

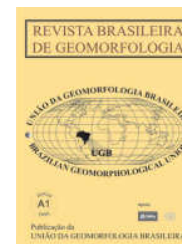


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, n° 1 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i1.718>



DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DA COSTA ROCHOSA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

THE GEOMORPHOLOGY OF THE RIO DE JANEIRO ROCKY COAST

Antonio Paulo Faria

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira 274, Bloco I, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 21.044-020. Brasil
Email: apfgeo@gmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
21/01/2016
Aceito (Accepted):
27/11/2017

Palavras-chave:

Costão Marinho; Falésia;
Campo de Blocos Costeiro.

Keywords:

Low Angle Sea Cliff; Steep Sea
Cliff; Coastal Boulders Field.

Resumo:

Este trabalho sugere a classificação de seis tipos de costão marinho, sete tipos de falésia, bancada e três formas de campo de blocos costeiro, de acordo com as características da geomorfologia costeira brasileira. Aponta ainda para os problemas que podem ocorrer com a ocupação e uso das faixas de lavagem das ondas, que constituem áreas de risco. A maior parte do litoral do Estado do Rio de Janeiro é formada por costões, cuja inclinação é classificada neste trabalho entre 15° e 45°. Acima deste limite é considerado falésia. Existem ainda extensos depósitos de blocos produzindo situações antagônicas: muitos foram originados por eventos catastróficos, mas posteriormente passaram a promover certa proteção à costa, por formar barreiras que dissipam a energia das ondas. Em geral, os costões marinhos nas áreas expostas às ondas de tempestades possuem inclinação média de 30° e comprimento médio de 50m. A extensão aumenta à medida que a inclinação da encosta diminui porque as ondas alcançam áreas mais distantes. Nas áreas semi expostas e protegidas, os comprimentos diminuem. No Estado foram identificadas 13 regiões costeiras distintas, entretanto, da divisa Oeste até a Ilha da Marambaia são comuns depósitos de blocos; nos municípios do Rio de Janeiro e Niterói predominam costões marinhos; entre Arraial do Cabo e Búzios, prevalecem falésias cristalinas; e entre Rio das Ostras e Macaé, o perfil do tipo bancada é o mais comum.

Abstract:

This work suggests a classification of six types of low angle sea cliff, seven types of steep sea cliff, structural plato, and three types of boulders field, according to the characteristics of the Brazilian coastal geomorphology. It also concerns about the occupation of hazard zones where the waves reach periodically. The major part of the littoral of the Rio de Janeiro state is formed by low cliff, defined in this paper for slopes ranging from 15° to 45°. Above this limit is considered steep cliff. In a large extension of the rock coast there are boulders on the bottom of the cliffs, creating different situations: many of the boulders field were produced by catastrophic event, however, they also form barriers that dissipate the waves

energy and protect the coast from the storms. Usually the low cliff slope average is 30°, and the length average is 50m long in the areas exposed to the storm waves. The length is also related to the slope angle, it is bigger in the lower angle slopes. In the protected and in the semi exposed areas, the low cliff length is shorter. 13 rocky coast regions were defined in the Rio de Janeiro state, nevertheless, between the west limit of the state and Marambaia island, the most dominant geomorphic characteristic is boulders field; in the littoral of Rio de Janeiro and Niterói, the low cliffs are predominant; from Arraial do Cabo to Búzios, the steep cliffs are common; and in the Rio das Ostras and Macaé coast, the structural plateau is the most frequent form.

1. Introdução

Existe pouco interesse nos estudos da costa rochosa do Brasil, a maioria dos pesquisadores concentra esforços para estudar os ambientes de praia e de mangue, não existindo sequer classificação para a geomorfologia da costa rochosa brasileira.

Em geral, as praias arenosas absorvem bem a energia das ondas em função da mobilidade dos grãos e da alta porosidade/permeabilidade desses depósitos sedimentares. Nessas praias a maior parte dos fluxos de água arremessados pelas ondas retorna em subsuperfície, como é de conhecimento comum em geomorfologia costeira, desde Johnson (1919). Na costa rochosa é diferente porque o substrato é fixo e impermeável, gerando dinâmica diferente, como vem sendo demonstrado por vários autores, entre eles, Carter & Woodroffe (1994) e Kennedy (2014).

As classificações de litoral tendem a encaixar a costa da Região Sudeste do Brasil como “escarpas de linha de falha”, como as sugeridas por Steers (1962) e Shepard & Wanless (1971). Em escala mais detalhada, Tsunamura (1992), Owens (1994) e Finkl (2004) sistematizaram classificações da costa rochosa global e, de acordo com elas, o litoral do Estado do Rio de Janeiro tem a seguinte morfologia:

- 1 - Sistema de “escarpas” (*cliffs*): a) vertical, b) íngreme, c) inclinado, d) baixo
- e) “chanfrado”, f) escarpa-terraço e g) terraço.
- 2 – Plataformas: a) horizontal e b) terraço.

Em parte, essa classificação não se aplica satisfatoriamente ao litoral do Sul-Sudeste do Brasil, com seus pontões e costões suaves, esculpados predominantemente em granitos e gnaisses. Sanders (1968) explica que as inclinações mais baixas dos costões ocorrem devido à exposição das duras rochas ígneas e metamórficas ao clima quente, com taxas elevadas de intemperismo químico. Porém, segundo esse autor, o fator principal são as ondas pequenas com altura

média de 1m, que se chocam contra as costas tropicais. Nos climas frios e temperados, a maior desagregação mecânica das rochas e ondas de tempestades grandes e frequentes, criam formas costeiras abruptas, enquanto nos trópicos elas tendem a ser mais suaves. Emery & Kuhn (1982) dissertam que os perfis convexos e suaves são típicos de rochas duras homogêneas, que dificultam os processos de decomposição litológica, nos quais os processos morfológicos subaéreos são iguais ou mais eficientes que a erosão marinha.

Os poucos trabalhos que tratam da costa rochosa brasileira apresentam observações generalizadas, não distinguindo os tipos de formas existentes mais comuns. Eles não levam em consideração as formas geográficas em mesoescala, na ordem de dezenas de metros. Os termos falésia, costão e blocos muitas vezes são colocados sob o mesmo olhar e diversas outras geoformas não são consideradas. Suguio (1992) e Ab’Sáber (2001) definem igualmente que falésia é um paredão abrupto, originado pela erosão marinha na frente de pontas, esporões e promontórios. Esses autores definem falésia como formas com grande inclinação, mas não indicam o limite de declividade, além de confundir costão com falésia. É necessário diferenciar costão marinho de falésia, porque costão é uma forma comum encontrada no litoral Sudeste e Sul do país, possuindo dinâmica distinta das falésias ou *cliffs*.

Objetivando melhorar os conhecimentos sobre a costa rochosa, este trabalho fez os seguintes levantamentos e classificações, levando em consideração o Estado do Rio de Janeiro:

- A - Classificou os perfis longitudinais de acordo com as características geomorfológicas brasileiras, definindo tipos de costão marinho, falésia, bancada e campo de blocos;
- B – Elaborou zoneamento da costa rochosa levando em consideração as características geomorfológicas;
- C – Monitorou a dinâmica dos costões, das falésias, das bancadas e dos campos de blocos.

2. Características Físicas da Costa do Estado do Rio de Janeiro

A configuração atual do litoral é a conjunção de características geomorfológicas resultantes das heranças geológicas ligadas à separação gondwânica, e aos eventos posteriores de tectonismo e isostasia, que ocorreram na margem continental sul-americana ao longo do Mesozoico e Cenozoico. Esses eventos geraram vulcanismo e uma malha complexa de falhas geológicas. A linha de costa atual se encaixa em muitas estruturas produzidas por esse tectonismo distensivo, como os grandes alinhamentos de blocos falhados, produzindo serras, montanhas e morros, como já foi dissertado por vários autores clássicos, como Oliveira & Leonardos (1943) e Ruellan (1944). Isso favoreceu o desenvolvimento de um litoral rochoso recortado, de Santa Catarina ao Rio de Janeiro, conhecido também como Macrocompartimento Litoral das Escarpas Cristalinas Sul e Norte, de acordo com classificação de Silveira (1964).

Quanto aos tipos de rochas encontrados no litoral do Estado do Rio de Janeiro, de acordo com os mapas da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) publicados em 2000, 2007 e 2012, destacam-se as metamórficas com idades variando entre 500 milhões e 2 bilhões de anos. São rochas do metamorfismo de litologias **ígneas**, principalmente ortognaisses, que mostram estrutura planar, ou foliação bem desenvolvida. Também tem as originadas a partir do metamorfismo das rochas sedimentares (paragnaisses), que possuem minerais típicos de metamorfismo sobre sedimentos, como a sillimanita e a granada, que dão matizes avermelhadas a algumas praias, como exemplo, as de Búzios.

Entre as rochas ígneas que não sofreram metamorfismo, as graníticas são as mais comuns. São constituídas basicamente pelos minerais: quartzo, feldspato e biotita, que podem ocorrer em proporções variadas. São encontradas principalmente no Oeste do Estado, entre as baías de Ilha Grande e de Sepetiba. Na parte central do Estado predominam gnaisses e na parte Leste, de Arraial do Cabo a Búzios, afloram gnaisses e sienito, além de diques variados de granito, diorito, pegmatito, basalto e traquito, entre outras.

Em função da orientação geográfica do Estado do Rio de Janeiro ser no sentido E-W, as ondas de tempestade vindas de SW, S e SE atingem diretamente

a costa. Pereira & Oliveira-Klump (2015) mostraram que entre 1973 e 2010, a maioria das vagas com altura superior a 3 m se propagaram de SSW, SW e S. Durante esse período foram produzidos 70 episódios com ondas acima de 4m.

