

## **Capítulo XVII**

### **USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA CARACTERIZAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSOS PROVENIENTES DE SANGRADOUROS**







## USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA CARACTERIZAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSOS PROVENIENTES DE SANGRADOUROS

Veridiana Silva Herreira<sup>1</sup>, Miguel da Guia Albuquerque<sup>1,2</sup>, Tainã Costa Peres<sup>3</sup>, Marine Jusiane Bastos da Silva<sup>4</sup>, Breno Mello Pereira<sup>5</sup>, Deivid Leal Alves<sup>6</sup>; Gilberto Rech<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande, Avenida Itália, km 08, Rio Grande, Rio Grande do Sul, CEP 96203-900, <sup>1</sup>veridianaherreira@gmail.com, <sup>2</sup>miguel.albuquerque@riogrande.ifrs.edu.br

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Rua Engenheiro Alfredo Huch, 475, Rio Grande, Rio Grande do Sul, CEP 96201-460, <sup>2</sup>miguel.albuquerque@riogrande.ifrs.edu.br (autor correspondente)

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, CEP 91540-000, tainacperes@gmail.com

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, CEP 91540-000, marinebsilva@gmail.com

<sup>5</sup>Bacharelado em Engenharia Geológica da Universidade Federal de Pelotas, Rua Gomes Carneiro, 1, Pelotas, Rio Grande do Sul, CEP 96055-630, brenomello178@gmail.com

<sup>6</sup>Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Rua General Mendes de Moraes, 370, Jardim, Mato Grosso do Sul, CEP 79804-960, dclealalves@gmail.com

<sup>7</sup>Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, Avenida Itália, km 08, Rio Grande, Rio Grande do Sul, CEP 96203-900, givrech86@gmail.com

### RESUMO

Esse estudo se propõe a caracterizar a concentração de sólidos suspensos provenientes de sangradouros, com uso de imagens de satélite. Os sangradouros são corpos d'água responsáveis pela drenagem pluvial acumulada no campo de dunas, que acabam por causar descontinuidades no cordão de dunas frontais. O estudo foi conduzido em dois sangradouros situados no Balneário Cassino (estado do Rio Grande do Sul), sul do Brasil. A partir de dados de sensoriamento remoto foi possível realizar uma correlação entre as mudanças ocorridas na morfologia praial e a contribuição sedimentar do sangradouro. Tendo em vista que os sangradouros assumem um papel de destaque no escoamento do excedente hídrico proveniente de altas precipitações, um comparativo entre as migrações da calha do sangradouro, as taxas de aporte sedimentar, condições atmosféricas e regime pluviométrico servirão de subsídio para os gestores municipais, no que diz respeito ao manejo dessas feições.

Palavras-chave: Concentração de sólidos suspensos; Geomorfologia costeira, Geoprocessamento

### ABSTRACT

This study proposes to characterize the concentration of suspended solids from washouts, using satellite images. The washouts are bodies of water responsible for the accumulated rainfall in the dune field, which end up causing discontinuities in the frontal dune string. The study was conducted in two spillways located in Balneário Cassino (Rio Grande do Sul state), southern Brazil. Based on remote sensing data, it was possible to establish a correlation between changes in beach morphology and the sedimentary contribution of the washout. Bearing in mind that the spillways assume a prominent role in the flow of excess water from high rainfall, a comparison

between the migrations of the spillway gutter, the sediment input rates, atmospheric conditions and rainfall regime will serve as a subsidy for municipal managers, with regard to the management of these features.

Keywords: Concentration of suspended solids, Coastal geomorphology, Geoprocessing.

### INTRODUÇÃO

As zonas costeiras estão incluídas entre os ambientes mais dinâmicos de nosso planeta, pois são áreas frequentemente modificadas por meio de variações energéticas causadas por processos naturais de diferentes escalas temporais (LÉLIS, 2003). Independente de alguma situação adversa, essas regiões se mantêm atrativas, sendo intensamente ocupadas por todas as classes sociais, com a instalação de equipamentos públicos e desenvolvimento de atividades econômicas tanto na porção marítima quanto na terrestre (BARRAGÁN, 2016).

