

## **Análise de imagens de temperatura superficial do mar (TSM) para detecção de frentes oceânicas e correlação com movimentos de tartarugas-cabeçuda (*Caretta caretta*) no sul do Brasil**

Tiago Borges Ribeiro Gandra<sup>1,2</sup>  
Christian Florian Gobel<sup>2,3</sup>  
Daniele Silveira Monteiro<sup>2,3</sup>  
Sérgio Curi Estima<sup>2</sup>  
Eduardo Resende Secchi<sup>3</sup>  
Yonat Swimmer<sup>4</sup>  
Maria Ângela Marcovaldi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS  
Rua Eng. Alfredo Huch, 465 – 96.201-469 – Rio Grande - RS, Brasil  
[tiago.gandra@riogrande.ifrs.edu.br](mailto:tiago.gandra@riogrande.ifrs.edu.br)

<sup>2</sup>Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental - NEMA  
Rua Maria Araújo, 450 – 96.206-480 – Rio Grande – RS, Brasil  
[cfgobel@gmail.com](mailto:cfgobel@gmail.com)  
[danismonteiro@yahoo.com.br](mailto:danismonteiro@yahoo.com.br)  
[sergioestima@yahoo.com.br](mailto:sergioestima@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Laboratório de Ecologia e Conservação da Megafauna Marinha - Universidade Federal do Rio Grande – FURG  
Av. Italia, km 8 – 96.203-000 – Rio Grande – RS, Brasil  
[edu.secchi@furg.br](mailto:edu.secchi@furg.br)

<sup>4</sup>National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA – NMFS  
Pacific Islands Fisheries Science Center – Estados Unidos  
[yonat.swimmer@noaa.gov](mailto:yonat.swimmer@noaa.gov)

<sup>5</sup>Fundação Pró-TAMAR  
Caixa Postal 2219, 41950-970 Salvador, BA, Brazil  
[neca@tamar.org.br](mailto:neca@tamar.org.br)

**Abstract.** Sea turtle movements are influenced and driven by marine currents. Their occurrence is determined by prey availability and sea temperature, with an apparent spatial association with frontal systems. *Caretta caretta* movements in the Western South Atlantic present seasonal patterns according to variability of sea surface temperature (SST). We analyzed daily SST data and correlated it with telemetry position of seven loggerheads incidentally captured in pair trawl fisheries, between March 2013 and October 2014. To validate SST data from the OSTIA system, we compared them with SST from telemetry data. Results showed a high correlation between measurements ( $r=0.88$ ) and absolute mean difference of  $0.52^{\circ}\text{C}$  ( $n=744$ ). The monitored turtles used mainly the continental shelf area, especially the inner portion (depth lower than 70 meters), where approximately 65% of the telemetry positions were registered. During the winter of 2014, almost all turtles moved north, possibly to avoid colder waters. Only one turtle remained in high latitudes, but moved offshore and showed a strong correlation with the northern limit of the subtropical convergence zone, without transposing the limit towards colder waters. Overall, registers were close to areas classified as oceanic fronts, with 27% directly on a frontal area (distance=0) and 42% less than 10 km from one. We verified strong spatial correlation between change in movement direction of sea turtles in the oceanic region and the occurrence of frontal systems. This indicates that the turtles possibly search for frontal areas due to food abundance, and for aiding in their displacement.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, SST, sea turtle, telemetry, sensoriamento remoto, processamento de imagens, tartarugas-marinhas, telemetria.

## 1. Introdução

A plataforma continental e região oceânica adjacente à costa do Rio Grande do Sul (RS) são uma região de alta produtividade primária devido à proximidade da Convergência Brasil-Malvinas, bem como ao aporte continental do Rio da Prata e Lagoa dos Patos. Diversos trabalhos apontam a região como uma importante área de alimentação para imaturos de tartarugas-marinhas, em especial a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), com base no grande número de encalhes (MONTEIRO; BUGONI; ESTIMA, 2004; SILVA; MONTEIRO; ESTIMA, 2011). A dieta de juvenis oceânicos desta região é composta principalmente por salpas, enquanto juvenis neríticos alimentam-se predominantemente de crustáceos, e também de moluscos e peixes (BARROS, 2010).