As maiores marés no Estado têm oscilação vertical máxima de 1,3m, e ocorrem dentro das baías de Angra dos Reis e de Guanabara, de acordo com www.ondas.cptec.inpe.com.

3. Metodologia

Para definir os perfis da costa rochosa do Estado do Rio de Janeiro, foram mensuradas a declividade e a geometria de 160 transectos longitudinais: 64 foram feitos em costões, 45 em campo de blocos, 30 em falésias, 21 em bancadas e terraços e 5 em escolhos. A distribuição foi feita em função da recorrência desses tipos no litoral, que predominam em função das características geomorfológicas regionais. Esses perfis foram feitos em formas geográficas como: promontórios convexos, cânions, pequenas baías rochosas (abra), costa rochosa retilínea, pontas, agulhas e costa recortada. As medições foram realizadas em costa exposta às ondas de tempestade, costa semi exposta e costa protegida, em diversos pontos do Estado, situados entre os municípios de Parati e Macaé.

Para mensurar os ângulos de mergulho da superfície da costa rochosa e orientação geográfica, foram utilizados clinômetros, bússolas e fotos de perfis. Para medir a extensão, foram usadas trenas e imagens de satélite em escalas de até 1: 2.000. As observações da litologia local foram comparadas e adaptadas de acordo com os mapas geológicos regionais, publicados pelo CPRM (2000, 2007 e 2012). Técnicas e material de alpinismo foram utilizados como segurança e para acessar áreas de difícil acesso.

3.1. Definições de Costão e Falésia

A primeira parte deste trabalho foi definir costão e falésia, porque essas terminologias não eram claras, de acordo com o que foi exposto anteriormente. Lovholt *et al.* (2013) definiram que a inclinação de 45° é o limite máximo numa estrutura impermeável para a água ser arremessada em forma de fluxo contínuo ascendente até o limite determinado em função da força da gravidade. A altura do alcance desses fluxos de água diminui nas

rampas com declividade acima de 45°. Trenhaile (1987) mostra que as encostas acima de 50° sofrem mais pressão do impacto das ondas, o que reflete diretamente na erosão. Entretanto, 45° é um valor médio porque depende da rugosidade; existem superfícies rochosas muito complexas com tafones (buracos) e malhas de fendas de tamanhos muito variados. Numa encosta rochosa de até 45° os fluxos de água de retorno podem formar ondas refletidas, que se propagam no sentido oposto; nas encostas acima desse valor as ondas tendem a se dissipar em forma de *splash*, arremessando água em várias direções.

Com base nesses argumentos, pode ser definido que: costão marinho tem declividade entre 15° e 45°; acima desse limite as encostas podem ser consideradas como falésia. Ambos têm formas e inclinações variadas, gerando subclassificações. Os levantamentos de campo e análise de 64 transectos de costões, indicaram a existência de 6 subtipos. Da mesma forma foram estudados 30 perfis de falésia, originando 7 subtipos divididos entre formas básicas e formas compostas.

3.2 Definições de Bancadas, Campo de Blocos e Escolho

“Bancada”, termo sugerido aqui, são platôs estruturais ou plataformas terrestres-marinhas com inclinação inferior a 15°, esculpido em rochas resistentes por um misto de processos continentais e marinhos. Elas diferem dos terraços marinhos ou plataformas de abrasão, que são formados pelas ondas em rochas menos resistentes. Em função de a forma ser parecida, existe uma tendência de todas serem classificadas como plataforma de abrasão, todavia, são diferentes. Foram medidos os ângulos de alinhamento das fraturas que originam essas formas para poder fazer os diagnósticos de 21 transectos. Geralmente o cruzamento de fraturas horizontais (entre 0° e 15°) e verticais (60° e 120°) produzem blocos, e a remoção ou desaparecimentos desses fragmentos originam as bancadas. Com isso foi possível identifica-los no campo.

Em algumas cartas náuticas e na literatura, “escolho” é sinônimo de ilhota, pedra, recife e laje, entre outras denominações. Neste trabalho esta terminologia foi adotada especificamente para designar pequenas partes rochosas do embasamento que ficaram ilhadas e podem ser confundidas com blocos. Os escolhos foram isolados e ilhados devido à subida do nível do

mar que cobriu as linhas de fraturas paralelas à costa. Eles possuem formas em perfil que podem ser falésia, costão ou bancada. Sobre eles pode ainda ter blocos.

3.3 Zoneamentos da Costa Rochosa

A partir dos 160 transectos feitos ao longo da costa rochosa do Estado do Rio de Janeiro, foi possível identificar 13 zonas distintas, levando em consideração as seguintes características: exposição do litoral em relação às ondas de tempestade, relevo, tipo de rocha, formas geográficas e tipo perfil longitudinal.

4. Os Tipos de Perfis da Costa Rochosa do Estado do Rio de Janeiro

De acordo com as medições de campo e análise dos transectos e imagens, foram classificados 19 tipos de perfis longitudinais da costa rochosa do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Ao lado da lista, a seguir, os nomes foram comparados com as terminologias sugeridas por Emery & Kuhn (1982) e Owens (1994). Porém, algumas formas descritas neste trabalho não tiveram equivalência com os nomes encontrados na literatura internacional.

Terraço ou plataforma de abrasão – Inclinação entre 1° e 5° (*terrace/platform*)

B) Bancada – Inclinação menor 15° (sem equivalência)

C) Costão - formas básicas – Inclinação entre 15° e 45°

- Costão retilíneo (*low cliff*)

- Costão convexo (*low cliff*)

- Costão côncavo (sem equivalência)

D) Costão - formas compostas

- Costão rugoso (sem equivalência)

- Costão-falésia (sem equivalência)

- Costão-teto (sem equivalência)

E) Falésia – formas básicas - Inclinação entre 45° e 135°.

- Falésia inclinada, (*inclined cliff*)

- Falésia convexa (*beveled cliff*)

- Falésia negativa, inclinação entre 91° e 135° (*steep cliff, overhung cliff*)

F) Falésia - formas compostas

- Falésia dentada (sem equivalência)

- Falésia-teto (sem equivalência)

- Falésia com bancada (*terraced cliff*)
- Falésia composta (*composite cliff*)
- G) Campos de Blocos Costeiros
- Campo de blocos sobre costão (sem equivalência)
- Campo de blocos sobre bancada (sem equivalência)
- Campo de blocos em ambiente marinho e/ou cluster (sem equivalência)
- H) Escolho (*Reef*)

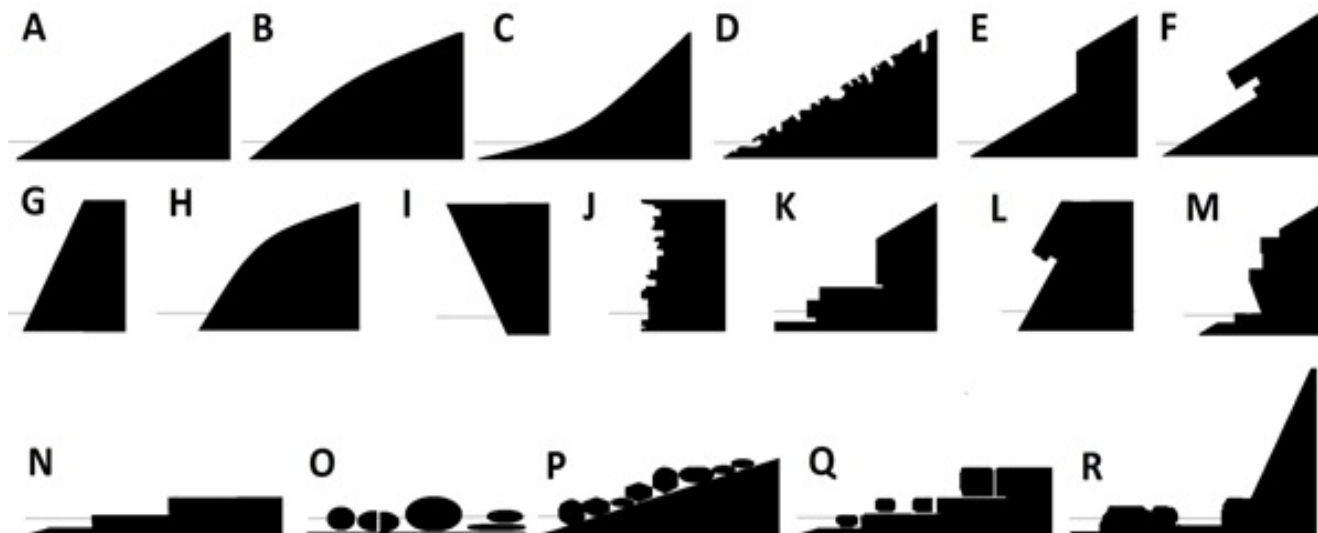


Figura 1 – Tipos de perfis da costa rochosa do Estado do Rio de Janeiro: A) costão retilíneo, B) costão convexo, C) costão côncavo, D) costão rugoso, E) costão-falésia, F) costão-teto, G) falésia inclinada, H) falésia convexa, I) falésia negativa, J) falésia dentada, K) falésia com bancada, L) falésia-teto, M) falésia composta, N) bancada, O) campo de blocos em ambiente marinho e/ou closter, P) campo de blocos sobre costão, Q) campo de blocos sobre bancada e R) escolho.

4.1 Dinâmica dos Costões

Com base nos levantamentos de campo, foram classificados seis tipos de costões, entretanto, análise de campo e processamento das imagens de satélite do Google Earth, escala de até 1: 2.000, mostram que a maior parte do litoral do Estado é composta pelos costões retilíneo, rugoso e costão-falésia (figuras 2 A, B e C). Os perfis longitudinais dessas formas indicam que a inclinação mais comum fica entre 27° e 32°. Nas áreas expostas às ondas de tempestade, os costões possuem

em média 50m de comprimento (L), considerando a distância entre o nível médio de maré e a linha de vegetação terrestre. Dentro das baías e reversos de ilhas, os comprimentos são bem menores, como mostra a Tabela 1. Os comprimentos variam muito em função da orientação em relação às ondas e também à forma. Em áreas onde ocorre a convergência de fluxos de água arremessados pelas ondas, o comprimento tende a ser maior; já nas áreas onde ocorre a divergência de fluxos, como nas formas convexas, os comprimentos dos costões tendem a diminuir.