No Brasil, a zona costeira configura-se como patrimônio nacional, pois constitui uma região privilegiada quanto aos recursos naturais, econômicos e humanos. A dinâmica costeira é a principal responsável pelos processos de erosão e/ou deposição nessas regiões. Os processos que causam alterações morfológicas na costa são os de transporte de sedimentos de forma que, estas mudanças irão ocorrer indefinidamente até que eventualmente a entrada de energia seja dissipada sem qualquer transporte sedimentar (PETHICK, 1984). A rapidez com que as alterações nesses ambientes acontecem torna necessária a obtenção

de dados precisos e de forma rápida. Ao longo da faixa litorânea do Rio Grande do Sul, são encontrados cursos d'água denominados sangradouros, os quais se situam, normalmente, na zona posterior à linha de dunas frontais ou entre cordões litorâneos (SERPA, 2008).

Os sangradouros, os quais podem ser popularmente conhecidos como arroios, exercem a função de conduzir, em direção ao mar, o acúmulo pluviométrico formado nas depressões ou banhados. Segundo Serpa (2008), estas feições se desenvolvem preferencialmente em praias cuja morfologia da região de pós-dunas apresenta tendência a acumular materiais e reter mananciais hídricos. Nesse contexto, o presente estudo buscou caracterizar os indicadores da contribuição sedimentar dos sangradouros da rua Pelotas e do Campo da Base, situados na praia do Cassino, município do Rio Grande, sul do Brasil, de forma a correlacionar os dados de aporte sedimentar do sangradouro com a variabilidade espaço-temporal do setor litorâneo monitorado. Os dois sangradouros foram escolhidos por terem características distintas, dentre as quais se destacam a presença de áreas com e sem urbanização, pela proximidade com o campo de dunas, e por terem servido de referência para outros estudos ligados a geomorfometria, e uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) (PEREIRA; BONETTI, 2018).

O conhecimento do comportamento da direção e intensidade dos ventos é fundamental para que se tenha um melhor entendimento da dinâmica do ambiente praias quanto ao transporte, a deposição e a remoção de sedimentos (VILLWOCK et al., 1996). Os ventos na Planície Costeira do Rio Grande do Sul estão relacionados com dois anticiclones, o semifixo do Atlântico Sul e o Polar. A alternância entre esses dois anticiclones faz com que predomine vento de NE nos meses de setembro a fevereiro (primavera e verão) e ventos de SW de abril a agosto (outono e inverno) (CALLIARI; KLEIN, 1993; VILLWOCK et al., 1996).

A praia do Cassino (Figura 1) é uma costa dominada por ondas, com predominância de sedimentos de granulometria areia muito fina, e ventos predominantes são do quadrante Nordeste

(NE) (CALLIARI; SPERANSKI; BOUKAREVA, 1998). Em termos morfodinâmicos, a localidade é classificada como sendo uma praia dissipativa, segundo classificação de Wright e Short (1984).

O transporte de sedimentos é controlado pela ação das ondas do quadrante sul, com deriva litorânea NE e, o regime pluviométrico é caracterizado por chuvas intensas ao longo do ano, principalmente no período do inverno (GONZAGA et al., 2020). Esses eventos são relacionados a processos hidrológicos complexos de descarga estuarina, transporte sedimentar da Bacia de Drenagem da Lagoa dos Patos e consequente exportação deste material para a região costeira adjacente à desembocadura da laguna (MARTINS; VILLWOCK; CALLIARI, 1978; BARLETTA; CALLIARI, 2000; MARQUES et al., 2006).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram realizados levantamentos bibliográficos referentes as temáticas: sangradouros, sensoriamento remoto e sedimentos em suspensão. Para esse estudo foi realizada uma revisão bibliográfica junto as ferramentas digitais *Science direct, Scielo e AGU Journals*.

Para determinação de um indicador de aporte de sedimentos oriundos dos sangradouros estudados foi empregada a determinação do índice de Concentração de Sólidos Suspensos (CSS) presentes nas águas costeiras adjacentes a desembocadura dos sangradouros analisados. O CSS foi derivado a partir do comportamento espectral mensurado para águas com presença de sedimentos em suspensão apresentado por Jensen (2011), onde foi processado um conjunto de imagens do ano de 2020 adquiridas pelo sensor *Multi Spectral Instrument* (MSI) a bordo dos satélites da série *Sentinel-2* (A e B) da ESA. O sensor MSI da missão *Sentinel-2* (S2) adquire 13 bandas espectrais com resolução espacial de 10, 20 e 60 metros. Considerando a órbita combinada dos dois satélites (S2A e S2B), os dados MSI possuem um ciclo de revisita inferior a 5 dias.