O movimento das tartarugas-marinhas é afetado e direcionado pelas correntes de diversas formas. O mais óbvio é através do jato central das correntes, que auxilia nas movimentações de longa distância e advecta as tartarugas para uma determinada direção, não necessariamente concordante com a direção de natação intencional destes animais (LUSCHI; HAYS; PAPI, 2003). Outros efeitos menos previsíveis e discerníveis ocorrem nas bordas das correntes principais ou em seus meandros, onde vórtices são formados com frequência, desprendem-se e são advectados promovendo mistura das águas e dissipação de energia. Estas correntes, são responsáveis pela formação de zonas frontais, criadas principalmente pela diferença advectivas presentes. Estas Zonas frontais caracterizam-se por um intenso gradiente horizontal nos parâmetros bio-físicos como clorofila, oxigênio e principalmente temperatura. O intenso gradiente que ocorre nestas zonas, faz com que a combinação de águas mais ricas em nutrientes e oxigênio, se misturem com águas mais pobres porém mais quentes, caracterizando estas zonas como áreas de maior produtividade e portanto maior oferta de alimento. Por fim, este fato irá influenciar de maneira indireta a ocorrência das tartarugas, determinanda pela disponibilidade de presas planctônicas, com maior concentração nas zonas de frontais (OLSON et al., 1994).

Os gradientes horizontais de temperatura, corrente, clorofila e abundância de presas no entorno das frentes podem fornecer um indicativo de uso dessas áreas pelas tartarugas-cabeçuda, mantendo uma associação espacial com frentes (POLOVINA et al., 2000). A movimentação de *C. caretta* no Atlântico Sul Ocidental (ASO) tem uma forte sazonalidade, forçada principalmente pela variabilidade da Temperatura Superficial do Mar (TSM) (BARCELÓ et al., 2013).

## 2. Metodologia

Sete tartarugas-cabeçuda (*Caretta caretta*), capturadas incidentalmente na pescaria de arrasto de parelha na plataforma continental do Rio Grande do Sul, entre março de 2013 e março de 2014, foram equipadas com transmissores de satélite modelo SPOT5 da *Wildlife Computers* com ciclo de programação de 24 h durante todos os dias. Os transmissores foram instalados no segundo escudo vertebral central, pois essa é a região da carapaça que fica mais exposta fora da água quando a tartaruga sobe à superfície para respirar (POLOVINA et al., 2000). A fixação dos transmissores na carapaça das tartarugas foi realizada com pedaços de fibra de vidro e resina de acordo com o protocolo utilizado pelo Projeto TAMAR/ICMBio.

Foram obtidas informações da localização das tartarugas em todas as estações do ano, divididas em verão (janeiro a março), outono (abril a junho), inverno (julho a setembro) e primavera (outubro a dezembro). A localização das tartarugas foi obtida através do sistema ARGOS que fornece dados sobre latitude, longitude, data, horário e precisão das localizações em classes de localização (LC), onde LC 3 representa uma precisão menor que 150 m; LC 2 entre 150 e 350 m; LC 1 entre 350 e 1000 m; LC 0 para precisão superior a 1000 m; e A, B e Z sem cálculo de precisão (SERVICE ARGOS, 2011). Os dados foram adquiridos e

armazenados no programa *Satellite Tracking and Analysis Tool (STAT)* da *seaturtle.org*, que agrega aos dados ARGOS informações de profundidade do GEBCO e de TSM dos sensores da série GOES e AVHRR (COYNE; GODLEY, 2005).

Os dados de telemetria foram importados para o sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) PostgreSQL 9.3 e analisados usando o pacote para banco de dados espaciais PostGIS 2.1. Foram filtradas e excluídas as localizações das classes 0, A, B e Z. A partir da posição e horário de transmissão, a velocidade foi estimada e posições com velocidade superiores a 10 km/h também foram filtradas e excluídas. Desta forma, o número de posições foi reduzido dos 13278 originais para 2680 após a filtragem. Para reduzir a autocorrelação espacial foi utilizada apenas a primeira localização com o maior LC de cada dia, resultando em 1222 registros analisados neste trabalho. Um resumo dos dados utilizados neste trabalho pode ser visualizado na Tabela 1 e as posições de cada tartaruga-marinha na Figura 1.

Tabela 1. Resumo dos dados por tartaruga após filtragens.

Nome	Data inicial	Data Final	N posições	Dist Total (km)	Tempo (dias)	Desloc. (km/dia)
Chica	2014-02-24	2014-10-28	131	3997	246	16.2
Guerreira	2014-01-27	2014-10-29	250	6921	275	25.2
Kaka	2013-04-02	2014-09-17	280	4028	533	7.6
Pioneira	2013-12-09	2014-10-29	158	3845	324	11.9
Primavera	2013-04-01	2014-03-15	115	3428	348	9.9
Valentina	2014-01-23	2014-10-29	78	1383	279	5.0
Vitória	2014-01-21	2014-10-27	210	6112	279	21.9

Os dados de temperatura superficial do mar (TSM) utilizados para localização das frentes oceânicas foram obtidos através do sistema OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*), que fornece dados diários de TSM e cobertura de gelo para toda a extensão da Terra, baseado em dados orbitais de micro-ondas e infravermelho, bem como dados in situ, agregados através de uma interpolação ótima multi-escalar (DONLON et al., 2012).

