except during the fall months, when it had an erosion resultant. Sub-

cells 4 and 5 behaved as sediment sources for the other sub-cells throughout the investigated period and correspond to sections with the largest eroded volumes. Farol da Conceição is found in this region, a place known for the highest erosion rates of the mid-coast (Lopes *et al.*, 2008). Sub-cells 6 and 12 showed a depositional predominance throughout the period, serving as a sink for sediments eroded from the sub-cells located further south.

Sub-cells 7 to 11, located between the Mostardas and Dunas Altas beaches, showed major variability in their classification as sediment sources or sinks according to the season. Due to the high oblique angle of these beaches in relation to the NE wind, they acted as sediment sources to feed the extensive dune field. Sub-cell 7 in the spring months (September to December), sub-cell 8 in the winter (June to September) and summer months (December to March), sub-cell 9 in the fall (March to June) and summer months, sub-cell 10 in the spring months, and sub-cell 11 in the winter months were classified as sediment sinks, indicating the strong seasonality of the mid-coast sediment dynamics.

The geomorphological indicators of Farol da Conceição, located between sub-cells 4 and 5, the dune field widening between sub-cells 6 to 8 and 10 to 12 and the geoindicators observed by Long & Paim (1987) and Toldo *et al.* (2006) were consistent with the results obtained in the sediment budget and respective littoral sub-cell classifications as sediment sources or sinks.

Toldo *et al.* (2006) and Lopes *et al.* (2008) have observed, through the mapping of shoreline mobility and littoral drift estimates, that the mid-coast of RS has high rates of erosion, especially in beaches located to the south of Mostardas. These authors have determined that the sediments removed from these locations are deposited in the zones with greater shoreline inflection, between the Mostardas and Dunas Altas beaches, in a process that leads to natural beach enlargement caused by the littoral drift jam. Thus, these beach deposits have become an important source of sediments for the dune field.

In the results of the sediment budget, negative residuals of 6,499,640.21 m³ (equation 1), 1,692,662.87 m³ (equation 2), and 1,460,266.53 m³ (equation 3) were found when disregarding the physical barrier of the Rio Grande jetties. In other words, there is a natural deficit of sediments resulting from the difference between the eroded and deposited volumes in each sub-cell, indicating that the mid-coast has naturally significant shoreline mobility and high erosion rates.

The data obtained also allowed for the estimation of the sand supply rate from the beach system to the dune field. Thus, if the volume of the existing sand in the dune field resulted entirely from the beach system and if the residual determined in the sediment budget,

without considering the Rio Grande jetties, was entirely available for these aeolian deposits, then the transported volume and necessary time for the formation of this extensive reservoir of sandy sediments could be found. The sand volume in the dune field was measured at 4,199,568,589.49 m³ and was divided by the sediment budget residual using equation (1), yielding an estimated annual volume transported by the wind of 541,636.68 m³. Therefore, it is possible to state that the minimum time necessary to generate this reservoir is approximately 7.7 ka. This value is consistent with the studies of Dillenburg *et al.* (2006) and Martinho *et al.* (2008) on the genesis of aeolian deposits of Holocene barrier IV, with estimated ages between 7 and 8 ka. However, the annual sediment input obtained from equations (2) and (3) is approximately 141,000.00 m³ and, with this supply rates, would need to be 29 ka for the formation of mid-coast dune fields.

5. Conclusions

After analyzing the results, we conclude that the coastal dune field volume is 4,199,568,589.49 m³. Approximately 3.57 billion m³ is located between the two most expressive shoreline inflections, in the Mostardas and Dunas Altas beaches, represented by sub-cells 6 to 12.

Additionally, it was possible to estimate the annual aeolian supply rate of sediments toward this reservoir based on the residual volume of the sediment budget and the sand volume contained in the dune field. In addition, it is possible to conclude that the littoral drift rates obtained from the CERC formula (equation 1) is consistent with the minimum reservoir age, which is approximately 7.7 ka.