As imagens foram obtidas através do portal do Serviço Geológico Americano - USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Os dados são disponibilizados sem custo e com nível de



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

processamento L-1C, o que inclui correções radiométricas e geométricas básicas, abrangendo o cálculo de reflectância no Topo da Atmosfera (TOA), a orto-retificação das bandas baseada no modelo PlanetDEM90, e o registro geoespacial com precisão subpixel no sistema de referência WGS84 e coordenadas métricas, *Universal Transversa de Mercator* (UTM) (CHRISTOPHERSON et al., 2012).

Esses dados passaram por uma etapa de pré-processamento que incluiu a calibração radiométrica das bandas e a conversão da reflectância TOA para Reflectância de Superfície (BOA), realizada pelo *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), *plugin* disponível no software QGIS. O SCP utiliza o método *Dark Object Subtraction* (DOS). A etapa final de pré-processamento consistiu no ajuste do sistema de coordenadas das cenas para UTM, Zona 22 Sul, adotado como base para este estudo. Após o pré-processamento, foi aplicado o cálculo da CSS para cada cena, obtendo-se assim um indicado volume

sedimentar aportado pelos referidos sangradouros.

A Concentração de Sólidos Suspensos (CSS) é a quantidade de materiais sólidos em suspensão em um fluido. Os materiais em suspensão podem ser partículas inorgânicas, restos de plantas e/ou animais, resíduos industriais e urbanos, dentre outros materiais. No caso das interações desses materiais com as imagens Sentinel-2, a reflectância da banda espectral do vermelho (B5) é proporcional a concentração de sólidos em suspensão. Para a determinação de informações sobre propriedades de uma massa d'água, empregando dados de sensoriamento remoto, se considerou o processo de atenuação da água sobre o fluxo radiante solar incidente.

Para as estimativas CSS foi utilizada a premissa proposta por Jensen (2011) e validada pelos resultados apresentados por Peixoto et al. (2018), onde considera-se a correlação não-linear entre a reflectância da banda do vermelho (comprimentos de onda com interação altamente dependente do material suspenso da água) e a CSS,

resultando, dessa forma, na Equação 1:

$$CSS = \left\{ \left| \frac{\ln \frac{B5}{C1}}{C2} \right| \right\}^1$$

Onde, B5 (valor central de 0,705  $\mu\text{m}$ ) corresponde a banda espectral do vermelho próximo, com resolução espacial de 20 metros; C1 e C2 são constantes propostas por Peixoto et al. (2018) para saída em  $\text{mg.L}^{-1}$ ;  $\ln$  é a função logaritmo natural; e  $Abs$  é a função Absoluto, assegurando que a imagem-resultado exibirá valores absolutos entre 1 e -1.

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Os sólidos presentes na água podem estar distribuídos da seguinte forma: em suspensão (sedimentáveis e não sedimentáveis) e dissolvidos (voláteis e fixos). Sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração. Sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a 10-3  $\mu\text{m}$  e que permanecem em solução mesmo após a filtração (SUGUIO, 1973). A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica.

Para a calibração das estimativas de CSS obtidas indiretamente via dados de sensoriamento remoto orbital (i.e., imagens *SENTINEL-2 A* e *B*), foi utilizado o método de ajuste de curvas através da comparação entre dados de referência formados por dados de CSS coletados *in loco* através do sistema SimCosta (<https://simcosta.furg.br/home>), que é uma rede integrada de plataformas flutuantes ou fixas que coletam regularmente dados meteorológicos, e os dados estimados indiretamente. O método de ajuste de curvas foi empregado com a ferramenta CFTool do software Matlab® (licença IFRS), e consistiu na aplicação de modelos de regressão (linear, quadrático, cúbico, exponencial, logarítmico e polinomial) que buscaram obter através da abordagem por mínimos

quadrados, o menor erro entre o modelo e os dados.

A partir dessa implementação, foi selecionado o método logarítmico, já previsto na literatura (JENSEN, 2011) como o mais adequado para dados de CSS, compondo o método com melhor resultado nas estimativas (Figura 2).

