

# FATORES CONDICIONANTES E PROCESSOS QUE PROMOVEM O RECUO DAS FALÉSIAS NO LITORAL SUL DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL

*CONDITIONING FACTORS AND PROCESSES THAT PROMOTE THE RETREAT OF SEA CLIFFS ON THE SOUTH COAST OF THE STATE OF BAHIA, BRAZIL*

*FACTORES CONDICIONANTES Y PROCESOS QUE PROMUEVEN EL RETIRO DE ACANTILADOS EN LA COSTA SUR DEL ESTADO DE BAHIA, BRASIL*

*FACTEURS ET PROCESSUS DE CONDITIONNEMENT QUI FAVORISENT LE RETRAIT DES FALAISES SUR LA CÔTE SUD DE L'ÉTAT DE BAHIA, BRÉSIL*

CARLOS CÉSAR UCHOA DE LIMA <sup>1</sup>  
RUBSON PINHEIRO MAIA <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor Pleno da Área de Geociências da Universidade Estadual de Feira de Santana.

E-mail: [uchoa@uefs.br](mailto:uchoa@uefs.br), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3499-3560>

<sup>2</sup> Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará-UFC.

E-mail: ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1688-5187>

## RESUMO

Este trabalho objetiva identificar os fatores que condicionam a erosão das falésias no litoral sul do Estado da Bahia. Durante os trabalhos de campo foram descritos os aspectos litológicos e estruturais, tais como, falhas e juntas, grau de laterização e diagênese, e aspectos geomorfológicos como declividade e níveis de dissecação. Ficou constatado que a friabilidade das rochas e a frequência de fraquezas estruturais são os principais fatores condicionantes de erosão. Em contrapartida, o grau de cimentação por sílica e por óxido de Fe de algumas litofácies promovem maior resistência, originando tómbolos e terraços de abrasão. Esses fatores, associados com as elevadas taxas de precipitação, a ação das ondas durante as marés altas e praias estreitas, sem a presença de bermas, determinam a dinâmica erosiva nas falésias, que ocorrem comumente por queda de blocos e por deslizamentos de terra.

**Palavras-chave:** Falésias. Controle Estrutural. Recuo Diferencial. Controle Litológico. Movimentos de Massa.

## ABSTRACT

This work aims to identify the factors that drive the erosion of sea cliffs on the southern coast of the State of Bahia. During fieldwork, lithological and structural aspects were described, such as faults and joints, degree of laterization and diagenesis, and geomorphological aspects such as slope and dissection levels. It was found that the friability of rocks and the frequency of structural weaknesses are the main factors conditioning erosion. On the other hand, the degree of cementation by silica and Fe oxide of some lithofacies promotes greater resistance, creating tumbles and abrasion terraces. These factors, associated with high precipitation rates, wave action during high tides and narrow beaches, without the presence of berms, determine the erosive dynamics in the cliffs, which commonly occur due to rock falls and landslides.

**Keywords:** Cliffs. Structural Control. Differential Retreat. Lithological Control. Mass Movements.

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo identificar los factores que condicionan la erosión de los acantilados de la costa sur del Estado de Bahía. Durante el trabajo de campo se describieron aspectos litológicos y estructurales, como fallas y juntas, grado de laterización y diagénesis, y aspectos geomorfológicos como pendientes y niveles de disección. Se encontró que la friabilidad de las rocas y la frecuencia de fracturas son los principales factores que condicionan la erosión. Por otro lado, el grado de cementación por sílice y óxido de Fe de algunas litofacies promueve una mayor resistencia, generando vuelcos y terrazas de abrasión. Estos factores, asociados a altas precipitaciones, acción de las olas durante las mareas altas y playas estrechas, sin presencia de bermas, determinan la dinámica erosiva en los acantilados, que comúnmente se presenta por caída de bloques y deslizamientos de tierra.