O software Matlab© foi utilizado para a descompactação, conversão de número digital para temperatura (°C), projeção, recorte e cálculo de gradiente horizontal de temperatura através do filtro de convolução cúbica de sobels. Posteriormente, as imagens foram importadas para o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) PostgreSQL para a determinação das frentes térmicas oceânicas e consulta integrada aos dados de telemetria de tartarugas-marinhas. O limiar de gradiente utilizado para a determinação das frentes oceânicas foi de 0,02°C/km, o que permite a detecção de frentes e vórtices (ETNOYER et al., 2006; WORM et al., 2005; ZANELLA; GONÇALVES; MÖLLER, 1998) e verificado através da análise exploratória dos dados de TSM processados neste trabalho.

Os dados de temperatura obtidos pela base de dados do OSTIA foram comparados pontualmente com os dados obtidos pelo STAT, com a intenção de validar a utilização dos dados do OSTIA, mais completos e de processamento mais fácil. A comparação foi feita pontualmente para cada registro de telemetria.

### 3. Resultados e discussão

Existem diversas lacunas nos dados de temperatura obtidos pelo STAT através de imagens devido à presença de nuvens, falhas no sensor e outros fatores. Cerca de 38% dos registros utilizados não tinham valores de TSM diário. Com a utilização dos dados de TSM do OSTIA e extração destes valores pela rotina produzida foi possível obter os dados de temperatura para todos os registros e foi observada alta correlação com os dados originais ( $r=0.88$ ) e diferença

absoluta média de  $0.52^{\circ}\text{C}$  ( $n=744$ ). A utilização dos dados OSTIA também se mostrou adequada para os cálculos de gradientes e localização de frentes, por ser contínua no tempo (dados diários para todo o período) e no espaço (não conter *pixels* nulos), facilitando o processamento e análise dos dados.