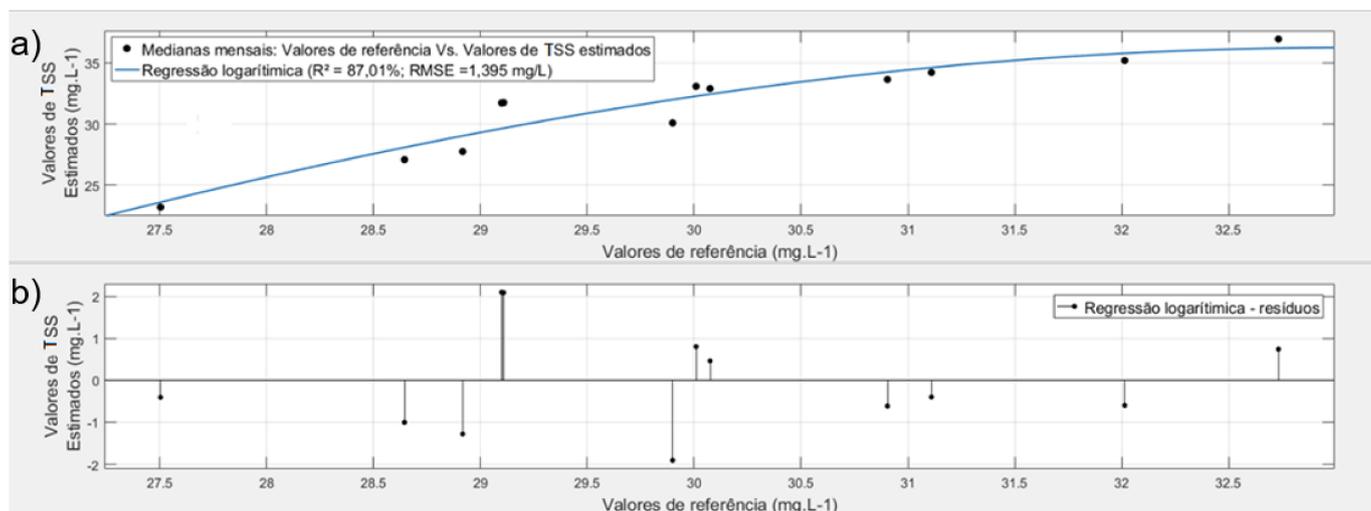
Com isso, foi obtido um modelo para calibração/conversão dos dados estimados de CSS, obtendo-se um RMSE de 1,395  $\text{mg.L}^{-1}$ , compondo um erro da ordem de 4 a 12% frente aos valores medidos localmente e apontando uma excelente consistência nas estimativas realizadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período monitorado, se observou no outono a predominância de ventos de leste e nordeste, com intensidades que variam de 2 a 6  $\text{m/s}$ . No inverno as componentes de nordeste e sudoeste são, também, as mais significativas, entretanto, é observada uma maior predominância da última, que atinge de forma mais recorrente valores entre 6 e 8  $\text{m/s}$ , tendo-se, assim, a componente de sudoeste intensificada, o que pode ser justificado pela maior frequência de passagens de sistemas frontais provenientes de altas latitudes na região. Já nas estações de primavera e verão, as componentes de nordeste e leste são mais representativas, tendo em vista a predominância da ação do Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS).

Em relação a precipitação, os dados analisados mostram que os meses com os maiores índices (acima de 100  $\text{mm}$ ) foram janeiro, julho e setembro. Já os meses com menor índice de precipitação (abaixo de 50  $\text{mm}$ ) foram junho, outubro e dezembro. Nos meses de março e abril ficaram com índice entre 50 e 100  $\text{mm}$  e no mês de setembro ficou com índice de precipitação de aproximadamente 150  $\text{mm}$ .

Em relação as variáveis intensidade do vento e Concentração de Sólidos Suspensos (CSS) (Figura 3), quando feita uma correlação estatística entre esses parâmetros, foi observada uma correlação significativa entre essas variáveis ( $R^2 = 90,65\%$ ). O erro médio quadrático ficou em torno de 0,593  $\text{mg.L}^{-1}$ . Leal Alves et al. (2020) discute que o vento pode ser identificado como o principal agente capaz de forçar o movimento do sedimento