**Palabras clave:** Acantilados. Control Estructural. Retroceso diferencial. Control Litológico. Movimientos de masas.

## RÉSUMÉ

Ce travail identifie les facteurs qui conditionnent l'érosion des falaises de la côte sud de l'État de Bahia. Lors du travail sur le terrain, nous avons décrit les aspects lithologiques et structuraux, tels que les fractures, le degré de latérisation et de diagénèse, et les aspects géomorphologiques tels que la pente et le degré de dissection. Il a été constaté que la friabilité des roches et la

fréquence des fractures sont les principaux facteurs conditionnant l'érosion. En revanche, le degré de cimentation par la silice et l'oxyde de Fe de certains lithofaciès favorise une plus grande résistance, créant des culbutes et des terrasses d'abrasion. Les taux de précipitations élevés, l'action des vagues lors des marées hautes et les plages étroites, sans présence de bermes, déterminent la dynamique de l'érosion des falaises, qui se produit généralement en raison de chutes de blocs et de glissements de terrain.

**Mots-clés :** Falaises. Contrôle structurel. Recul différentiel. Contrôle lithologique. Mouvements de masse.

## INTRODUÇÃO

As falésias são feições costeiras, definidas como paredões rochosos de faces abruptas, esculpidas principalmente pela ação erosiva das ondas, podendo ser formada durante o soerguimento de porções continentais e/ou rebaixamento do nível do mar, atingindo os mais diferentes tipos de rochas (IBGE, 1992; SUGUIO, 1998). Em relação ao estágio evolutivo, as falésias podem ser ativas, assim definidas por terem suas bases constantemente expostas à subida das marés e consequente atuação das ondas, e falésias inativas, quando as marés mais altas não atingem mais a base das encostas (DAVIDSON-ARNOTT, 2010).

No Nordeste do Brasil, as falésias inativas tiveram seus recuos marcados pelas últimas variações do nível do mar (MAIA, AMORIM, MEIRELES, 2022). Maia, Amorim e Meireles (2022) destacam ainda, que a declividade das falésias entre o Estado do Ceará e Paraíba são asseguradas pela coesão sedimentar resultante do grau de laterização e diagênese, bem como pelo tipo de atividade erosiva, principalmente a abrasão marinha, na base da escarpa, provocando colapso de blocos e deslizamentos de terra. Vale destacar também, que algumas pesquisas utilizando as Geotecnologias têm identificado um significativo recuo das falésias nas últimas décadas, no litoral do Rio Grande do Norte (CAMARA, et al., 2019; SCUDELARI et al., 2021).

No litoral sul da Bahia, entre os municípios de Porto Seguro e Prado, encontram-se falésias ativas, e inativas que podem atingir até 40m de altura, compostas por sedimentos da Formação Barreiras, que data do Neógeno (LIMA; VILAS BOAS; BEZERRA, 2006; ROSSETI, BEZERRA e DOMINGUEZ, 2013; LIMA e DOMINGUEZ, 2015). Nessa zona costeira, destaca-se a Costa do Descobrimento, por ter sido, historicamente a primeira porção de terra da América do Sul, a ser avistada pelos navegadores portugueses no ano de 1500. Além disso, o escritor português Pero Vaz de Caminha descreve em sua carta ao rei de Portugal, parte da geomorfologia com ênfase nas falésias, quando escreve: “*Tem, ao longo do mar, nalgumas partes, grandes barreiras, delas vermelhas, delas brancas*” (LIMA e DOMINGUEZ, 2015).

Lima, Vilas Boas e Bezerra (2006) fizeram uma descrição das litofácies presentes na Costa do Descobrimento, identificando o predomínio de arenitos, arcósios, argilitos e siltitos e, secundariamente, aparecendo os conglomerados. Como estruturas geológicas mais abundantes, encontram-se as juntas tectônicas em pares conjugados de direções NW-SE e NE-SW, embora falhas com rejeitos decimétricos a métricos também sejam comuns (LIMA; VILAS BOAS; BEZERRA, 2006; GONZÁLEZ e LIMA, 2021).

Alguns aspectos geomorfológicos e estruturais da Formação Barreiras, apontam para a ocorrência de eventos tectônicos posterior ao Mioceno. Chama a atenção, por exemplo, o fato de a Formação Barreiras possuir altitudes tão distintas ao longo da costa brasileira (ROSSETI, BEZERRA e DOMINGUEZ, 2013). Situação semelhante foi observada nos sedimentos pleistocênicos que sobrepõem o Barreiras, denominados genericamente de pós Barreiras, localizados no município de Ilhéus, sul da Bahia (SOUZA et al., 2022). González e Lima (2021) utilizaram SIG para gerar mapas de índices estruturais, geomorfológicos e morfotectônicos, concluindo que houve uma ação efetiva da neotectônica na Costa do Descobrimento, auxiliando no modelamento do relevo hoje observado.