The regional littoral drift is bidirectional with an alternating direction in most sub-cells, especially those with higher angles. Additionally, a net littoral drift to the SW was observed in sub-cells further south, contrary to the regional pattern in the years of 1998, 2000, 2001, 2004, and 2008. The reversals net littoral drift is related to long-term coastal processes and is strongly controlled by the regional cyclogenesis.

The classifications of sub-cells 7 to 11, located between the greatest shoreline inflections, changed between the fall, winter, spring, and summer months, demonstrating the strong seasonal control in the mid-coast sediment budget. The widening of the beach system and the largest volumes in the dune field are observed at these sites, which serve as an important sediment source for the mid-coast reservoir.

The residual sediment budget showed that the mid-coast is naturally subject to erosion, and the building of the Rio Grande jetties accentuated this trend through the interruption of the sediment supply from the south coast.

References

- ANTHONY, E. J., VANHEE, S., & RUZ, M. H. 2006. Short-term beach-dune sand budgets on the north sea coast of France: sand supply from shoreface to dunes and the role of wind and fetch. *Geomorphology*, 81: 316-329.
- ARAÚJO, C. E. S., FRANCO, D., MELO, E. & PIMENTA, F. 2003. Wave regime characteristics of the southern Brazilian coast. International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka. Proceedings. Paper 97. CD-ROM.
- BOWEN, A. J. & INMAN, D. L. 1966. Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arquello, California. U.S. Army Coastal Engineering Research Center. P.41.
- CODINOTTO, J. O., DRAGANI, W. C., MARTIN, P. B., SIMIONATO, C. G., MEDINA, R. A. & ALONSO, G. 2012. Wind-wave climate change and increasing erosion in the outer Río de la Plata, Argentina. *Continental Shelf Research*, 38: 110-116.
- COOPER, N. J., HOOKE, J. M. & BRAY, M. J. 2001. Predicting coastal evolution using a sediment budget approach: a case study from southern England. *Ocean & Coastal Management*, 44: 711-728.
- CORREA, I. C. S. 1996. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. *Marine Geology*, Amsterdam-Holanda, v. 130, n.1/2, p. 163-178.
- DILLENBURG, S. R., TOMAZELLI, L. J., HESP, P. A., BARBOZA, E. G., CLEROT, L. C. P. & SILVA, D. B. 2006. Stratigraphy and evolution of a prograded, transgressive dune field barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*. Res. SI 39, 132–135.
- FIGUEIREDO, S. A. & CALLIARI, L. J. 2006. Washouts in the central and northern littoral of Rio Grande do Sul State, Brazil. Distribution and implications. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 366-370.

FRIHY, O. E. & DEWIDAR, K. M. 2003. Patterns of erosion/sedimentation, heavy mineral concentration, and grain size to interpret boundaries of littoral sub-cells of the Nile Delta, Egypt. *Marine Geology*, 199: 27-43.

HERBICH, J. B. 2000. *Handbook of Coastal Engineering*. McGraw-Hill, New York.

KAMPHUIS J. W. 1991. Alongshore sediment transport rate. *Journal of Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering*. ASCE, 117(6), 624-641.

LIMA, S. F., ALMEIDA, L. E. S. B. & TOLDO Jr, E. E. 2001. Estimate of longshore sediment transport from wave data to the Rio Grande do Sul coast. *Pesquisas*, 28(2):99-107.

LONG, T. & PAIM, P. S. G. 1987. Modelo de evolução histórica e holocênica do estuário da Lagoa dos Patos, RS [Model of historical and Holocene evolution of the estuary of Lagoa dos Patos, RS]. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1. Porto Alegre, Anais...Porto Alegre: ABEQUA. p. 227-248.

LOPES, C. G., ZANATTA, A., TOLDO Jr, E. E. & NUNES, J. C. 2008. Mobilidade de curto prazo da linha de praia do Litoral Norte e Médio do RS [Short-term mobility of the north and mid-RS coast shoreline]. 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, PR. PAP1693.