**Figura 2.** Modelo de calibração/ conversão de dados estimados de CSS.

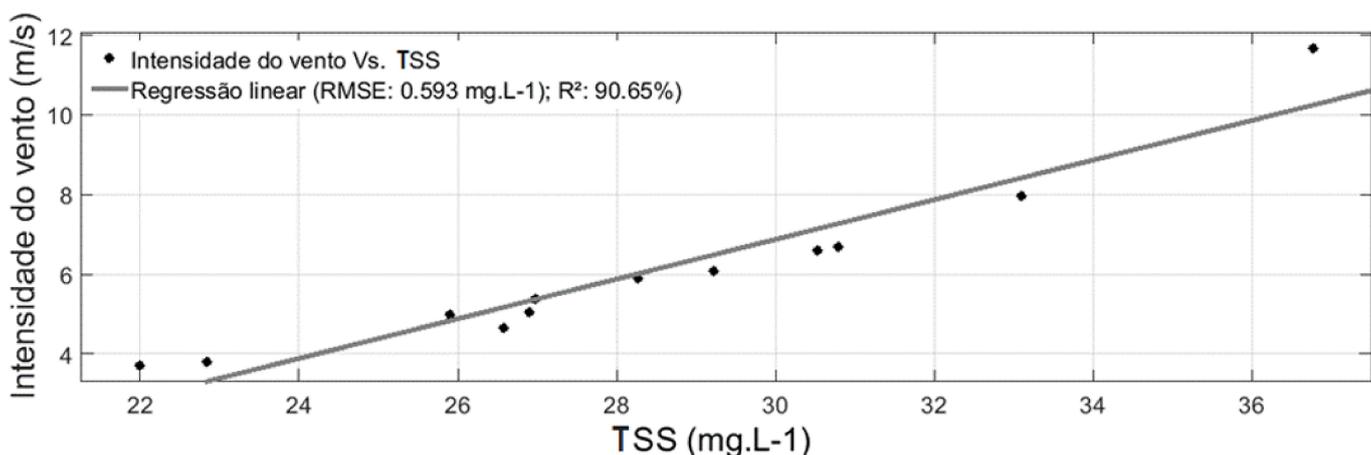
na porção subaérea da praia. Portanto, a compreensão de seus componentes, velocidade e direção, são fundamentais no entendimento do desenvolvimento de um segmento praiar. A importância dos ventos fica mais evidentes após eventos de alta energia onde, segundo Serpa et al. (2011), os sedimentos oriundos dos sangradouros acabam sendo distribuídos pela zona de espreadimento em grandes quantidades.

Na caracterização sazonal da contribuição de sólidos suspensos pelos sangradouros (Tabela I), tem-se para o sangradouro do Campo da Base, no verão, uma média de concentração de 22,96 g/L para dia 14/03/2018. No outono, a maior concentração média de sólidos suspensos foi registrada em 23/05/2018, e foi de 25,34 g/L. Na estação do inverno na data 24/07/2018, tem-se a concentração média de 23,48 g/L, e para a estação da primavera temos a concentração média 25,09 g/L na data 11/12/20018. Os dados mostram que em

termos de concentração média de sólidos suspensos, os meses de verão e outono apresentam as maiores concentrações, quando comparados aos meses de inverno e primavera.

A Tabela II mostra os dados combinados de variáveis meteorológicas e concentração de sedimentos em suspensão para o sangradouro do Campo da Base, no ano de 2018. As maiores concentrações médias são registradas para os meses de maio (25,34 g/L), junho (25,05 g/L), outubro (24,16 g/L) e dezembro (25,09 g/L). Para os dois primeiros períodos, as concentrações elevadas podem estar associadas a contribuição dos eventos extremos incidentes na costa do RS. Combinados as condições de vento SW, esses extremos meteorológicos atuam tanto na maior remoção de sedimentos do perfil praiar quanto na entrada de água, via maré meteorológica positiva, nos sangradouros.

Tendo em vista que os sangradouros tem um



**Figura 3.** Correlação entre dados de regressão linear para intensidade dos ventos e concentração de sólidos suspensos.

**Tabela I:** Dados de concentração de sólidos suspensos no sangradouro do campo da Base.

Data	Concentração máxima (g/L)	Concentração mínima (g/L)	Concentração média (g/L)	Desvio Padrão
05/01/2018	24,12	16,76	21,41	2,58
14/02/2018	24,87	17,28	21,49	2,35
14/03/2018	25,98	15,64	22,96	2,61
05/04/2018	25,71	20,35	23,55	2,17
23/05/2018	27,16	23,6	25,34	1,22
04/06/2018	26,82	23,16	25,05	1,03
24/07/2018	25,17	20,37	23,48	1,47
18/08/2018	24,08	20,34	22,64	0,99
22/09/2018	25,26	18,45	22,58	1,98
15/10/2018	25,92	20,89	24,16	1,41
09/11/2018	24,18	20,47	22,5	1,06
11/12/2018	29,31	19,96	25,09	2,88

**Tabela II:** Variáveis meteorológicas e concentração de sedimentos em suspensão das quatro estações do ano para o sangradouro do campo da Base.