Tabela 1: Inclinação e comprimento médio dos costões do Rio de Janeiro

Classe (°)	Costão – inclinação entre 15° e 45°				
	15 - 20	21 - 26	27 - 32	33 - 38	39 - 45
Distribuição (%)	15	18	48	12	7
L costa exposta (m)	70	60	50	40	30
L semi exposta (m)	50	40	30	20	10
L costa protegida (m)	5	4	3	2	2

Foram traçados 15 transectos longitudinais no tipo costão-falésia, que é muito comum (Figura 2C). A parte inferior próxima ao nível do mar é formada por rampa rochosa com baixa inclinação (costão), e na a parte superior o perfil passa abruptamente para falésia, por exemplo, passando de inclinação de 30° para superior a 80°, podendo chegar ao máximo a 135°. Acima desse valor passa a ser classificado como teto.

Costão-falésia é formado pelo rompimento ou quebra das placas rochosas produzidas por diaclasamento. Blackwelder (1925) prefere chamar esse processo de descompressão ou esfoliação de relevo dômico. A parte de falésia tem altura que normalmente varia entre 1 e 3m, o que significa a espessura da placa rochosa (Figura 3). As mais espessas observadas no litoral do Rio de Janeiro têm entre 15m e 20m. Em relação à altura mínima para ser considerado falésia, este trabalho sugere 1m porque abaixo desse valor as ondas e os fluxos de água arremessados passam por sobre elas com facilidade. Inclusive as marés têm oscilação que frequentemente ultrapassa essa altura. As rupturas de declive formadas pelas placas quebradas com espessura inferior a 1m podem ser consideradas como degraus nos costões. Quando o processo de deslocamento ocorre nas rampas com inclinação superior a 45°, a forma produzida pode ser classificada como falésia-teto. Esses deslocamentos geralmente se desenvolvem em forma de arco e originam

dois tipos de estruturas: os horizontais formados por tetos; e os verticais, em forma de diedro. Quando as ondas se chocam contra esses diedros, a convergência dos fluxos e energia pode arremessar água a alturas bem maiores. Um exemplo disso foi a destruição de parte de uma ciclovia no costão da Avenida Niemeyer em abril de 2016, no bairro de São Conrado.

Os costões marinhos delimitados pela vegetação terrestre possuem extensões variadas. Os observados no Estado do Rio de Janeiro têm seus comprimentos longitudinais determinados por: a) direção em relação às ondas de tempestade; b) forma da encosta; c) inclinação; e d) profundidade do leito marinho adjacente. A textura da rocha pode influenciar, mas são necessários trabalhos específicos para mostrar essa relação.

No Estado, as formas das ilhas, das pontas e dos promontórios tendem a ser arredondadas, ou do tipo convexo-convexo, inclusive várias ilhas pequenas têm formas que se aproximam de cone, topo de esfera e meio-cilindro. Em planta, esses tipos de relevo geralmente têm a forma elipsoidal; muitos são alongados na direção SW-NE. As vertentes SE e NW normalmente são mais íngremes, entre 33° e 38°, enquanto as vertentes SW e NE tendem a ser mais suaves, com inclinação entre 15° e 25°, geralmente formando pontas. Nelas são formados os costões mais extensos, podendo atingir 100m.

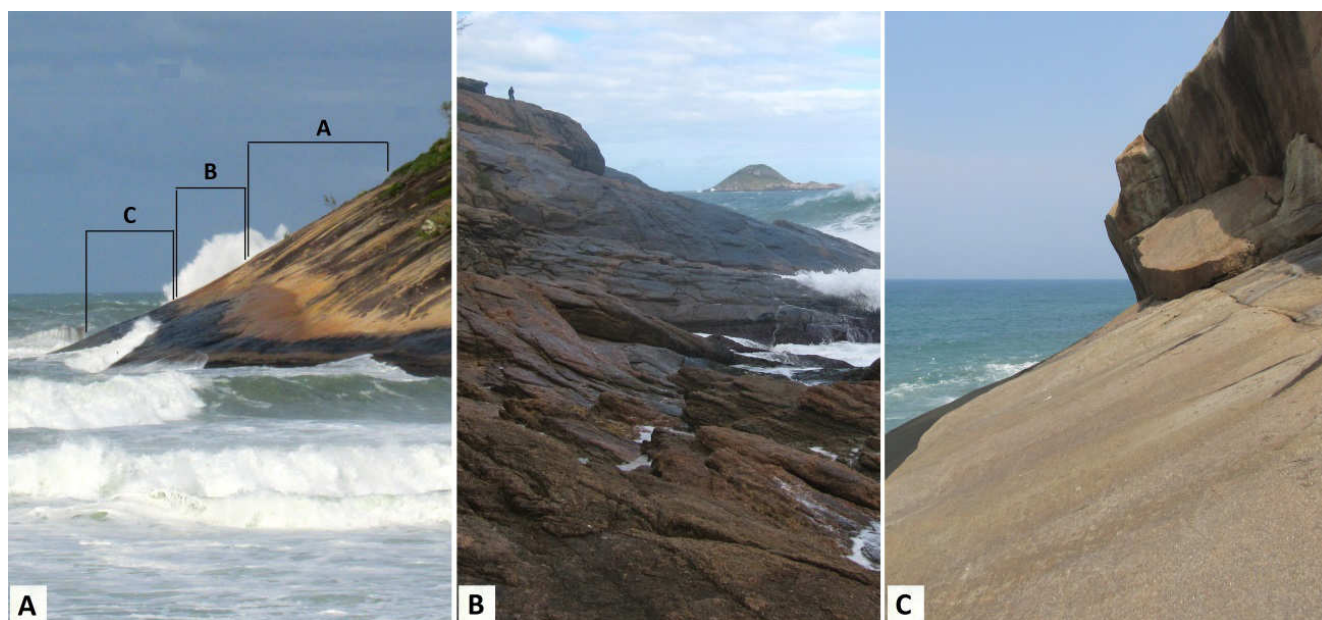


Figura 2 – Tipos de costões mais comuns no litoral do Estado do Rio de Janeiro: A) costão retilíneo apresentando três faixas (A, B e C) que mostram áreas de atuação de ondas regulares e ondas de tempestade; B) costão rugoso e C) costão-falésia – Fotos do autor.



Figura 3 – Blocos originados pela evolução das juntas de descompressão: A) Costão-teto e costão-falésia produzidos pelo desprendimento dos blocos – Itacoatiara, Niterói; B) blocos em forma de paralelepípedo destacados e deslizados, mantendo os ângulos originais que se formaram na ruptura – Costão falésia no Recreio dos Bandeirantes - Fotos do autor.

Nos promontórios e ilhas de forma dômica ou arredondada, quando as ondas de tempestade chegam perpendicular à parte central do relevo, os fluxos de água sobem e descem os costões atingindo alturas entre 40 e 55m. Nas laterais os fluxos arremessados pelas ondas sobem no sentido diagonal, à medida que o gradiente da encosta suaviza devido ao arredondamento do relevo, chegando a distâncias maiores. Nessas áreas deve ocorrer a maioria dos acidentes fatais com pescadores e turistas, entretanto, isso não é confirmado pelo Grupamento Marítimo do Corpo de Bombeiros (GMAR), devido à ausência de uma estatística detalhada e ao fato de o GMAR estar presente apenas nos litorais urbanos mais importantes. Ou seja, os acidentes ocorridos fora dos grandes núcleos urbanos ou turísticos, normalmente não são computados.

Nesse tipo de costa rochosa são observadas três faixas horizontais paralelas bem distintas, cujas larguras dependem da forma do perfil: retilíneo, côncavo ou convexo. Por exemplo, nos costões retilíneos de 30° de inclinação e 50m de comprimento, as larguras dessas faixas se equivalem, cada uma variando entre 15 e 18m

de largura (figura 2A):

A) A faixa superior é atingida somente pelas ondas da tempestade mais fortes. Ela é coberta por fungos liquenizados de várias matizes de marrom, que produzem cores típicas das encostas rochosas continentais. Essa faixa é geralmente limitada pela vegetação terrestre, podendo ser floresta ou vegetação rupestre. O limite superior formado pela vegetação mostra onde chegam os fluxos arremessados pelas ondas mais altas, que podem ter recorrência de vários anos.

B) As mensurações nos costões do Estado indicam que a faixa intermediária é uma zona de lavagem, atingida por ondas entre 1 e 3m de altura onde os fluxos de água sobem e descem. Todavia, isso depende também da conjunção entre altura da onda e nível da maré. A energia hidráulica na faixa B (ou faixa intermediária) é elevada e, por isso, raramente algum tipo de organismo consegue se fixar. A rocha tende a manter a cor original, inclusive por polimento.

C) A faixa inferior é influenciada diretamente pelas marés e ondas de todos os tamanhos, onde proliferam diversos organismos marinhos. Biólogos e oceanógrafos

dividem essa faixa em supralitoral, mediolitoral e infralitoral. Esta última fica permanentemente submersa, de acordo com Coutinho (2002).

Essas faixas se mostraram confiáveis na indicação de até onde determinados tipos de ondas de tempestade alcançam, podendo auxiliar no planejamento de ocupação, uso ou mesmo na segurança do público. A resposta prática está na destruição de construções, tais como residências, estradas e ciclovias, entre outras.