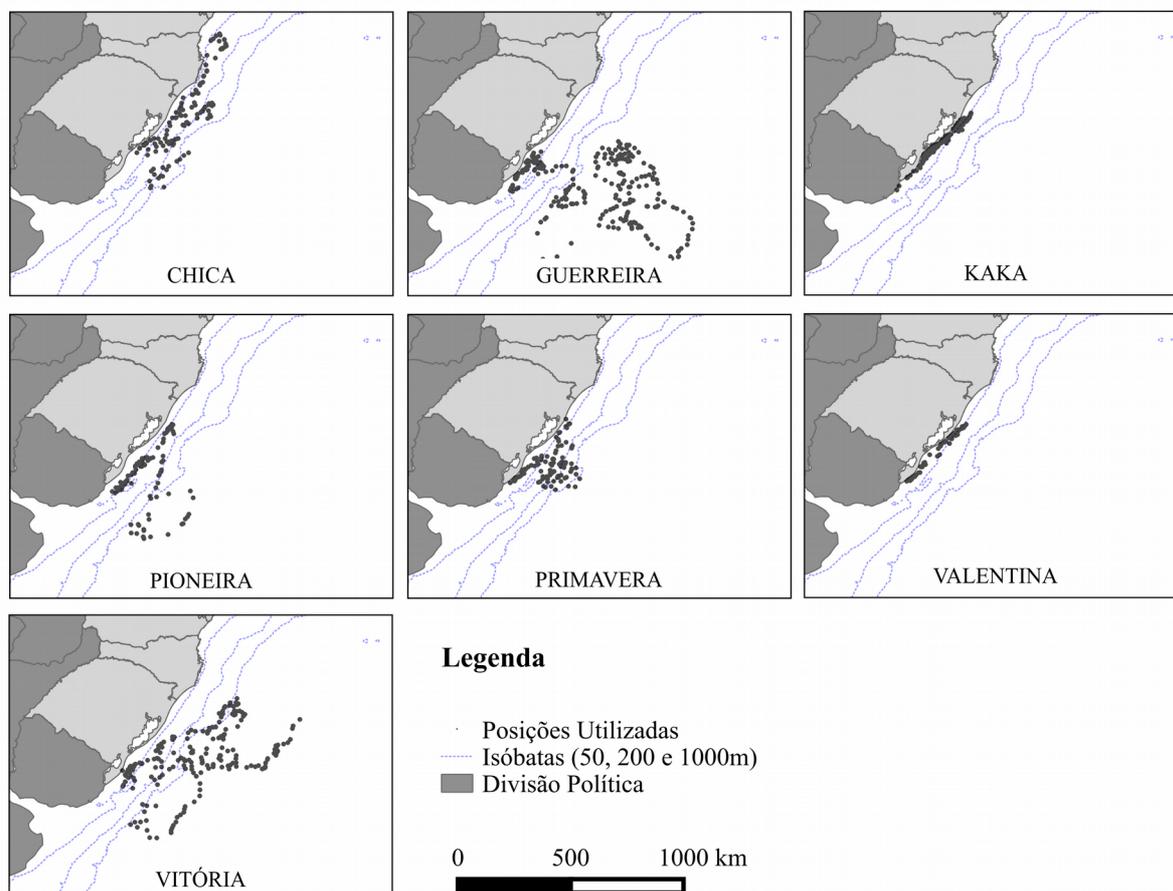


Figura 1. Posições para cada tartaruga utilizadas neste trabalho.

As tartarugas que percorreram as maiores distâncias foram a Guerreira e a Vitória, com uma taxa de deslocamento média maior que 20 km/dia, e permanecendo por mais tempo em ambiente oceânico, fora da plataforma continental. As demais tartarugas utilizaram preferencialmente a plataforma continental e o talude (Figura 1). Cerca de 65% dos registros estão localizados na plataforma continental, em profundidades menores que 200 metros, concordando com o encontrado em movimentos de alimentação em áreas reprodutivas no Nordeste do Brasil (MARCOVALDI et al., 2010).

Nos meses de inverno de 2014 todas as tartarugas (exceto a Guerreira) se deslocaram mais ao norte, indicando uma possível fuga de águas mais frias. Este tipo de comportamento é muito claro no caso da Chica, que começa a se deslocar ao norte em meados de julho, chegando à divisa de Santa Catarina com o Paraná ( $26^{\circ}00'S$ ) no dia 15 de Agosto, e faz o caminho de retorno, chegando à desembocadura da Lagoa dos Patos ( $32^{\circ}00'S$ ) no fim de setembro, início da primavera. Barceló et al. (2013) acompanharam 27 juvenis de *C. caretta* na mesma região e também encontraram uma quantidade maior de registros em latitudes mais baixas durante os meses de inverno corroborando com o encontrado neste trabalho.

Ao analisar a série temporal de TSM e Latitudes (Figura 2), notamos que no inverno de 2014, a tartaruga Guerreira manteve-se em águas ligeiramente mais quentes que a Kaka, Pioneira e Valentina, apesar de se manter em latitudes maiores. É possível notar uma forte correlação entre o deslocamento da Guerreira em direção à leste (Maio a Junho de 2014) e o

limite norte da Convergência Subtropical, já que esta tartaruga-marinha se manteve na borda da frente, nunca ultrapassando o limite para as águas mais frias (Figura 3).

