

# ANÁLISE DA DIMENSÃO FRACTAL DA COSTA AMAZÔNICA BRASILEIRA COMO SUBSÍDIO À DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL (ISA) A DERRAMAMENTOS DE ÓLEO

A. M. A. Moura<sup>1</sup>, F. P. Miranda<sup>1</sup>, L. Bevilacqua<sup>1</sup>, R. J. Sampaio<sup>1</sup>, A.S. Oliveira<sup>3</sup>, L.C.F.H Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro. PEC/COPPE, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro. IGEO/Departamento de Geografia, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho- FCT- Unesp/Departamento de Estatística, Brasil.

Comissão IV - Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

## RESUMO

A costa norte brasileira abrange três macrocompartimentos: “Litoral do Amapá” (LA), “Golfão Amazônico” (GA) e “Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão” (PM). Tal fato sugere a existência de diferentes configurações para o limite entre terra e água, que podem ser caracterizadas através da geometria fractal. Foram obtidas nesta pesquisa as dimensões fractais (DF) de 615 segmentos distintos da costa amazônica representativos de diferentes ambientes. Testes de hipóteses demonstraram que o valor médio de DF para os manguezais no LA é distinto daqueles encontrados para esse ambiente no GA e PM. Nesses dois últimos, os valores de DF para os manguezais podem ser considerados iguais. Tal resultado pode indicar diferenças na capacidade de recuperação dos manguezais da costa amazônica na eventualidade de um acidente com derramamento de óleo.

**Palavras chave:** Costa Amazônica, dimensão fractal, sensibilidade ambiental.

## ABSTRACT

The northern Brazilian coast comprises three macro-compartments: “Litoral da Amapá” (LA), “Golfão Amazônico” (GA) and “Litoral da Reentrância Pará-Maranhão” (PM). This fact suggests the existence of different configurations for the boundary between earth and water, which can be characterized by fractal geometry. The fractal dimensions (DF) of 615 distinct segments of the Amazon coast representative of different environments were obtained in this research. Hypothesis tests have shown that the mean value of DF for mangroves in LA is different from those found for this environment in GA and PM. In the latter two, the DF values for the mangroves can be considered equal. This result may indicate differences in the recovery capacity of Amazonian mangrove swamps in the event of an oil spill accident.

**Keywords:** Amazonian Coast, Fractal Dimension, environmental sensitivity.

## 1- INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro possui extensão aproximada de 8 mil quilômetros, abrangendo desde a parte equatorial do hemisfério norte até a latitude 30°S no hemisfério sul. Tal configuração é resultado de controles tectônicos, geomorfológicos, oceanográficos e climáticos (MUEHE, 2004). Neste contexto, SILVEIRA (1964) identificou cinco grandes regiões geográficas litorâneas: Norte, Nordeste, Leste ou

Oriental, Sudeste, Sul. Além disso, ele subdividiu cada uma delas em macrocompartimentos não coincidentes com as regiões geográficas brasileiras.

O litoral norte, de acordo com SILVEIRA (1964), estende-se do extremo setentrional do Amapá até o golfão maranhense, compreendendo três macrocompartimentos: Litoral do Amapá, do Cabo Orange ao flanco sul do Cabo Norte; Golfão Amazônico, do Flanco sul do Cabo Norte à Ponta Taipu; Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão, da

Ponta de Taipu à Ponta dos Mangues Secos (MUEHE, 2006; Figura 1). Os ecossistemas costeiros aí presentes são suscetíveis a desastres ambientais como o derramamento de óleo. Com efeito, uma vez que tal ocorra nessa área, pode haver um desequilíbrio ambiental significativo, devido à dificuldade em se remover o óleo alojado em alguns habitats (NOAA, 2002). A costa amazônica conta com a operação de terminais, para onde o petróleo seus derivados são transportados por meio de navios. Parte dos produtos escoam novamente por meio de barcaças para ser distribuído ao mercado consumidor. Essas atividades industriais colocam em risco os ambientes costeiros caso provoquem vazamentos.

A divisão da costa amazônica em diferentes macrocompartimentos sugere a existência de diferentes configurações espaciais para o limite entre terra e água. A esse respeito, MANDELBROT (1977) afirma que a geometria euclidiana não consegue descrever algumas feições geométricas na natureza, como, por exemplo, a linha de costa. A geometria das coisas do mundo, segundo tal autor, é em grande parte rugosa e fragmentada; existem mesmo certas formas nas quais cada parte é igual a seu todo, porém em menor escala. Tal preocupação norteou, por exemplo, o trabalho de GARCIA et al. (2016), no qual foi caracterizada a interface marítima-terrestre da costa de Cantabria através de médias fractais.