Sangradouro Campo da Base				
Meses	Precipitação mensal (mm) do município do Rio Grande (2018)	Direção do Vento	Velocidade do Vento média (m/s)	TSS Concentração média (g/L)
Janeiro	110,6	NE	~3,51	21,41
Fevereiro	65,4	NE	~3,51	21,49
Março	76	SW	~3,51	22,96
Abril	82	SW	~2,78	23,55
Maio	58	SW	~2,78	25,34
Junho	8,8	SW	~2,78	25,05
Julho	227	SW	~3,09	23,48
Agosto	75,4	SW	~3,09	22,64
Setembro	147,6	NE	~3,09	22,58
Outubro	19,8	NE	~3,57	24,16
Novembro	57,4	NE	~3,57	22,50
Dezembro	46,2	NE	~3,57	25,09

papel de atenuação do impacto dos eventos extremos junto ao ambiente costeiro, estes acabam recebendo uma carga de material em suspensão considerável, proveniente da zona de surfe. Para os meses de outubro e dezembro, as altas taxas de sólidos em suspensão estão associadas a contribuição sedimentar continental, uma vez que esse sangradouro, segundo Leal Alves (2020), tem

conectividade com a rede de canais de drenagem interior.

Em relação a contribuição sedimentar da zona de surfe, Fontoura (2004) discute que o transporte longitudinal na praia do Cassino é bidirecional onde, 18% do transporte são realizados por arraste de fundo enquanto que os 82% restantes ocorrem por suspensão da coluna d'água. Quando

comparada a capacidade de sedimentos da hidrodinâmica marinha e da descarga fluvial dos sangradouros, Serpa (2013) destaca que estas diferem consideravelmente.

Para o sangradouro do campo da Rua Pelotas, a Tabela III, mostra os dados provenientes de sensoriamento remoto mostram que para a estação do verão a média dos sólidos suspensos é de 23,61g/L para dia 14/03/2018. No outono tem-se a concentração média de 24,54 g/L para o dia

23/05/2018. Para o inverno na data 04/06/2018 tem-se a concentração média de 24,14 g/L, e para a estação da primavera tem-se a concentração média 24,04 g/L na data 11/12/2018.

Quando observados os dados de CSS com as variáveis meteorológicas (direção e intensidade dos ventos) foi observado que as maiores concentrações médias de sólidos suspensos são nos meses de outono e fim da primavera, conforme a Tabela IV. A condição de vento sudoeste favorece um maior

**Tabela III:** Dados de concentração de sólidos suspensos no sangradouro da Rua Pelotas.

Data	Concentração máxima (g/L)	Concentração mínima (g/L)	Concentração média (g/L)	Desvio Padrão
05/01/2018	23,82	16,37	21,06	3,08
14/02/2018	25,08	17,65	21,67	2,39
14/03/2018	26,09	19,98	23,61	1,95
05/04/2018	25,78	19,93	23,61	2,29
23/05/2018	26,97	22,22	24,54	1,85
04/06/2018	26,53	21,57	24,14	1,71
24/07/2018	25,62	20,96	23,25	1,68
18/08/2018	25,1	19,36	22,68	1,64
22/09/2018	27,48	18,49	23,16	2,13
15/10/2018	27,4	19,96	23,64	2,07
09/11/2018	24,56	19,99	22,75	1,36
11/12/2018	27,8	19,38	24,04	3,24

**Tabela IV:** Variáveis meteorológicas e concentração de sedimentos em suspensão das quatro estações do ano para o sangradouro da Rua Pelotas.

Sangradouro rua Pelotas				
Meses	Precipitação total mensal do município do Rio Grande (2018)	Direção do Vento	Rosa dos Ventos	TSS Concentração média (g/L)
Janeiro	110,6	NE	~3,51	21,06
Fevereiro	65,4	NE	~3,51	21,67
Março	76	SW	~3,51	23,61
Abril	82	SW	~2,78	23,61
Maio	58	SW	~2,78	24,54
Junho	8,8	SW	~2,78	24,14
Julho	227	SW	~3,09	23,25
Agosto	75,4	SW	~3,09	22,68
Setembro	147,6	NE	~3,09	23,16
Outubro	19,8	NE	~3,57	23,64
Novembro	57,4	NE	~3,57	22,75
Dezembro	46,2	NE	~3,57	24,04

aporte sedimentar por parte do sangradouro da Rua Pelotas.