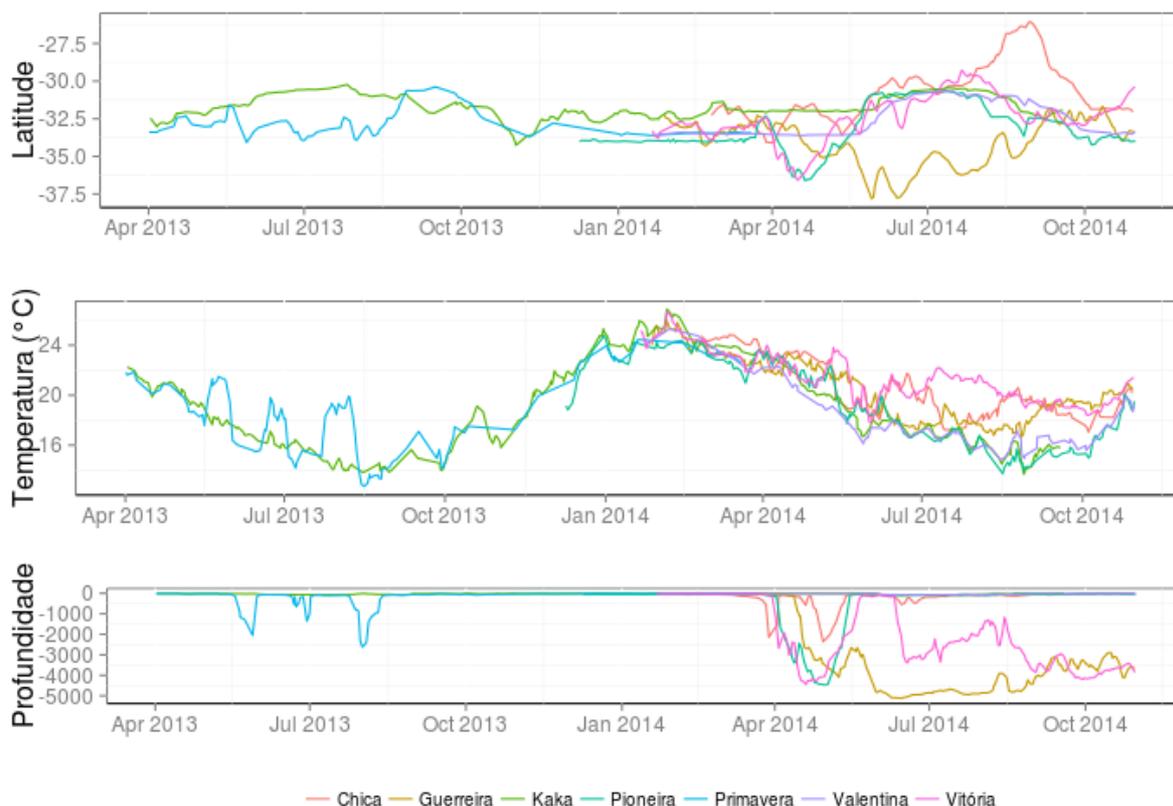


Figura 2. Variação de latitude (acima), temperatura (meio) e profundidade (abaixo) ao longo do tempo de transmissão.

A maior parte dos registros de posições estava próxima de áreas classificadas como frentes oceânicas, sendo que aproximadamente 27% estavam sobre uma frente (distância = 0) e 42% dos registros a menos de 10 km de distância de uma frente. Foram encontrados sistemas frontais persistentes ao longo do tempo localizados na quebra de plataforma, com valores de persistência de mais de 400 dias, de 670 dias analisados neste trabalho (Figura 5). A área mais utilizada pelas tartarugas monitoradas foi a porção interna da plataforma continental (profundidades menores que 70 metros), do Chuí (33°40'S) a Tramandaí (30°15'S).

Esta sobreposição da área mais utilizada e da persistência das frentes pode explicar em partes a predominância de pequenas distâncias entre as tartarugas e as frentes. Verificou-se que as tartarugas que saíram da plataforma continental (Guerreira, Pioneira e Vitória) possuem uma distância média de frentes mais alta do que as mais costeiras (Figura 4).

Por outro lado, ao analisar os padrões de deslocamento das tartarugas que mais utilizaram a bacia oceânica (Guerreira e Vitória), verificou-se uma forte correlação espacial entre as mudanças de direção de deslocamento destas e a ocorrência de sistemas frontais, o que é perceptível principalmente nos giros horários e anti-horários realizados por estas tartarugas, que coincidem com a presença de frentes associadas a vórtices. Portanto, há fortes indícios de que as tartarugas buscam as áreas frontais pela abundância de alimentos e também como um facilitador de movimentos (KOBAYASHI et al., 2008; POLOVINA et al., 2004).