4.2 Características das Falésias de Rochas Ígneas

Foram classificadas 7 tipos de falésia de rocha cristalina. Além das formadas por deslocamento, existem ainda as originadas pela evolução das escarpas de falhas e fraturas geológicas, produzindo falésia inclinada, falésia côncava e falésia negativa (figuras 4 A e B). A erosão dos diques verticais e do contato

entre diferentes tipos de rochas ígneas e metamórficas, também geram muitas falésias. Esses dois tipos produzem as escarpas mais altas, podendo ser superior a 100m de altura. Elas podem ser encontradas em formas geográficas como cânion e ponta que evoluíram dos falhamentos e diques intrusivos de rochas menos resistentes.

As falésias esculpidas nas rochas paragneisses normalmente apresentam aspecto dentado, com muitas fendas produzidas nas faixas menos resistentes. Porém, são comuns também estruturas em forma de teto nas faixas mais resistentes que sobressaem (Figura 3C). Nas áreas onde há contato de rochas diferentes, é normal o desenvolvimento de falésias compostas (*composite cliff*), cujas formas são indefinidas, de aspecto ruíniforme. Elas são comuns entre Arraial do Cabo e Búzios.

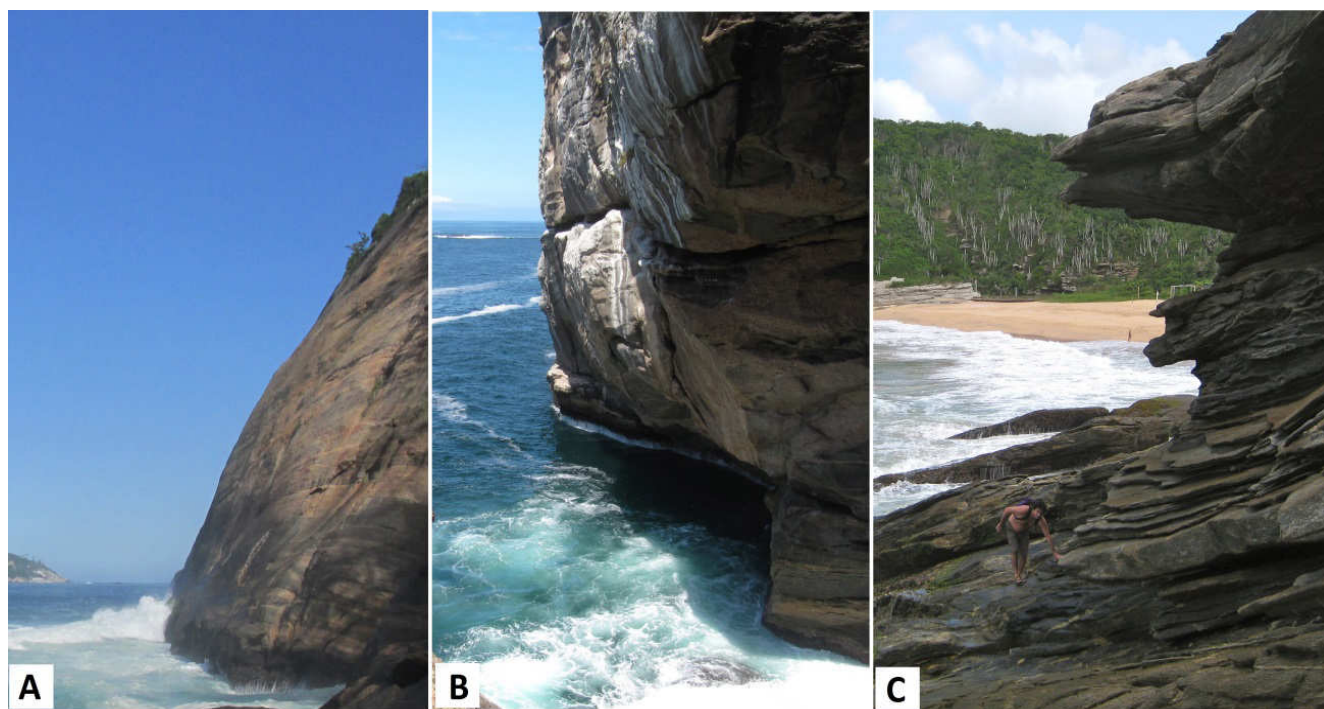


Figura 4 – Falésias de rochas cristalinas típicas do litoral do Estado do Rio de Janeiro: A) falésia convexa; B) falésia negativa e C) falésia dentada – Fotos do autor.

As falésias formadas nas rochas ígneas e metamórficas no Estado do Rio de Janeiro têm gênese bem diferente das formadas nas rochas sedimentares do Grupo Barreiras, que não são consideradas aqui. O trabalho fundamental das ondas parece ser no alargamento e aprofundamento das fraturas situadas na base das falésias e costões. A suspensão e a quebra da placa rochosa pelo próprio peso

produzem blocos, fazendo a falésia evoluir, gerando, inclusive, as bancadas estruturais (Figura 4). De acordo com Carter & Woodroffe (1994), existe uma relação direta entre densidade de fraturas na rocha e falésia. Por exemplo, aplicando essa correlação, a maior densidade encontrada ficou no trecho entre Arraial do Cabo e Búzios, justamente onde a falésia é o perfil predominante.

4.3 Bancadas e Terraços Marinhos

As bancadas estão presentes em poucos setores do litoral, mas são comuns entre Rio das Ostras e Macaé. Elas podem ter sido formadas por processos geomorfológicos tipicamente continentais durante o Pleistoceno, em função das estruturas horizontais nas rochas e dos sistemas de fraturas (figuras 5 A e B). Sobre algumas bancadas podem existir blocos rochosos que se destacaram e foram erodidos. A evolução de algumas bancadas formam escolhos. Isso ocorre quando o aprofundamento de fraturas pela erosão e o consequente preenchimento pela água marinha e/ou subida do nível do mar isola porções rochosas que podem ter formas distintas.

A ação das ondas deve ter papel secundário nesse tipo de forma, ou não deve ter influenciado muito, devido à alta resistência dos granitos e gnaisses, e também pelo regime de ondas com energia de baixa a moderada. Se fosse o contrário, essas formas seriam mais frequentes. Por isso os termos “terraço” ou “plataforma de abrasão” devem ser evitados nessas situações, porque denotam

nivelamento da rocha pela erosão marinha, como ocorre nos arenitos e nas lateritas do Grupo Barreiras. Na Baía de Guanabara existem terraços marinhos (plataformas de abrasão) e falésias produzidas pelas ondas, mas as rochas ígneas se encontram em estágio avançado de decomposição química.

4.4 Campo de Blocos

“Campo de blocos costeiro” não é uma forma, e sim uma condição geomorfológica. Comumente os blocos são formados pelo deslocamento das vertentes rochosas. Depois de destacados das encostas, eles rolam e formam depósitos na base. Quando a ruptura da placa rochosa ocorre em rampas de baixa inclinação, os blocos simplesmente se soltam e deslizam pela força da gravidade, mantendo formas em ângulos retos, como cubo, prisma quadrangular e paralelepípedo, de acordo com ampla literatura. Os maiores encontrados na costa do Estado possuem aproximadamente 15m de lado (cubos) e 20m de comprimento.

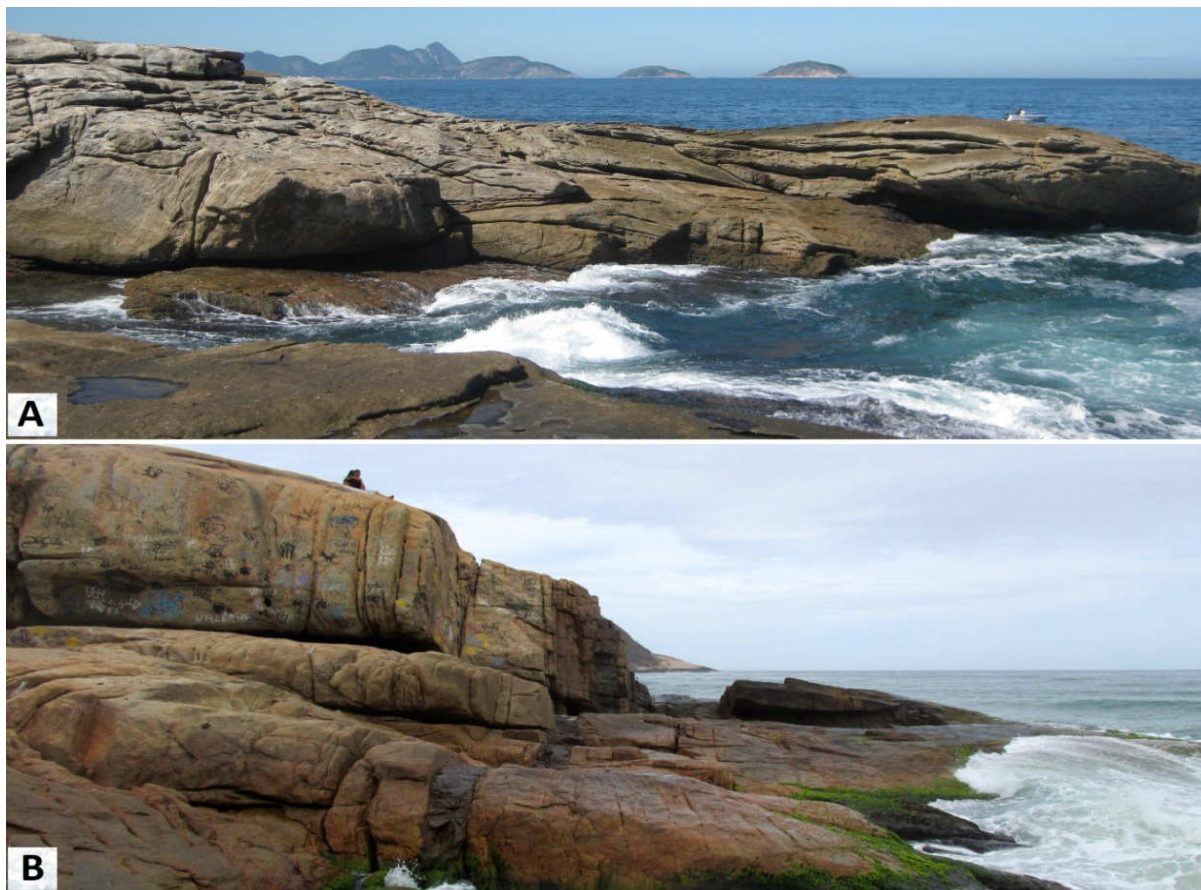


Figura 5 – Bancadas encontradas no litoral do Estado do Rio de Janeiro: A) Ilha da Cotunduba, na Baía de Guanabara e B) Praia da Macumba, no Recreio dos Bandeirantes. Nesses exemplos as bancadas estão associadas à evolução de falésias produzidas por uma conjunção de processos geomorfológicos continentais e marinhos – Fotos do autor.