A baixa contribuição sedimentar do mês de novembro de 2018 está associada aos baixos índices de precipitação do período, o que contribuiu para o início do processo de fechamento do sangradouro da Rua Pelotas. Durante esse período foi evidenciado também um estrangulamento da calha do sangradouro na região próxima as dunas frontais. A concentração de sólidos suspensos máxima foi de 24,56 g/l, mínima 19,99 g/l, média 22,75 g/L, desvio padrão de 1,36. Os meses de junho e dezembro apresentaram índice de precipitação abaixo de 50 mm. Contudo, a atuação dos ventos de NE e SW, os quais são considerados como os principais responsáveis pelas mudanças ocorridas na costa do Rio Grande do Sul, podem ser apontados como o fator principal para as altas contribuições sedimentares registradas no sangradouro da Rua Pelotas.

Os baixos índices pluviométricos acabam por proporcionar um pequeno aumento no volume hídrico do sangradouro, causando como consequência o aumento do seu comprimento na face de praia, abrindo conexão com o mar. A precipitação anual não apresenta uma sazonalidade bem definida, embora ocorram taxas mais elevadas no inverno e na primavera e taxas mais baixas no verão.

Para os meses de março e abril ficaram com índice de precipitação entre 50 e 100 mm e no mês de setembro ficou com índice de precipitação de aproximadamente 150 mm. Nesses meses foram feitas as medições com drone e satélite. No outono, observa-se a predominância de ventos de leste e nordeste, com intensidades que variam de 2 a 6 m/s. Nessa estação, é observada ainda uma componente representativa de ventos de sudoeste, que atingem maiores intensidades, de até 8 m/s.

O conhecimento de como se dá o processo de drenagem das áreas interiores ao litoral é de grande importância, visto que é uma componente relevante para o entendimento das contribuições de sedimentos em suspensão na zona costeira. Quando comparadas as contribuições sedimentares dos sangradouros da Rua Pelotas e do Campo da Base, foi observado que os valores elevados de CSS para

o segundo podem estar associados a rede de drenagem da Barreira Cassino. Leal Alves (2020) destaca que a rede de drenagem interna, composta por uma rede dendrítica de drenagem e por bacias de escoamento costeiro, são responsáveis por drenar as valas das dunas em direção ao sistema praial.

Para o sangradouro do Campo da Base, o qual está ligado à esta rede de drenagem interior, os episódios de maior ou menor contribuição de sedimentos em suspensão a planície costeira vai depender do nível de precipitação. A altura do lençol freático contribui para a erosão do segmento costeiro e para ocorrência de sangradouros. Em anos de elevados índices de pluviosidade, Rheinhardt e Faser (2001) destacam que o lençol freático atinge a superfície e torna o solo completamente saturado. Essa situação, segundo Leal Alves et al. (2020), gera uma ruptura das áreas interiores que estão retendo água. Em anos onde ocorrem baixos volumes pluviométrico, o processo se inverte e o lençol freático não apresenta uma atuação ativa junto a rede de drenagem.

## CONCLUSÕES

Em relação as componentes vento e pluviosidade se conclui que para período do verão, os ventos de leste e nordeste são predominantes (velocidade variando entre 2 a 6 m/s). Contudo, a componente mais representativa é proveniente de sudoeste, com intensidade de 8 m/s. No inverno, as direções nordeste e sudoeste são as mais predominantes, com ventos também de intensidade de 8 m/s. Quando feita uma correlação estatística entre a concentração de sólidos suspensos e a intensidade dos ventos, se concluiu que estas componentes tinham uma boa correlação ( $R^2 = 90, 65\%$ ). Em termos de precipitação, os meses de janeiro, julho e setembro de 2018 (índices pluviométricos acima de 100 mm) foram responsáveis pelas maiores descargas de sólidos suspensos provenientes dos sangradouros.

Para sangradouros que possuem ligação com a rede de drenagem mais continental os dados extraídos das imagens Sentinel-2 mostraram que, os meses de verão e outono, quando associados a altos índices de pluviosidade, são responsáveis pela

condução de uma grande carga de sólidos suspensos para a praia. Para o sangradouro da rua Pelotas, as variações de concentração de sólidos suspensos encontradas variaram entre 16,37 a 27,80 g/L, e para o campo da Base foram de 15,64 a 29,31 g/L. Em termos estatísticos, a partir de uma regressão linear, foi observado que os dados coletados, quando confrontados com a intensidade dos ventos, apresentaram um erro médio quadrático (RMSE) de 0,593 g/L.