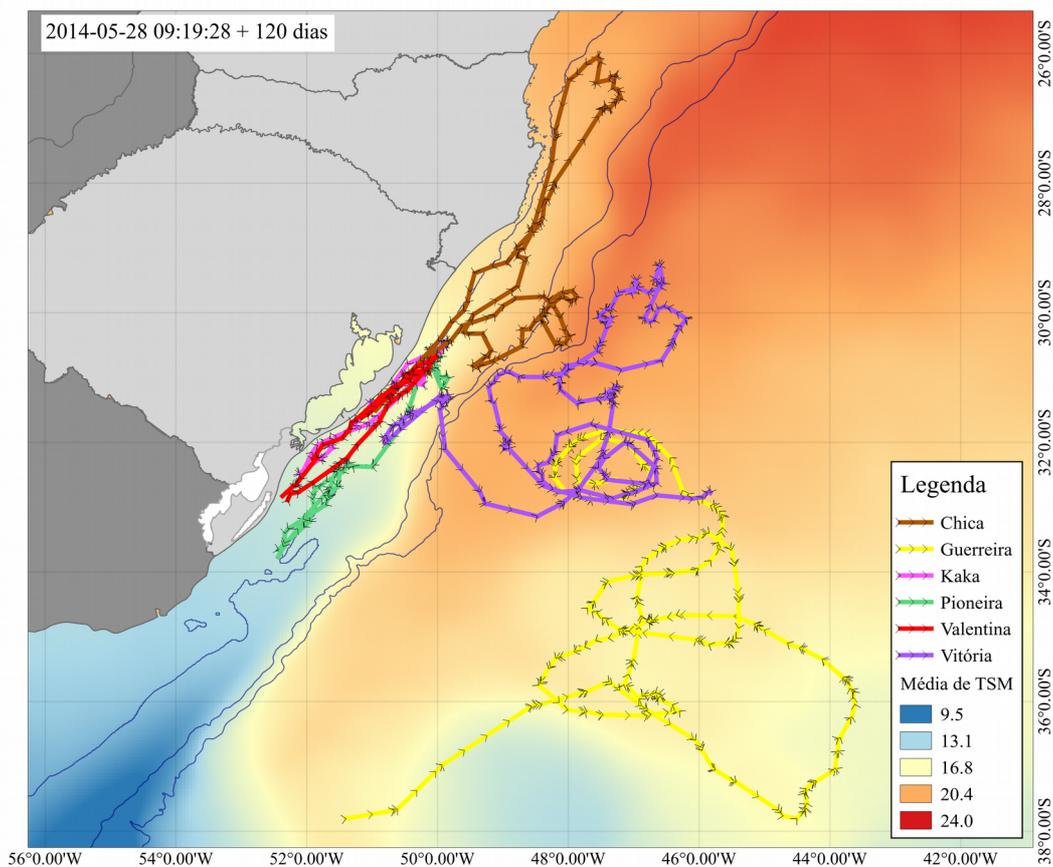


Figura 3. Média de TSM no inverno de 2014 e deslocamento das tartarugas neste período.

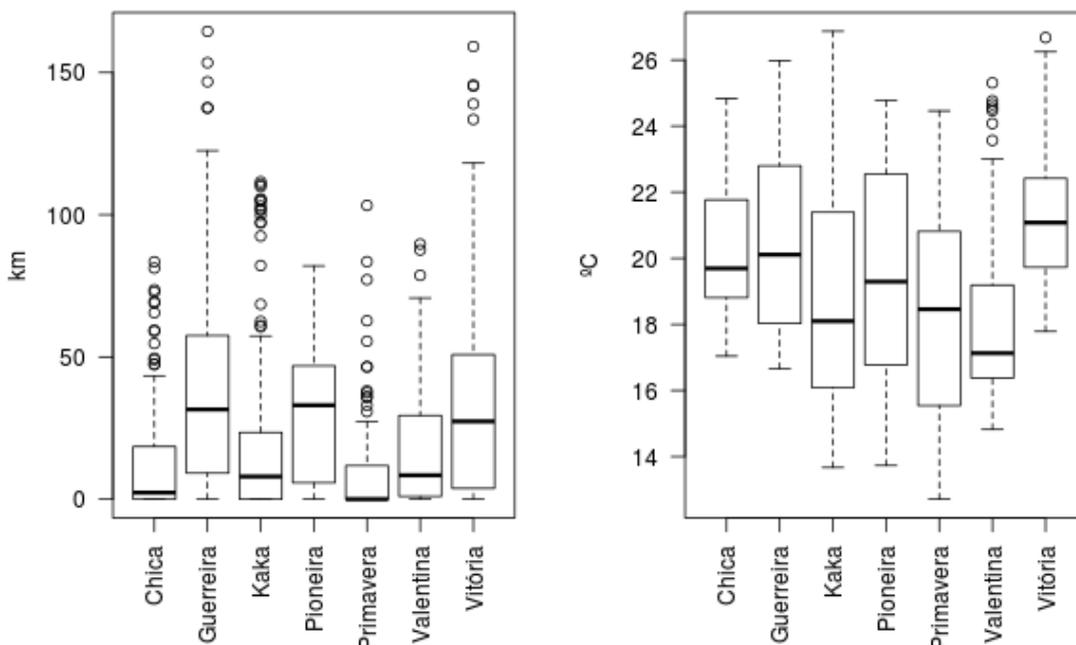


Figura 4. Boxplot de distância de frentes (esquerda) e temperatura (direita) para cada tartaruga.