Quando sofrem rolamento, eles tendem a ter formas mais complexas, e quanto maior a distância rolada, menor tende a ser o tamanho. Isso ocorre devido a fragmentação, embora eles possam quebrar com o tempo em função do rompimento do núcleo por expansão, como sugere Ollier (1975). Foi considerada também a forma dos blocos. Nos não-esféricos, as arestas mais angulosas indicam fragmentação mais recentes. Com o tempo, as arestas ficam arredondadas, como indica Krumbein (1941). Este tipo de análise também ajuda a classificar se a fragmentação teve origem natural ou antrópica, de acordo com Franklin & Katsabanis (1996). Com isso foi possível identificar campo de blocos de origem antrópica e mista (Figura 6).

Bigarella & Freire (1960) e Bigarella & Becker (1975) fazem referências aos campos de blocos litorâneos como “cascalheiro marinho” ou “depósitos rudáceos”. Segundo eles, esses depósitos sofreram retrabalhamento

de depósitos coluviais continentais, com a remoção do material mais fino pelos processos marinhos. Em muitas áreas os campos de blocos em ambientes marinhos parcialmente submersos, formam zonas de proteção, onde é observada grande concentração da fauna bentônica, como vem sendo descrito por pesquisadores, como Coutinho (2002). Todavia, neste trabalho este tipo é denominado de “cluster” para poder ser diferenciado dos outros tipos.

Os blocos residuais expostos no litoral foram produzidos no próprio local pela alteração química e física do substrato rochoso diaclasado, em períodos de nível de mar baixo durante o Pleistoceno. Ou seja, formaram-se em ambiente continental e não sofreram transporte, possuindo forma arredondada. No Brasil esse processo foi bastante estudado por Bigarella *et al* (1994). Na costa do Estado esses blocos estão presentes sobre costões de baixa inclinação, sobre as bancadas estruturais ou mesmo em ambiente marinho.



Figura 6 – Campo de blocos sobre costão, no Grumari – Esse depósito é formado por blocos produzidos no local, por blocos rolados do alto da encosta por movimentos de massa e por blocos produzidos artificialmente durante a construção da estrada. Esse diagnóstico foi feito em função das formas e das litologias – Foto do autor.

5. Zoneamentos da Costa Rochosa em Função do Tipo de Perfil Longitudinal

Com os 160 transectos obtidos e análise da exposição do litoral em relação às ondas de tempestade, relevo, tipo de rocha e formas geográficas, foi possível criar 13 zonas distintas relativas à costa rochosa do Estado (Figura 7).

Península da Juatinga (1) - Essa área apresenta relevo montanhoso com altitude de até 1.098 m, com

longas vertentes que chegam ao mar. Apresenta forte controle estrutural produzido por falhas e fraturas nas rochas predominantemente graníticas. O litoral apresenta muitas reentrâncias retilíneas, formando pequenas baías rochosas (abras), agulhas, cânions e pontas, além de pequenas praias embutidas. O perfil predominante é do tipo costão-falésia, com elevada quantidade de blocos de grande porte. Parte considerável desses fragmentos rochosos foi produzida pelo quebramento das placas formadas pela expansão por descompressão, originando

falésias sobre os costões. Entretanto, em certas áreas há blocos que rolaram das longas vertentes em episódios de movimentos de massa, de acordo com a diferença litológica dos blocos e pela forma arredondada. Como exemplo, em Trindade há blocos de granito que repousam sobre bancada de gnaisse.

A energia hidráulica do setor S e SE dessa zona é alta, devido à exposição às ondas de tempestade de SW e S e o *swell* de E. Isso pode ser interpretado em função da extensão dos costões livres de vegetação. As ondas lançam fluxos de água e sedimentos em alturas que chegam a média de 50m nas rampas rochosas com inclinação entre 27° e 32°. O setor NE dessa parte da costa é recortada, com muitas abras, cânions e pontas, além de pequenas praias embutidas. Por isso a energia é menor em função da proteção contra as ondas de SW e S, mas recebe ondulação de E.

Reentrâncias de Parati Mirim (2) – É dominada por montanhas e morros com vertentes curtas e longas que chegam ao mar. São esculpidas em granitos e gnaisses. O forte controle estrutural forma uma zona distinta com reentrâncias que proporcionam proteção total contra as ondas, exceto as geradas pelos ventos locais, que raramente passam de 0,3m de altura. Predomina uma costa retilínea praticamente sem costões expostos, porque a floresta e a vegetação rupestre chegam próximas ao nível da água cobrindo praticamente toda a rocha, exceto os extensos campos de blocos que ficam dentro da água. Essa grande quantidade de fragmentos de rocha mostra que a erosão marinha pouco tem a ver com a origem deles; os processos típicos de encostas devem ser predominantes porque essa zona fica protegida das ondas.

Litoral e Arquipélagos de Parati (3) - É dominada por pequenos morros com formatos variados, que podem ser alongados e dômicos, esculpidos em gnaisse e granito. Eles produzem promontórios convexos e muitas ilhas pequenas. O perfil geral é costão com inclinação moderada, raramente ultrapassando 30°. Quando entram as ondulações fortes de S e SE, as refrações dessas atingem as vertentes direcionadas para SE e E, lavando os costões mais suaves em até 25m encosta acima. Porém, isso não ocorre quando essas vertentes ficam protegidas por ilhas que dissipam as ondulações. As vertentes opostas (N, NE, NO e SO) não são afetadas pelas ondas de tempestade, por isso os costões expostos possuem pouca extensão, entre 2 e 5m.

Litoral de Mambucaba e Arquipélago (4) - Essa costa se apresenta geralmente retilínea. As ilhas são alongadas com até 2km de extensão, direcionadas pelos fraturamentos SW-NE, produzindo muitas pontas, agulhas e abras. O perfil geral é de costão com inclinação moderada. Apesar de estar dentro da Baía de Ilha Grande, essa zona recebe as ondas de tempestade de S e SE, que chegam com certa energia, lavando os costões em até 30m encosta acima, podendo chegar a 40m quando a inclinação fica abaixo de 25°. As rochas predominantes são gnaisses, que dão aos costões uma textura superficial rugosa.

Litoral de Angra dos Reis e Arquipélagos (5) - Também se apresenta muito recortada com vários esporões mergulhando no mar, dando origem a dezenas de ilhas alongadas de SW-NE. Esse relevo proporciona proteção contra as ondulações de SW, S, SE e E, ou seja, são caracterizados como área de baixa energia hidráulica. De acordo com a CPRM (2007), as rochas são granitos Mombaça e biotita gnaisse do complexo Rio Negro. Os costões continentais e insulares têm inclinação moderada, com pequena extensão exposta, entre 2 e 5m. Ocorrem ainda muitos blocos depositados na base, em ambiente marinho. A expansão urbana ocupou boa parte desse litoral rochoso de alto risco; foram construídas ruas, casas, edifícios e outras facilidades sobre costões e blocos. A análise desses depósitos mostra que existem fragmentos rochosos que rolaram em diversas fases e continuam muito ativos, considerando a escala de tempo geomorfológica. Periodicamente novas unidades são incorporadas em função dos movimentos de massa que podem ser do tipo: queda de bloco, deslizamento rotacional e deslizamento translacional, todos comuns na região.

A energia dessa zona é maior nas vertentes SW e S da Ponta Grossa e das ilhas mais distantes que fecham essa parte da baía, porque recebem diretamente as ondulações provenientes dessas direções.

Litoral de Conceição de Jacareí (6) - Constitui-se em um trecho de aproximadamente 20km de extensão, possui um promontório convexo, uma ponta, trechos retilíneos e algumas ilhas. Recebe ondulação de SE que sofre refração promovida pela Ilha Grande e pela Ilha da Marambaia, porém, elas chegam com certa energia nessa zona. As encostas entre 27° e 32° de inclinação formam costões expostos que chegam a ter 20m de comprimento. Uma parte considerável da costa se encontra urbanizada, dando continuidade ao processo

de expansão da cidade, como ocorre nas zonas vizinhas.

Vertente Norte da Ilha Grande (7) - De acordo com a CPRM (2007), essa costa tem dois tipos de granitos: o predominante é o charnockito, seguido pela biotita granito. O relevo é montanhoso com longas encostas que terminam no mar. O controle estrutural produzido pelas fraturas geológicas é forte, proporcionando uma costa com trechos retilíneos mesclados com abras e pontas. A maior parte da costa rochosa é composta por campos de blocos que podem ser residuais ou foram depositados. Toda a vertente norte da Ilha Grande é protegida das ondas, a vegetação se aproxima da linha de maré, deixando apenas os blocos livres.