MARTINHO, C. T., DILLENBURG, S. R. & HESP, P. A. 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dune fields from the Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology*, 256: 49-64.

PARISE, C. K., CALLIARI, L. J. & KRUSCHE, N. 2009. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(3):175-188.

PATSCH, K. & GRIGGS, G. 2008. A sand budget for the Santa Barbara littoral cell, California. *Marine Geology*, 252: 50-61.

PIANCA, C., MAZZINI, P. L. F. & SIEGLE, E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*. 58: 53-70.

RODRÍGUEZ, E. L. & DEAN, R. G. 2009. A sediment budget analysis and management strategy for Fort Pierce Inlet, Florida. *Journal of Coastal Research*, 25(4): 870-883.

ROSATI, J. D. 2005. Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*. 21(2):307-322.

ROSATI, J. D. & KRAUS, N. C. 2001. Sediment budget analysis system (SBAS). ERDC/CHL CHETN-XIV-3, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

SIEGLE, E. & ASP, N. E. 2007. Wave refraction and long shore transport patterns along the southern Santa Catarina Coast. *Brazilian Journal of Oceanography* 55(2):109–120.

STRAUCH, J. C., CUCHIARA, D. C., TOLDO Jr, E. E. & ALMEIDA, L. E. S. B. 2009. O padrão das ondas de verão e outono no litoral sul e norte do Rio Grande do Sul [The wave pattern in summer and autumn for south and north coast of Rio Grande do Sul]. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 14(4): 29-37.

TOLDO Jr, E. E., NICOLODI, J. L., ALMEIDA, L. E. S. B., CORRÊA, I. C. S. & ESTEVES, L. S. 2006. Coastal dunes and shoreface width as a function of longshore transport. *Journal of Coastal Research, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium*. SI39:390-394.

TOLMAN, H. L. 1997. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.

TOLMAN, H. L. 1999. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.

TOMAZELLI, L. J. 1993. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil [Wind regime and migration rate of the coastal aeolian dunes of Rio Grande do Sul, Brazil]. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, v. 20, n.01, p. 18-26.

TOMAZELLI, L. J., DILLENBURG, S. R. & VILLWOCK, J. A. 2000. Late quaternary geological history of the Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30 (3):474-476.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center / CERC, 1984. *Shore Protection Manual*. 4ed., Vol (1). Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. USA. 208 p.

VAN RIJN L. C. 2001. Longshore sediment transport, Report Z3054. Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

VAN RIJN, L. C. 2002. Longshore sand transport. 28th ICCE. Cardiff, Wales, United Kingdom 2006.

VAN RIJN, L. C. & BOER, S. 2006. The effects of grain size and bottom slope on sand transport in the coastal zone. International Conference on Coastal Engineering, San Diego, USA.

ATA Nº 647

A comissão abaixo assinada tendo examinado a Dissertação de Mestrado do aluno **LUCAS MARCHI DA MOTTA**, intitulada “**BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL**”, atribui os seguintes conceitos:

Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein (Universidade Federal de Santa Catarina)

CONCEITO: “B” (BOM)

Prof. Dr. Ernesto Mauricio González Rodrigues (Instituto de Hidraulica Ambiental, Universidad de Cantabria - Espanha)

CONCEITO: “B” (BOM)

Prof. Dr. Eduardo Siegle (Instituto Oceanográfico – Universidade de São Paulo)

CONCEITO: “B” (BOM)

Porto Alegre,

Homologação pela Comissão de Pós-Graduação,	
Ata nº	Data:
Conceito Final:	
Rubrica:	

Parecer – Dissertação de Mestrado

Título: Balanço de sedimentos arenosos no litoral médio do Rio Grande do Sul

Autor: Lucas Marchi da Motta

Orientador: Dr. Elírio E. Toldo Jr.