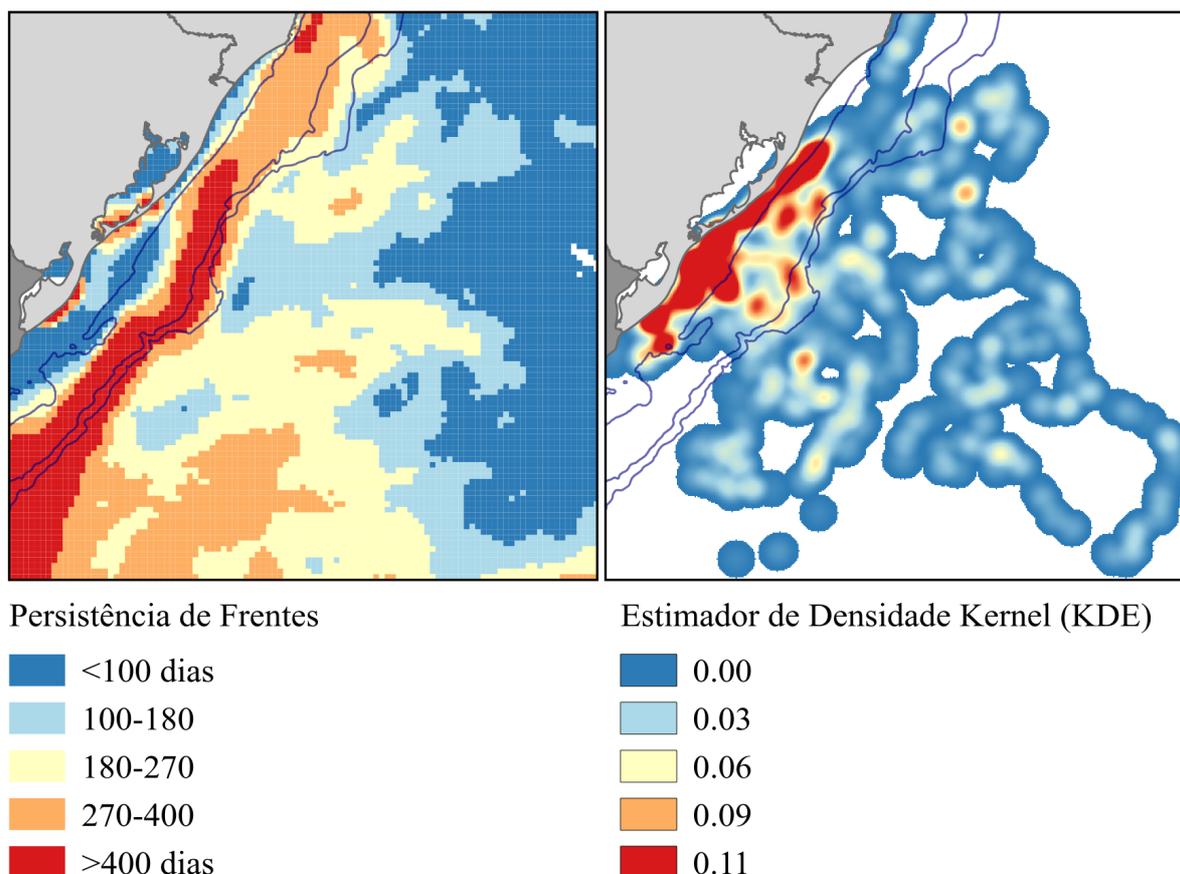


Figura 5. Persistência de frentes na área de estudo (direita) e Estimador de Densidade Kernel (KDE) das posições registradas para todas as tartarugas.

#### 4. Conclusões

Dados de telemetria possuem grande volume nas componente espacial e temporal e são atualizados em tempo real, o que leva à necessidade de desenvolvimento de rotinas automatizadas que permitam de forma rápida, segura e eficaz refazer todas as figuras e análises à medida que novos dados forem incorporados. O pré-processamento das imagens, que atualmente é feito no Matlab, deverá ser implementado em softwares livres (GRASS e PostGIS) para facilitar a replicação da ferramenta em trabalhos futuros.

Este trabalho corroborou a importância de análise integrada de telemetria de tartarugas-marinhas e dados físicos do estado do mar e sugere a utilização dos dados OSTIA para TSM. Como continuação deste trabalho, deve-se agregar às análises dados de concentração de clorofila e vetores de velocidade e direção de correntes oceânicas para confirmar os resultados aqui obtidos e tentar separar a influência da dinâmica oceânica na movimentação das tartarugas em relação à alimentação (clorofila) e facilitação de movimentos (correntes).

#### Agradecimentos

Agradecemos a NOAA pela doação dos transmissores satelitais, ao patrocínio da Petrobras ao Projeto Tartarugas no Mar e o Projeto TAMAR e aos armadores e pescadores que permitiram o embarque dos observadores de bordo para instalarem os transmissores.