Vertente Sul da Ilha Grande e da Ilha da Marambaia (8) - A geologia da vertente sul da Ilha Grande é a mesma da vertente norte, porém, a geomorfologia difere devido às três planícies costeiras e praias relativamente extensas. Esse lado da ilha é exposto diretamente às ondas de tempestade de SW, S e SE, o que muda bastante o aspecto da costa rochosa, que possui pontas longas e barreiras rochosas, seguindo o alinhamento estrutural SW-NE. A maior parte do litoral é coberta por blocos de grande porte, mas em alguns setores tem costões livres, do tipo costão-falésia. Nos costões retilíneos com inclinação entre 15° e 20° as ondas chegam a 70 metros encosta acima, porém, a inclinação geralmente fica em torno de 30° e o comprimento das rampas livres de vegetação é de aproximadamente 50m. As características das costas rochosas Sul e Oeste da Ilha da Marambaia são as mesmas da Ilha Grande.

Litoral Mangaratiba-Baía de Sepetiba (9) - A litologia predominante é de rochas graníticas e as formas geográficas são bem parecidas com as da costa de Angra dos Reis (Zona 5). Nas costas continental e insular predominam depósitos de blocos. Essa zona é protegida das ondas de tempestade e a vegetação deixa poucas áreas rochosas expostas. Os problemas oriundos da urbanização se repetem nesse litoral, casas e prédios são construídos sobre os depósitos de blocos que rolaram das encostas, poucos foram produzidos no local, sem sofrer deslocamento. Nas ilhas, as vertentes direcionadas para E recebem ondas que podem passar 0,5m de altura. Elas são produzidas pelos ventos mais fortes que sopram nessa direção, sobre uma pista livre de até 25km formada nas águas interiores da baía. Essas ondas produzem costões de até 7 m de extensão.

Litoral Rio de Janeiro-Niterói (10) - Os municípios do Rio de Janeiro e Niterói tem litologia ígnea variada: diferentes tipos de granito, ortognaisse, paragnaisse, migmatito e grandes diques de rochas distintas. Esse trecho difere das outras zonas devido aos esporões dos maciços da Pedra Branca, Tijuca, Tiririca e outros relevos isolados, que avançam para a costa. Entre eles se desenvolvem largas planícies flúvio-marinhas. Há vários promontórios convexos que proporcionam contornos arredondados a vários trechos, formando principalmente costões e costões-falésia. As falésias são produzidas em escarpas de falha, fraturas e contatos litológicos, no continente e nas ilhas. Em Niterói e no setor Leste do Rio de Janeiro predominam ortognaisses que geram textura relativamente lisa aos costões, com alguns blocos associados. Tem alguns cânions e abras encaixados nas fraturas, além de algumas pequenas extensões de relevo dentado formado pelas diáclases, que cortam as rochas em três direções.

O litoral Rio-Niterói, alinhado de W para E, recebe frontalmente as vagas de tempestade que se chocam diretamente contra a costa rochosa, arremessando água a grandes alturas. Nos costões de aproximadamente 30°, os fluxos de água chegam a 60m encosta acima. A altura diminui um pouco nas áreas de maior inclinação, podendo chegar a 50m nos costões em torno de 40°. Nesse trecho tem algumas abras com blocos que conseguem dissipar bem a energia das ondas, como exemplo, a abra que se situa no Recreio dos Bandeirantes. Ela possui uma cobertura de blocos emersos/submersos com diâmetro médio de 0,7 m, formando depósito de 37m de comprimento e declividade em torno de 5°. Os resíduos sólidos flutuantes (lixo) encontrados no local mostram que as ondas das tempestades mais fortes avançaram apenas 34m, indo um pouco além da cobertura de gramínea.

A construção de estradas na costa rochosa desses dois municípios produziu muitos fragmentos de rocha com tamanhos variados, e uma parte considerável foi jogada ao mar. Em alguns lugares formaram-se depósitos exclusivamente de origem antrópica, mas em outros os blocos quebrados artificialmente juntaram-se aos blocos depositados naturalmente, como ocorreu nos bairros: Icaraí, São Francisco, Jurujuba, Urca, Leblon, São Conrado, Barra da Tijuca, Recreio e Guaratiba. Mas pouco se sabe sobre a influência desses novos blocos na dinâmica local. No Recreio dos Bandeirantes um único movimento de massa ocorrido em 2010, na

estrada Prainha-Grumari, depositou blocos com até 6m de diâmetro. Em apenas quatro anos a fauna marinha e as algas colonizaram esses fragmentos, dificultando reconhecer os novos entre os antigos. Isso mostra que eles são rapidamente incorporados pelo ambiente. O mesmo deve ter ocorrido com os blocos originados da construção das estradas ao longo do século passado.

Estuário da Guanabara (11) - A parte interna da baía é pontilhada por muitos afloramentos de granito, que são remanescentes de um relevo bem desgastado e rebaixado, por ser uma depressão do tipo Graben. Em vários setores são encontrados aglomerados com centenas de blocos alinhados, indicando claramente que foram produzidos no local. Como o relevo é muito baixo, esses blocos não devem ter sofrido transporte. Neste trabalho esse tipo de formação foi denominado de “closter” para não confundir com os depósitos, e estão presentes em outras zonas. No litoral das ilhas também tem concentração de blocos espalhados na água. Segundo relatos de naturalistas e viajantes dos séculos passados, esses blocos parcialmente submersos em águas claras chamavam muita atenção devido à beleza que proporcionavam à paisagem, situação muito diferente dos dias atuais.

Na parte mais estreita do estuário da Guanabara, as encostas rochosas do Pão de Açúcar (392m) e de sete morros criam condições parecidas aos das reentrâncias de Parati Mirim. Nas áreas não urbanizadas as vertentes são protegidas das ondas de tempestade e a vegetação avança até próxima à linha de maré, produzindo costões com até 20m, dependendo da orientação da vertente. Entretanto, as tempestades mais fortes de S e SE geram ondas muito altas na parte mais estreita da entrada da baía, em função do afunilamento e da topografia de fundo. Em 29 de julho de 2010, na Ilha da Laje, foram observadas vagas com alturas superiores a 7m na arrebentação, de acordo com cálculos feitos nos registros de vídeos, tendo surfistas como escala. Essa situação não é comum, podendo ter recorrência superior a dez anos, mas tem frequência o suficiente para trabalhar as vertentes S, SW e SE do local. As falésias de Icaraí, Ilha da Boa Viagem e Morro Cara de Cão foram esculpidas por essas ondas, produzindo plataforma de abrasão (ou terraço). Isso foi possível porque as rochas ígneas estão em estado avançado de intemperismo químico, facilitando a ação das ondas. Existem ainda nessa área outros tipos de falésias que são comuns nas outras zonas.

Litoral Jacané-Búzios (12) - As costas rochosas de Jacané (Zona 12a) e Arraial do Cabo-Búzios (Zona 12b) têm geologia complexa. Os diferentes tipos de rochas ígneas e metamórficas intensamente fraturadas produzem uma costa bastante recortada, com muitas ilhas, baías, abras, cânions, pontas, agulhas e escolhos. Os perfis são também complexos, todos os tipos de costões e falésias descritos anteriormente estão presentes. As falésias predominam e grande parte se originou da erosão/evolução das fraturas, dando um aspecto de costa vertical. Tem também muitas falésias que se originaram da erosão entre o contato de litologias diferentes devido ao grande número de diques de rochas intrusivas. Ambos os processos produzem falésias verticais altas, que podem chegar a 100m na Ilha de Cabo Frio, onde aflora rocha de origem vulcânica (piroclasto) e sienito.

O gnaiss de origem sedimentar (paragnaisse) cobre a maior parte dessa zona. A presença de minerais menos resistentes concentrados nas faixas dessa rocha facilita o intemperismo químico e a erosão marinha, promovendo um desgaste diferencial. Isso produz uma malha complexa de fendas e buracos (tafonas), originando texturas de alveolada a muito fendada. As falésias e os costões esculpidos nessa rocha e entre o contato com outros tipos litológicos, normalmente geram aspecto ruiforme, o que deve facilitar a colonização pela fauna bentônica. Os granitos e ortognaises que cobrem pequenas áreas dessa zona tendem a proporcionar texturas mais uniformes, às vezes lisas. Os costões mais extensos têm cerca de 60m e estão orientados para SW.

Existem muitos cânions e chaminés marinhas na costa Arraial do Cabo-Búzios. Essas geoformas tendem a concentrar energia dos fluxos de água e pressão exercida pelas ondas, daí a forma erosiva abrupta, que evoluem seguindo as fraturas ou diques de rochas menos resistentes. Alguns podem ter blocos depositados no fundo, outros têm grutas. De acordo com Trenhaile (1987), a pressão proporcionada pelo aprisionamento e compressão do ar nas grutas é muito alta, desagregando e quebrando a rocha com certa facilidade.

Essa parte do Estado pode ser muito vulnerável aos derrames de óleo e à poluição de uma forma geral, porque o litoral é muito recortado e as rochas porosas têm textura alveolada e fendada, que favorecem o aprisionamento de resíduos sólidos e líquidos.

Litoral Rio das Ostras-Macaé (13) - Na parte continental a costa rochosa se apresenta aplainada pela erosão, existindo alguns afloramentos espalhados. O perfil mais comum é do tipo bancada, que normalmente é associado à pequenas falésias e blocos. Escolhos

também são comuns. Essas características tornam essa zona diferente das outras. Os maiores corpos rochosos expostos são granitoides da suíte Araruama, segundo CPRM (2012), que formam 11 ilhas parecidas com as existentes no litoral Rio-Niterói.