Examinador: Dr. Eduardo Siegle

Conceito: Bom (B)

PARECER

Através de estimativas do transporte longitudinal de sedimento e a relação com o volume subaéreo de sedimentos, o trabalho avalia o balanço de sedimentos no litoral médio do Rio Grande do Sul. O trabalho é apresentado na forma de artigo submetido, precedido por uma introdução e revisão bibliográfica.

De forma geral, a dissertação está bem estruturada, descrevendo o trabalho de forma objetiva, tendo como corpo principal o manuscrito submetido.

Abaixo listo algumas observações de acordo com a estrutura da dissertação:

Resumo

Poderia ressaltar no resumo a maior conclusão/relevância do trabalho. Apesar de extenso, o resumo apresenta alguns resultados encontrados, mas não destaca a sua importância. O resumo deveria evitar citações e se concentrar nos principais aspectos do trabalho desenvolvido.

Introdução

A introdução apresenta uma revisão sobre a área de estudo. Nessa parte introdutória, a motivação/importância e os objetivos do trabalho deveriam ser ressaltados. De forma muito discreta, o objetivo do trabalho é apresentado no segundo parágrafo da página 11; no entanto, acredito que um maior destaque deveria ser dado na definição dos objetivos.

Revisão bibliográfica

Termos em inglês deveriam apresentar a sua tradução (e.g. inlets; Southern Oscillation Index; Interdecadal Pacific Oscillation).

Manuscrito submetido

Quanto a estrutura do artigo, acredito que principalmente a separação dos itens “resultados” das “discussões” favoreceria a sua melhor compreensão. Na forma em que estão apresentados, os resultados são descritos, mas a discussão fica confusa e não permite a compreensão de diversas relações abordadas, como por exemplo, o volume das dunas com o balanço sedimentar regional. A melhor definição das escalas de abordagem também poderia facilitar o desenvolvimento da discussão.

Em relação aos métodos utilizados, questiono a utilização de um ponto bastante costeiro para a extração dos dados de ondas do NWW3. Nessa posição, com profundidades entre 20 e 30 m, as ondas já se apresentam bastante transformadas. Esse ponto de extração de dados parece mais apropriado para estudos mais locais (e.g. jato costeiro), mas tem suas limitações em relação a análise de maior escala. Pontos mais externos seriam mais apropriados nessa análise, permitindo inferir o clima de ondas para a região de interesse. Esse ponto certamente não pode ser considerado como sendo “oceânico” (conforme mencionado na página 30 (segundo parágrafo)).

No trabalho, essas informações do clima de ondas já transformado foram assumidas como sendo representativas do clima de ondas ao largo, e posteriormente transformados através de equações simplificadas para o clima de ondas local. A equação aplicada, que assume contornos batimétricos paralelos e com distribuição homogênea apresentam uma série de limitações que, em conjunto com a utilização de ondas já transformadas, podem alterar significativamente os resultados encontrados. Essas limitações poderiam ser minimizadas através da utilização de um ponto mais afastado da costa para a extração dos resultados de ondas do modelo global e a aplicação de um modelo numérico de propagação de ondas considerando a batimetria regional, permitindo a propagação de ondas ao largo para a região costeira.

Essas limitações, que podem resultar em alterações significativas das quantidades de transporte longitudinal para a área de interesse, e devem ser ao menos listadas como limitações do método empregado.

As conclusões do manuscrito devem destacar de forma mais enfática as maiores descobertas e as suas implicações para a dinâmica costeira regional.

Comentário geral

O candidato demonstrou através do trabalho apresentado a sua capacidade de conduzir um trabalho científico com a definição de objetivos e aplicação de técnicas para alcançá-los. O trabalho possui mérito e acredito que, com as devidas revisões, pode ser submetido para publicação e contribuir com o conhecimento da dinâmica costeira da área de interesse.

São Paulo, 12 de março de 2013.