## 2- OBJETIVO

Seguindo tal tendência, o presente trabalho tem por objetivo calcular a dimensão fractal dos macrocompartimentos do litoral amazônico, assim como dos ambientes ao longo da linha de costa, na escala 1:250.000. Tal resultado será relacionado com a suscetibilidade costeira a derramamentos de óleo. Parte-se aqui do novo pressuposto que existe um relacionamento entre a complexidade da forma da interface terra-água, conforme medida pela dimensão fractal, com a capacidade de recuperação de um ecossistema costeiro na eventualidade de um derramamento de óleo.

## 3- MATERIAIS E MÉTODOS

O monitoramento da costa amazônica aos impactos da indústria petrolífera toma por base os mapas elaborados no Projeto Piatam Mar (SOUZA FILHO et al., 2009), cuja confecção se baseou nos conceitos propostos por ARAÚJO et al. (2002). Tais produtos estão consolidados em um atlas do Índice de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (cartas SAO), que possuem escalas de 1:250.000 (estratégica), 1:50.000 (tática) e 1:10.000 (operacional). Nessa classificação, os ambientes mais sensíveis são os manguezais.

No presente trabalho, foi utilizado o software ArcGIS Desktop, na versão 10.4.1, para criar um padrão de exportação de dados vetoriais, adotando a escala de mapeamento da linha de costa de 1:250.000,

a partir das cartas SAO estratégicas. A seguir, empregou-se o *software Image J* para aplicar o método *Box-counting* no cálculo da dimensão fractal do vetor correspondente ao limite terra-água nos ambientes costeiros mapeados pelo Piatam Mar (planalto costeiro, manguezais, campo e várzea).

Os testes estatísticos de verificação da normalidade (Shapiro Wilk e Kolmogorov-Sminorv) e da presença de *outliers* (Grubbs), seguidos por testes de hipóteses com análise de variância (ANOVA) e comparação de médias (Tukey), foram aplicados aos macrocompartimentos do litoral amazônico utilizando o *software RStudio* (Figura 2).

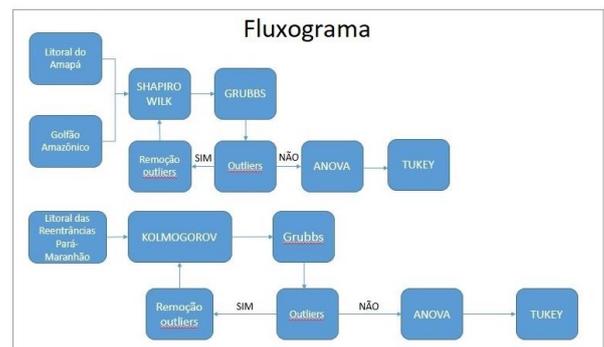


Figura 2

## 4- RESULTADOS

A princípio, foi obtida a dimensão fractal de cada segmento representativo dos macrocompartimentos do litoral norte brasileiro, como segue: Litoral do Amapá ( $D = 1,138$ ), Golfão Amazônico ( $D=1,192$ ) e Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão ( $D = 1,238$ ). Verifica-se um aumento progressivo dos valores de  $D$  desde o extremo setentrional do Amapá até a costa a leste de São Luis. Considera-se nesse cálculo a área cartografada pelo projeto Piatam Mar com respeito à sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo. Tal área inclui tanto porções ribeirinhas potencialmente sensíveis a vertimentos de óleo ocorridos no mar como áreas litorâneas que podem ser impactadas pelo influxo de poluentes desde a rede fluvial.

Após a execução do procedimento acima, foram obtidas as dimensões fractais de 615 segmentos distintos da costa amazônica, cujos valores foram manipulados no *software Microsoft Excel 2013*. Cada registro contém a extensão em quilômetros de cada segmento, o ambiente costeiro a ele correspondente e sua respectiva dimensão fractal. De posse desse novo conjunto de informações, foi possível o cálculo dos parâmetros estatísticos para cada ambiente costeiro, assim como a execução de testes de hipóteses para verificar estatisticamente a existência de diferenças entre os valores médios de dimensão fractal correspondentes às classes de cobertura mapeadas pelo Piatam Mar (Tabela 1).

Com base nos testes da Análise de Variância (ANOVA), constatou-se que existe diferença estatística significativa nas médias dos macrocompartimentos do litoral norte brasileiro. O teste de Tukey, por sua vez, apontou diferenças nas médias entre o “Litoral do

Amapá” e “Golfão Amazônico”, como também entre o “Litoral do Amapá” e “Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão”. No entanto, não foi apontada diferença entre os macrocompartimentos “Golfão Amazônico” e “Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão”.