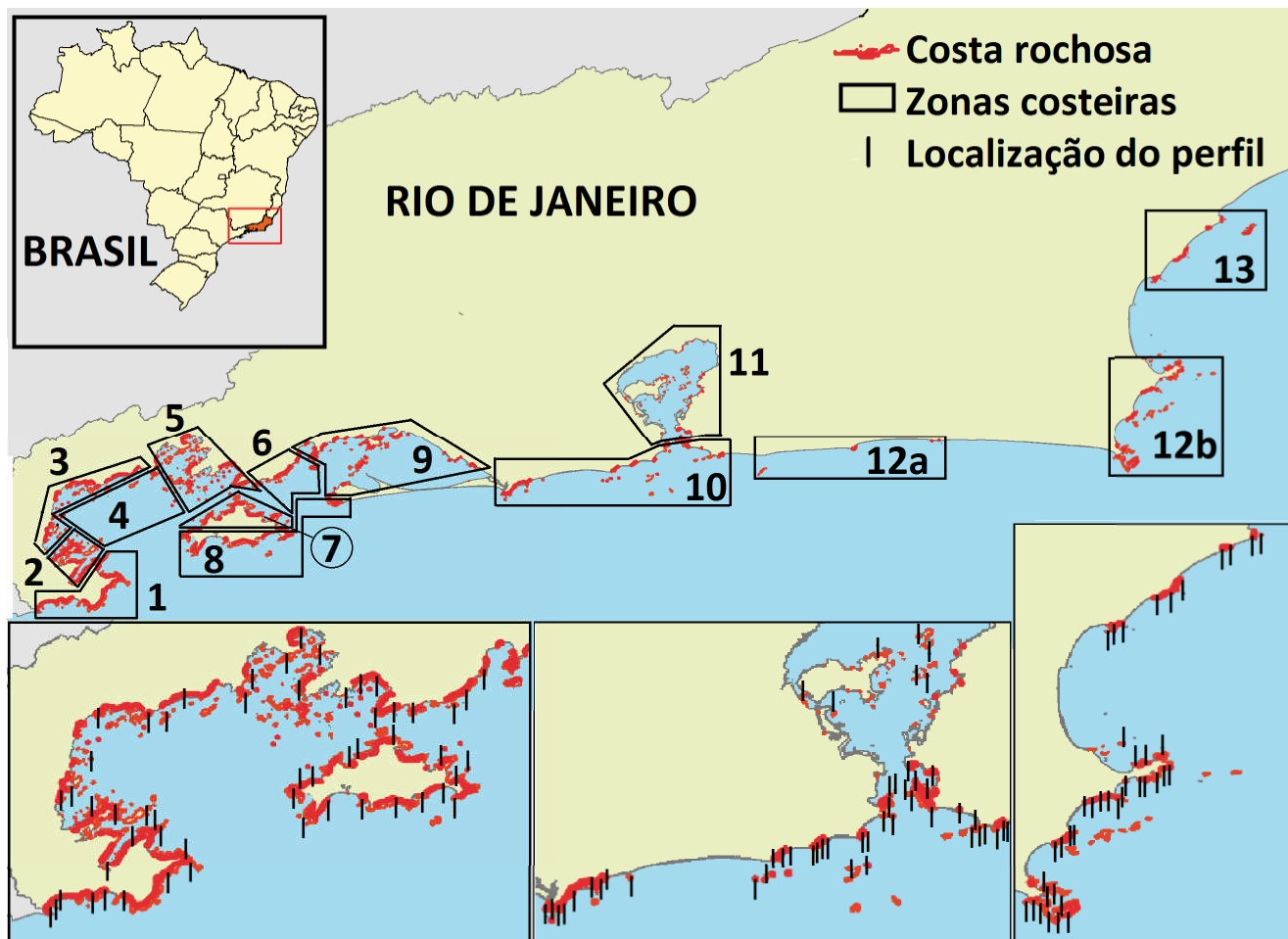


Figura 7 – Zoneamento da costa rochosa do Estado do Rio de Janeiro e pontos onde foram feitos os transectos.

6. Discussão dos Resultados

Foi surpreendente encontrar litoral rochoso tão extenso, que pode chegar aproximadamente à metade de toda a costa do Estado do Rio de Janeiro. Parte considerável é coberta por fragmentos rochosos de grande porte que formam campos de blocos sobre costões, bancadas e depósitos arenosos emersos e submersos. Essa enorme quantidade de fragmentos indica que o litoral montanhoso no Oeste do Estado é muito propício a grandes movimentos de massa, que caem diretamente no mar. Podem ainda produzir ondas muito altas, principalmente nas baías e sacos de maior profundidade.

Observações de campo mostram que nas partes internas das pequenas baías rochosas (abras) formadas por blocos, matacões e calhaus, são comuns depósitos de resíduos sólidos industriais e naturais. Isso ocorre porque os fluxos de água arremessados pelas ondas durante as marés altas de sizígia, e/ou durante as tempestades, transportam esses resíduos em suspensão para a costa, deixando-os presos em armadilhas. Além disso, os fluxos de retorno voltam em subsuperfície ou abaixo dos blocos. As abras com blocos devem dissipar bastante a energia das ondas, embora possam formar passagens entre os blocos onde os fluxos de água correm confinados e com maior velocidade e pressão. Esses

depósitos de fragmentos de rochas formam filtros para os oceanos ao criar armadilhas para os resíduos sólidos e líquidos.

O fundo marinho influencia diretamente a dinâmica da costa rochosa. Nas áreas com profundidade superior a 3m as ondas quebram sobre os costões, arremessando fluxos a grande altura. Ou seja, as maiores extensões de rampa podem estar também associadas a maior profundidade. O fundo marinho composto de blocos proporciona duas situações: se a profundidade for superior a 3m, as ondas quebrarão com energia total sobre o costão; se a profundidade for menor, principalmente entre 1 e 2m, as ondas quebrarão antes da costa e os fluxos de água arremessados sobre os costões atingirão alturas bem menores. Os blocos parcialmente emersos formam barreiras contra as ondas, protegendo a costa, todavia, eles podem também criar pontos de concentração de energia formados entre os grandes fragmentos, comprimidos os fluxos que são

arremessados a alturas maiores e com mais força. Nos substratos marinhos arenosos as condições podem oscilar em função da mobilização do fundo, podendo ficar raso (< 2 m) ou fundo (> 2 m) em poucos dias, e isso deve influenciar no comprimento dos costões.

A maioria das falésias verticais com inclinação superior a 90° protege bem a costa, porém, as do tipo “falésia convexa” tem comportamento hidráulico diferenciado. A parte inferior, começando na zona de maré, normalmente tem inclinação entre 60° e 80°, na parte superior a declividade diminui gradativamente até chegar ao perfil de costão. Em certas áreas, ondas de 3m se chocam contra essas falésias arremessando grandes volumes de água em *splash* a alturas que chegam a 40m. Parte desse volume é arremessada diretamente para o mar, e outra parte cai sobre o costão em queda livre, formando fluxos de retorno sobre a rocha. Essa dinâmica é pouco conhecida, mas deve influenciar nos processos costeiros e no fator de segurança (Figura 8).

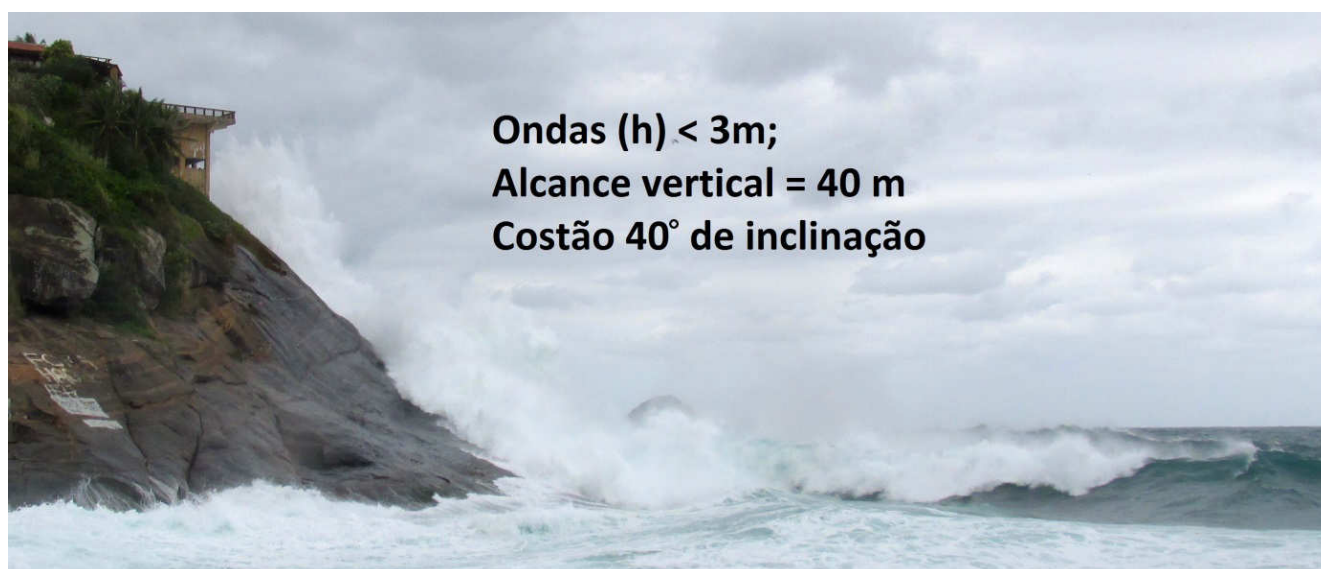


Figura 8 - Ondas atingindo o promontório da Barra da Tijuca, em 15/08/2014. Mesmo sendo uma tempestade com energia mediana, com altura máxima das ondas em 3 metros, o alcance dos fluxos no costão chegava quase a 50 metros, e a altura vertical, a 40 metros (Foto do autor).