Prof. Dr Eduardo Siegle
Instituto Oceanográfico
Universidade de São Paulo

ANEXO I

Título Dissertação: *BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL*

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autor: LUCAS MARCHI DA MOTTA

Orientador: Prof. Dr. Elírio Enerstino Toldo Junior

Examinador: Antonio Henrique da Fontoura Klein

Data: 27/02/2012

Conceito: B

PARECER

A apresentação da dissertação no formato de trabalhos científico é uma inovação muito boa, que visa aumentar a produtividade do programa e visa socializar o conhecimento desenvolvido de forma rápida. Entretanto, devido à falta de espaço para textos mais elaborados, muitas vezes o autor acaba apenas fazendo citações, principalmente no que tange a metodologia, o que pode prejudicar a análise do trabalho em si. Desta forma, considero que não há informações suficientes para que o trabalho seja reproduzido na sua íntegra com base na descrição metodológica apresentada, o que é uma das condições para um trabalho científico. Justifico assim o meu conceito.

Adicionalmente segue abaixo alguns comentários e sugestões que devem ser levadas em consideração:

Revisão

- Na revisão inicial apresentada falta um fechamento por parte do autor, ou seja, este deveria ter apresentado um sumário de suas principais conclusões sobre o tema apresentado;
- Senti falta de citações bibliográfica de Nicolas Kraus. Este desenvolveu uma série de trabalhos sobre transporte de sedimentos em praias dissipativas, bem como da tese de doutorado do José Fontoura (IG-UFRGS) que mediu e calculou transporte de sedimentos em praias dissipativas do Rio Grande do Sul. Ou seja, os valores obtidos foram similares aos dele?
- As magnitudes calculadas foram similares para o mesmo tipo de praias em outros estudos?
- Ainda sobre a classificação espaço-temporal dos experimentos, há pelo menos duas bem clássicas e citadas na literatura que poderiam ter sido utilizadas. Nicolas Kraus (Macro, Meso e Micro escala) e de Peter Cowell e Peter Roy (Geológica, Histórica, Eventos, Instantânea).

Trabalho Científico Submetido:

- Na metodologia não ficou claro:

1) Onde e como foi obtido os dados de ondas do WWIII, como latitude, longitude, profundidade. Apenas foi apresentada uma figura indicando o local próximo a costa. Normalmente os dados do WWIII são gerados para águas



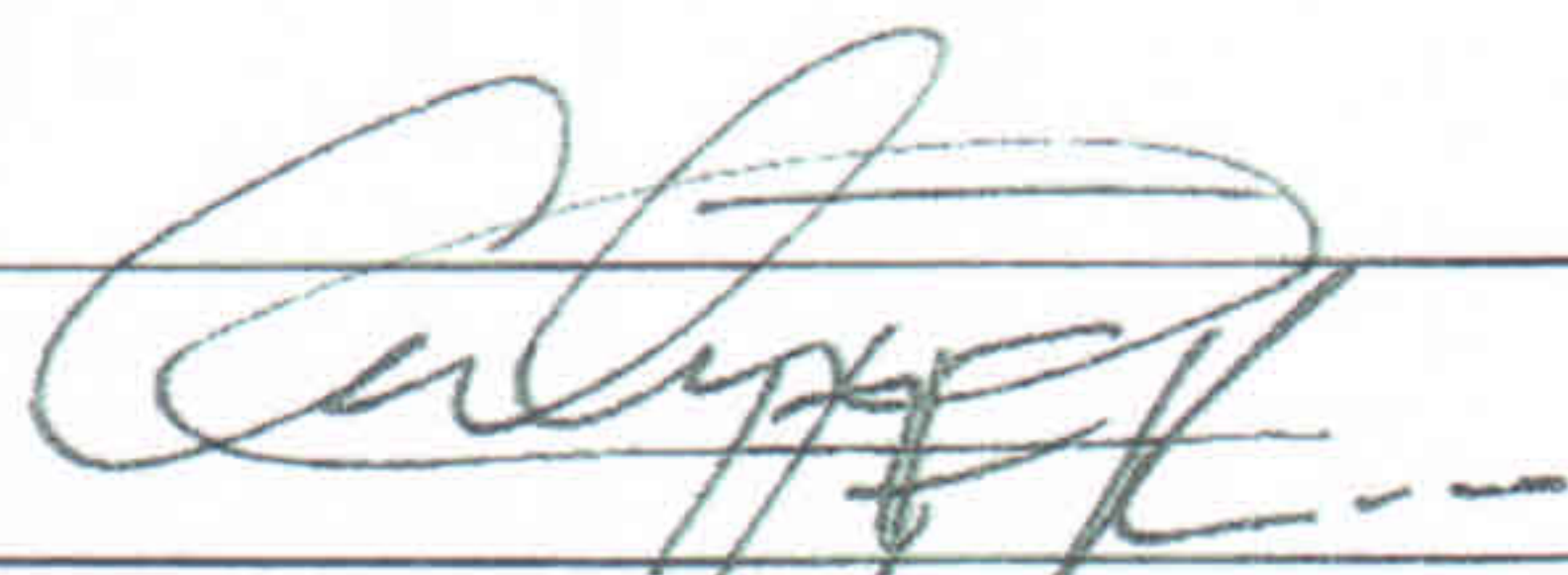
profundas.