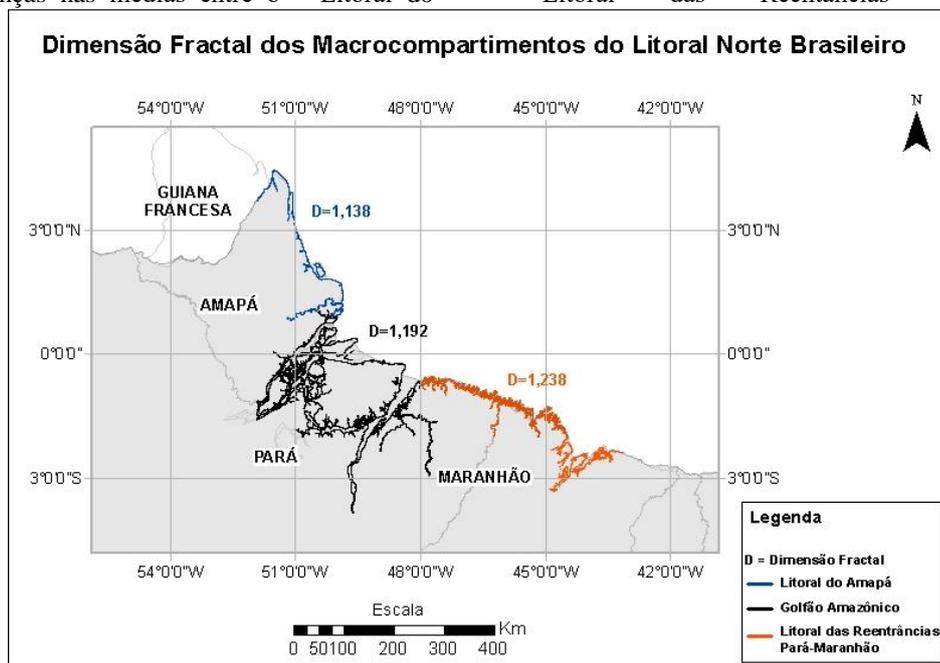


Figura 1

	Litoral do Amapá (MÉDIA e DESVIO PADRÃO)		Golfão Amazônico (MÉDIA e DESVIO PADRÃO)		Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão (MÉDIA e DESVIO PADRÃO)	
Manguezais	1,090	0,055	1,166	0,117	1,167	0,105
Planalto Costeiro	1,030	0,017	1,105	0,082	1,097	0,083
Campos	1,062	0,079	1,135	0,104	1,087	0,066
Várzeas	1,070	0,064	1,159	0,088	*	*

Tabela 1 – Média e Desvio Padrão por ambientes e macrocompartimentos  
 \* Esse ambiente não foi mapeado no Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão.

## 5- CONCLUSÕES

O cálculo da dimensão fractal da linha de costa amazônica e dos ambientes que nela se desenvolvem permitiu identificar diferentes configurações espaciais para o limite entre terra e água. Tal constatação pode ser útil como subsídio à determinação do índice de sensibilidade ambiental (ISA) a derramamentos de óleo. Para os manguezais, ambientes mais sensíveis a esse tipo de acidente, os testes de hipóteses realizados permitiram verificar que

a dimensão fractal daqueles encontrados no “Litoral do Amapá” (1,090) é distinta dos que ocorrem no “Golfão Amazônico” (1,166) e no “Litoral das Reentrâncias Pará-Maranhão” (1,167). Nesses últimos, a dimensão fractal em termos estatísticos foi considerada a mesma. Tal resultado pode indicar maior capacidade de recuperação dos manguezais do litoral do Amapá na eventualidade de um acidente com derramamentos de óleo, tendo em vista a complexidade relativamente menor de sua linha de costa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, S.I; Silva, G.H. e Muehe, D.C.E.H. Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos. Petrobras, Rio de Janeiro, 133 p., 2002.

Mandelbrot, B. How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. Science, New Series, v. 156, p. 636-638, 1967.

Muehe, D. Erosion in the Brazilian coastal zone: an overview. Journal of Coastal Research, v. SI 39, p. 43-48, 2004.

Muehe, D. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentação. In: Sandra Baptista da Cunha; Antônio José Teixeira Guerra (Org.). Geomorfologia do Brasil, 4ª Ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 273-349, 2006.

NOAA. Environmental sensitivity index guidelines. NOAA, Seattle, Version 3.0, 89 p., 2002.

Piña-garcía, F.; Pereda-García, R.; Luis-Ruiz, J.M.; Pérez-Álvarez, R. e Husillos-Rodríguez, R. Determination of Geometry and Measurement of Maritime-Terrestrial Lines by Means of Fractals: Application to the Coast of Cantabria (Spain). Journal of Coastal Research, v, 32, p. 1174 – 1183, 2016.

Silveira, J.D. Morfologia do Litoral. In: Brasil, a terra e o homem (Ed.) A. de Azevedo, São Paulo, p. 253-305, 1964.

Souza Filho, P.W.L; Prost, M.T.R; Miranda, F.P.; Sales, M.E.C; Borges, H.V; Costa, F.R.; Almeida, E.F. e Nascimento Jr., W.R. Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping of Oil Spill in the Amazon Coastal Zone: The Piatam Mar Project. Revista Brasileira de Geofísica, v. 27, p. 7-22, 2009.