As inclinações dos perfis das encostas submersas e emersas são geralmente contínuas, mantendo-se aproximadamente num mesmo gradiente, provando que o controle é proporcionado pelas juntas de diáclases produzidas por alívio de pressão, que seguem a declividade geral do relevo. A erosão marinha normalmente não modifica a inclinação original da encosta; a desagregação dos grãos minerais promovido

pelos ondas parece acompanhar a taxa de intemperismo/ erosão promovida pelos processos continentais. Se o trabalho das ondas fosse mais intenso e maior que os processos continentais, os perfis dos costões seriam côncavos, mas isso não é comum. Dos 64 perfis de costão analisados, apenas 5 (7%) se apresentaram ligeiramente côncavos. Essa situação já havia sido discutida por Emery & Kuhn (1982). O gradiente é o

mesmo nos granitos, paragnaisses e ortognaisses; essas rochas são muito duras e o processo de deslocamento supera a taxa de erosão marinha.

Às vezes a declividade do costão acompanha a inclinação das faixas de foliação paralelas dos gnaisses, o que pode ser apenas coincidência porque ambas estão com o mesmo ângulo de mergulho. Em várias áreas foram observadas que as faixas bandadas dos gnaisses mergulham em direção contrária ao do costão. Em geral a literatura diz o contrário, postula que a inclinação da costa segue o ângulo de mergulho das estruturas litológicas, por exemplo, conforme foi publicado por Carter & Woodroffe (1994). Obviamente isso depende do tipo de rocha, mas parece não ocorrer nos gnaisses da costa brasileira. A hipótese que este trabalho defende é que a inclinação dos costões não é originada pelos processos marinhos, os intemperismos continentais devem ser os responsáveis, contrariando alguns modelos gerais que parecem não se aplicar satisfatoriamente às condições tropicais (Figura 9).

Os processos marinhos produzem rugosidades distintas na superfície rochosa, entretanto, não é conhecido se essas texturas podem ter relação com o nível altimétrico da vegetação e à largura das faixas A B e C nos costões. Em teoria, os fluxos de água arremessados pelas vagas sofrem atrito ao subir as rampas e isso deveria determinar a altura máxima

que eles alcançam. Todavia, as medições de campo não mostram claramente essa relação. Para ondas de altura média, a rugosidade pode ter influência, mas durante as tempestades com ondas superiores a 3 m, a textura da superfície dos costões podem não ter efeito em função do volume de água arremessado. Neste trabalho essa variável entrou como hipótese, sendo necessários testes de campo e em laboratório para uma melhor compreensão. Mesmo com toda a literatura internacional a respeito, sabemos muito pouco sobre a evolução da costa rochosa em clima quente e úmido.

As linhas de falhas, fraturas e os diques litológicos controlam a direção da erosão. Em geral, o perfil da costa segue a direção dessas estruturas que determina se vai ser do tipo costão, falésia ou bancada. A existência dos campos de blocos parece estar associada à extensão da encosta ou à densidade de fraturas. Pode haver ainda uma combinação desses dois fatores.

No Estado foram identificadas 13 regiões com fisiografias costeiras distintas, entretanto, da divisa Oeste até a Ilha da Marambaia, predomina um litoral com depósitos de blocos; nos municípios do Rio de Janeiro e Niterói, predominam costões marinhos; entre Arraial do Cabo e Búzios, é grande a abrangência de falésias cristalinas; e entre Rio das Ostras e Macaé, as bancadas são mais comuns.



Figura 9 – Costão-falésia situado em Jacaré. A inclinação de 27° da rampa corta as estruturas do gnaiss dispostas em mergulho de 45°. Isso indica que essas estruturas não exercem influência no perfil do costão. A hipótese é que a gênese está ligada aos processos continentais, os processos marinhos determinam apenas a rugosidade da superfície.

7. Conclusões

As faixas de lavagem A, B e C formadas nos perfis de costão são importantes para indicar até onde as ondas de tempestade alcançam. Elas podem auxiliar no planejamento de ocupação, uso ou mesmo na segurança do público. Várias edificações destruídas que foram erguidas nas faixas B e C podem ser observadas ao longo da costa rochosa do Estado, por exemplo: Ilha Grande, Rio de Janeiro e Búzios.

A enorme quantidade de blocos de grande porte ao longo da costa oeste do Estado, mostra que ocorrem grandes movimentos de massa que podem produzir ondas massivas e altas dentro das baías mais fundas. Essas ondulações podem avançar sobre o continente e as ilhas.

Os campos de blocos produzem situações antagônicas: podem ter sido produzidos por eventos catastróficos, mas por outro lado, promovem certa proteção à costa, por formar barreiras ou por dissipar a energia das ondas. Produzem ainda habitat para um grande número de espécies da flora e da fauna marinha. Os depósitos de tálus são muito bem estudados nos ambientes continentais, mas na costa, onde formam os campos de blocos, ainda carecem de estudos. São necessários mapeamentos até a profundidade de 20m para conhecer a abrangência deles, porque eles influenciam positivamente a fauna marinha e podem dar contribuições valiosas aos estudos de dinâmica costeira e revelações sobre o Pleistoceno.

Este trabalho encerra parte de uma fase exploratória que se estendeu ao longo de três décadas, com um acúmulo considerável de informações sobre as características físicas da costa rochosa brasileira: do Rio Grande do Sul ao Maranhão. Na extensa costa rochosa do Estado do Rio de Janeiro alguns trechos estudados foram percorridos com caiaques, mas na maior parte o deslocamento foi a pé. Devido à dificuldade e às questões de segurança, algumas áreas foram acessadas utilizando técnicas e equipamentos de alpinismo, principalmente nos trechos com falésias e cânions. As imagens do Google Earth possibilitaram avançar muito nos trabalhos em função da boa cobertura na escala de 1: 2.000.

Referências Bibliográficas

AB'SÁBER, A.N. **Litoral do Brasil**. (2001) Metalivros, São Paulo, 288p.

BIGARELLA, J.J & BECKER, R.D. (1975) International

Symposium on the Quaternary. **Boletim Paranaense de Geociências**, 33, 370 p.

BIGARELLA, J.J; BECKER, R.D.; SANTOS G.F. (1996) **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Editora da UFSC, Florianópolis, 249p.

BIGARELLA, J.J. & FREIRE, S.M. (1960) Nota sobre a ocorrência de cascalheiro marinho no litoral do Paraná. **Boletim da UFPR Geologia**, 3:1-22.

BLACKWELDER, E. (1925) Exfoliation as a phase of rock weathering. **Journal of Geology**, 33:793-806.

CARTER, R.W.G & WOODROFFE, C.D. (1994) **Coastal Evolution**. Cambridge Univ. press, 524p.

COUTINHO, R. (2002) Bentos de Costões Rochosos. In: PEREIRA, R.C. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciências, p.382.

CPRM (2002) Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro 1: 500.000. **Serviço Geológico do Brasil**.

CPRM (2007) Carta Geológica Folha Volta Redonda. Escala 1: 100.000. **Serviço Geológico do Brasil**.

CPRM (2012) Geologia e Recursos Minerais da Folha Macaé, Escala 1: 100.000. **Serviço Geológico do Brasil**, 106 p.

EMERY K. O. & KUHN G.G. (1982) Erosion of rock shores at La Jolla, California, in: **Marine Geology**, 37: 197-208.

FINKL, C.W. (2004) Coastal classification systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme. **Coastal Planning & Engineering**, 20(1) 166-213.

FRANKLIN, A. & KATSABANIS, T. (1996) **Measurement of Blast Fragmentation**. Balkema, Ontário, 315 p.

JOHNSON, D.W. (1919) **Shore Processes and Shoreline Development**. John Wiley and Sons, New York.

KENNEDY, D.M. (2014) The Rock Coast of Australia, in: Kennedy D.M., Stephenson, W.J., and Naylor, L.A. **Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis**. The Geological Society of London, memoir 40:235-245.

KRUMBEIN, W.C. (1941) Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal Sedimentary Petrology**. V 11: 65-72.

LOVHOLT, F.; LYNETT P.; PEDERSEN, G. (2013) Simulating run-up on steep slopes with operational Boussinesq model. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 20: 379-395.

PEREIRA, N.E.S. & KLUMB-OLIVEIRA. (2015) Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the

- central coast of Rio de Janeiro, Brazil. **Journal International Zone Management**, 15(3): 353-370.
- OLIVEIRA, A.I. & LEONARDO, O.H. (1943) Geologia do Brasil. **Serviço de Informação Agrícola**, Série Didática, 2: 813p.
- OLLIER, C.D. (1975) **Weathering**. Longman Group, London, 304p.
- OWENS, E.H. (1994) Canadian coastal environments, shoreline processes, and oil spill cleanup, Ottawa. **Environmental Emergency Branch**, report EPS 3/SP/5, 328 p.
- RUELLAN, F. (1944) Evolução Geomorfológica da Baía de Guanabara e das Regiões Vizinhas. **Revista Brasileira de Geografia**, 6(4): 445-508.
- SANDERS, N.K. (1968) **The Development of Tasmanian Shore Platforms**. Univ. Tasmania, Ph.D. Thesis, 318 p.
- SILVEIRA, J.D. (1964) Morfologia do Litoral. In: **Brasil, a Terra e o Homem**. (Ed.) A. de Azevedo, São Paulo, p. 253-305.
- SHEPARD, F.P. & WANLESS, H.R. (1971) **Our Changing Coastline**. New York, McGraw Hill.
- SUGUIO, K. (1992) **Dicionário de Geologia Marinha**. T.A. Queiroz, Editora Ltda. São Paulo, 171 p.
- STEERS, J.A. (1982) Coastal cliffs: report of a symposium. **Geographical Journal**, 128: 303-320.
- SUNAMURA T. (1992) **Geomorphology of rocky coasts**. Chichester, U.K.
- TRENHAILE A. S. (1987) **The Geomorphology of Rock Coasts**. Oxford University Press, U.K. p. 384.