2) Não ficou claro o método de transferência de dados de ondas de águas profundas para águas rasas e zona de surfe. Necessita de uma explicação, apesar de citar a fonte da metodologia utilizada. A batimetria necessita ser homogênea na metodologia ou não, já que considera a teoria linear de ondas? Somente *shoaling* foi utilizado ou refração, perda de energia por atrito?

3) Na metodologia para cálculo de volume de areia no campo de dunas, deveria ter citado os métodos e não os softwares utilizados. Qual foi método de interpolação utilizado, por exemplo?

4) Ao comparar dados de transporte na zona de surfe, com material acumulado nas dunas, não estaria comparando o transporte que passa com o que fica retido? Ou seja, coisas diferentes? Bem como comparando processos em escalas diferentes?

Assinatura:



Data:

26/02/2013

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS NO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL"

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autor: LUCAS MARCHI DA MOTTA

Orientador: Prof. Dr. Elirio Ernestino Toldo Junior

Examinador: Ernesto Mauricio González Rodrigues

Data: Outubro 11/2013

Conceito: B (BOM)

PARECER:

Es una tesis (dissertação), se hace un análisis de la Variación del transporte Longitudinal de Sedimentos en la zona del Litoral medio de Rio Grande do Sul (RS).

Es una Primera Aproximación al Problema, que necesita mejorar ciertos aspectos como son:

1. El Punto de la Serie de oleaje w_{III} es muy cercano a la Costa $h=25m$, el cual no es representativo para extrapolarlo en otros puntos de la Costa. Este punto inicial debe estar en profundidades indefinidas.

2. Los datos de recalculis) no han sido validados lo cual incorpora una incertidumbre a los datos de entrada.

3. La Característica de la Costa, conduce a procesos en la Propagación del oleaje, que no son adecuadamente simulados, propagando por Snell en una batimetría recta y paralela. Es necesario propagar con batimetría real y modelos numéricos de Propagación.

4. No se ~~ha~~ hablan del parámetro de Calibración K_1 en la Ecuación del CERC, no se describe en que contexto se va seleccionar.

5. No se analiza las distribuciones de transporte (valores medios y varabilidad) en las diferentes Escalas

6. No se han validado los resultados con datos de campo, batallas hechas o Variedad de línea de Carga de la Leyo de la Costa, que permitan estimar a partir de los datos de campo el transporte litológico y contrastarlo con los datos obtenidos

En conclusión, existen una gran cantidad de incertidumbres en los datos utilizados y en la metodología seguida por el cálculo del transporte litológico. Sería necesario llevar a cabo una metodología más precisa, utilizando modelos numéricos de propagación, batallas real y datos de control estadístico. No obstante, este trabajo cumple con los objetivos de formación del Estudiante, y se ha llevado a cabo una gran cantidad de

Assinatura:

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

Data:

oct 11 de 2013

Trabajo