#### Referências Bibliográficas

Barceló, C. et al. High-use areas, seasonal movements and dive patterns of juvenile loggerhead sea turtles in the Southwestern Atlantic Ocean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 479, n. Dodd 1988, p. 235–250, 8 abr. 2013.

Barros, J. A. **Alimentação da tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) em habitat oceânico e nerítico no Sul do Brasil: composição, aspectos nutricionais e resíduos sólidos antropogênicos.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande, 2010.

Coyne, M. S.; Godley, B. J. Satellite Tracking and Analysis Tool ( STAT ): an integrated system for archiving , analyzing and mapping animal tracking data. **Marine Ecology Progress Series**, v. 301, p. 1–7, 2005.

Donlon, C. J.; Martin, M.; Stark, J.; Roberts-Jones, J.; Fiedler, E.; Wimmer, W. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. **Remote Sensing of Environment**, v. 116, p. 140–158, jan. 2012.

Etnoyer, P.; Canny, D.; Mate, B. R.; Morgan, L. E.; Ortega-Ortiz, J. G.; Nichols, W. J. Sea-surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California Peninsula, Mexico. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 53, n. 3-4, p. 340–358, 2006.

Kobayashi, D. R.; Polovina, J. J.; Parker, D. M.; Kamezaki, N.; Cheng, I.-J.; Uchida, I.; Dutton, P. H.; Balazs, G. H. Pelagic habitat characterization of loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, in the North Pacific Ocean (1997–2006): Insights from satellite tag tracking and remotely sensed data. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 356, n. 1-2, p. 96–114, mar. 2008.

Luschi, P.; Hays, G. C.; Papi, F. A review of long-distance movements by marine turtles, and the possible role of ocean currents. **Oikos**, v. 103, n. 2, p. 293–302, 2003.

Marcovaldi, M.; Lopez, G.; Soares, L.; Lima, E.; Thomé, J.; Almeida, A. Satellite-tracking of female loggerhead turtles highlights fidelity behavior in northeastern Brazil. **Endangered Species Research**, v. 12, n. 3, p. 263–272, 2 nov. 2010.

Monteiro, D.; Bugoni, L.; Estima, S. **Strandings and sea turtle fisheries interactions along the coast of Rio Grande do Sul State, Brazil** Book of Abstracts. Twenty Sixth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation. **Anais...**Athens, Greece: International Sea Turtle Society, 2004

Olson, D. B.; Hitchcock, G. L.; Mariano, A. J.; Ashjian, C. J.; Peng, G.; Nero, R. W.; Podestá, G. P. Life on the edge: Marine life and fronts. **Oceanography**, v. 7, n. 2, p. 52–60, 1994.

Polovina, J. J.; Balazs, G. H.; Howell, E. A.; Parker, D. M.; Seki, M. P.; Dutton, P. H. Forage and migration habitat of loggerhead (*Caretta caretta*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtles in the central North Pacific Ocean. **Fisheries Oceanography**, v. 13, n. 1, p. 36–51, jan. 2004.

Polovina, J. J.; Kobayashi, D. R.; Parker, D. M.; Seki, M. P.; Balazs, G. H. Turtles on the edge : movement of loggerhead turtles ( *Caretta caretta* ) along oceanic fronts, spanning longline fishing grounds in the central North Pacific , 1997 ± 1998. **Fisheries Oceanography**, v. 9, p. 71–82, 2000.

Service Argos. **Argos User's Manual**. Disponível em: <<http://www.argos-system.org/>>. Acesso em: 7 nov. 2014.

Silva, A. P.; Monteiro, D. S.; Estima, S. C. **Encalhes de tartarugas marinhas no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil.** V Jornada de Pesquisa e Conservação de Tartarugas Marinhas no Atlântico Sul Ocidental (ASO). **Anais...**Florianópolis: Projeto TAMAR/ICMBIO, 2011

Worm, B.; Sandow, M.; Oschlies, A.; Lotze, H. K.; Myers, R. A. Global Patterns of Predator Diversity in the Open Oceans Global Patterns of Predator Diversity in the Open Oceans. **Science**, v. 309, p. 1365–1369, 2005.

Zanella, J. F. I. F.; Gonçalves, G. A.; Möller, O. O. **Análise da variação espaço-temporal das frentes térmicas de quebra de plataforma e feições associadas no Oceano Atlântico Sul-Occidental entre 25°S e 37°S.** IX Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**Santos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1998 Disponível em: <[http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.08.39/doc/5\\_1360.pdf](http://marte.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.08.39/doc/5_1360.pdf)>