Por fim, o estudo revelou o potencial do sensoriamento remoto no monitoramento da dinâmica e distribuição espacial da concentração de sedimentos em suspensão provenientes de sangradouros. Um melhor entendimento entre as relações de reflectância espectral da água com os processos que ocorrem próximo ao litoral, bem como nos ambientes interiores, auxiliaram na estimativa da distribuição e concentração da carga de sólidos suspensos disponibilizados pelos sangradouros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARLETTA, R. C.; CALLIARI, L. J. Detalhamento dos aspectos atmosféricos e ondulatórios que determinam as características morfodinâmicas das praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, VALE DO ITAJAÍ, 2000. Anais [...], Rio de Janeiro: Do Autor. 2000, p. 168-170.

BARRAGÁN, J. M. M. Política, gestão e litoral: uma nova visão da Gestão Integrada das Áreas Litorais. Tradução: Marinez Eymael Garcia Scherer et al. Madri: Editorial Tébar Flores, 2016, 686 p.

CALLIARI, L. J.; SPERANSKI, N.; BOUKAREVA, I. Stable focus wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. *Journal of Coastal Research*, v.26, n.2, p. 19-23, 1998.

CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas em Geociências*, n. 20, v. 2, p. 48-56, 1993.

CHRISTOPHERSON, R. W. Geossistemas – Uma introdução à geografia física. 7. ed. Tradução Francisco Eliseu Aquino et al. Porto Alegre: Bookman, 2012. 726 p.

FONTOURA, J. A. S. Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da barra do Rio Grande, RS, Brasil. 2004. 223 p., Tese de doutorado (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2004.

GONZAGA, B. A. et al. Development of a low-cost ultrasonic sensor for groundwater monitoring in coastal environments: validation using field and laboratory observations. *Journal of Coastal Research*, v.95, n.SI, p. 1001-1005, 2020.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. 2. ed. Tradução de João Carlos Neves Epiphany et al., São José dos Campos: Parêntese, 2011.

LEAL-ALVES, D. C.; et al. Digital elevation model generation using UAV-sfM photogrammetry techniques to map sea-level rise scenarios at Cassino beach, Brazil. *SN Applied Sciences*, v. 2, n. 2181, p. 1-19, 2020.

LÉLIS, R. J. F. Variabilidade da Linha de Costa Oceânica Adjacente às Principais Desembocaduras do Rio Grande do Sul. 2003. 81 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia), Instituto de Oceanografia - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2003.

MARQUES, W. C. et al. A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA. 2., Rio Grande. Anais [...], Rio Grande, 2006. p.1-12.

MARTINS L. R.; VILLWOCK, J. A.; CALLIARI, L. J. A Ocorrência de Lama na Praia do Cassino. *Anais Hidrográficos*, v. 35, p. 159-170, 1978.

PEIXOTO, D. W. B.; GUASSELLI, L. A.; PEREIRA FILHO, W. Estimativa de concentração de sedimentos em suspensão a partir de imagens Landsat 8 em PCHS no rio Ivaí-RS, *Geociências*, v. 37, n. 1, p. 147 - 154, 2018.

PEREIRA, M. L. M.; BONETTI, J. Caracterização geomorfológica do relevo submarino de áreas marinhas protegidas brasileiras com base em técnicas de análise espacial. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 1, p. 127-147, 2018.

PETHICK, J. An Introduction to Coastal Geomorphology. London: Edward Arnold, 1984, 260 p.

RHEINHARDT, R. D.; FASER, K. Relationship Between Hydrology and Zonation of Freshwater Swale Wetlands on Lower Hatteras Island North Carolina, USA. *Wetlands*, v. 21, n. 2, p. 265-273, 2001.

SERPA, C. G. Morfodinâmica praial relacionada à presença de corpos de água intermitentes em duas praias da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. 2013. 131 p., Tese (Doutorado em Oceanografia), Instituto Oceanográfico - Universidade Federal do Rio Grande, 2013.

SERPA, C. G. et al. Study of the responsible factors for the closure of an intermitent washout during a storm surge, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 64, n. SI, p. 2068-2073, 2011.

SERPA, C. G. Estudo da Influência dos Fatores Climáticos, Hidrológicos e Morfológicos no Ciclo de Vida de um Sangradouro Intermitente, Praia do Cassino, Brasil. 2008. 95 p., Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2008.

SUGUIO, K. Introdução à Sedimentologia. São Paulo: Editorial Edgard Blücher, 1973, 316 p.

VILLWOCK, J. A. et al. A Transgressão Marinha Atual na Costa do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador. Anais [...], Salvador, 1996, p. 296-299.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, v.56, p. 93-118, 1984.