É importante enfatizar que, além das áreas urbanas representadas pelas cidades de Porto Seguro e Prado e seus respectivos distritos, a Costa do Descobrimento possui dezenas de quilômetros, ocupados principalmente por empreendimentos de hotelaria, com um dos maiores fluxos turísticos do país, levando uma grande quantidade de visitantes, que têm nas praias limitadas por falésias, suas principais áreas de lazer. Isso traz uma preocupação em relação aos riscos geológicos-geomorfológicos, já que a instabilidade dessas falésias gera movimentos de massa, que podem, em alguns casos, provocar danos aos visitantes e à população local.

Esta pesquisa visa identificar os principais fatores que condicionam o recuo das falésias no litoral sul da Bahia, enfatizando os processos morfodinâmicos que, associados aos condicionantes geológico-geomorfológicos, promovem a evolução da linha de costa entre os municípios de Porto Seguro e Prado.

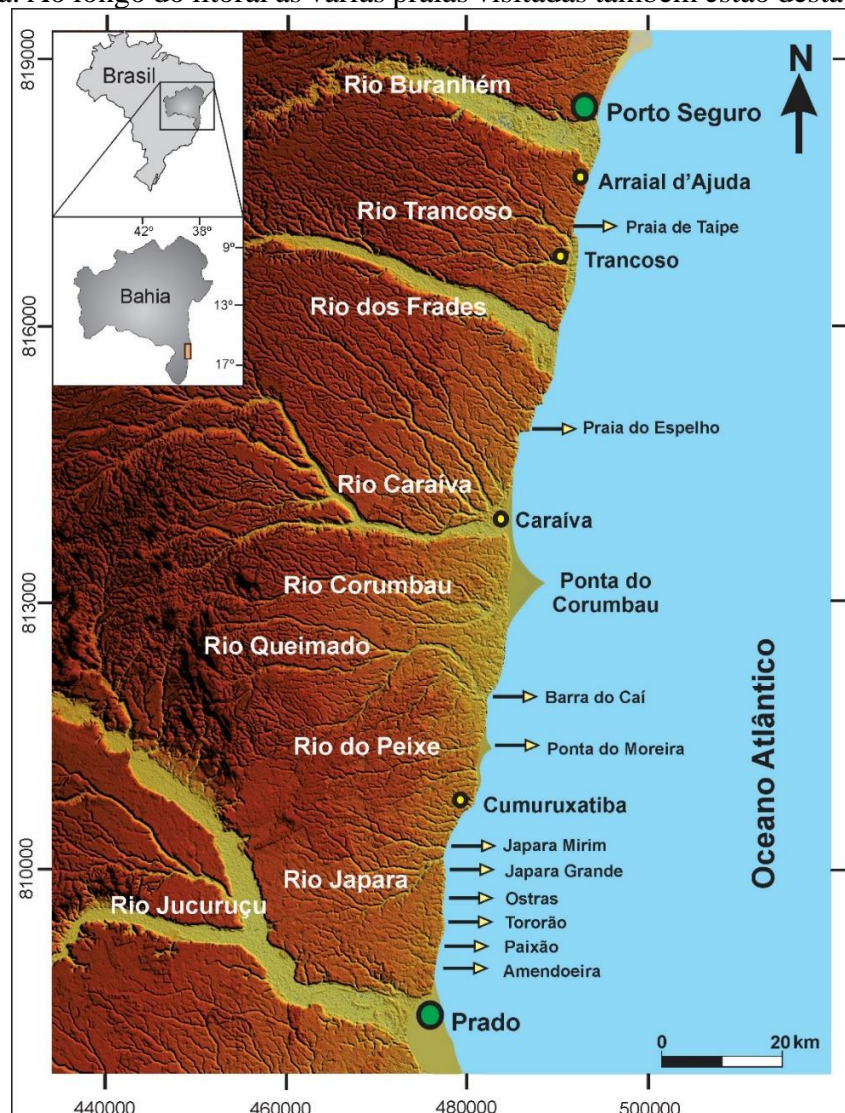
## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no litoral sul do Estado da Bahia, entre as cidades de Porto Seguro e Prado (Figura 1), compreendendo parte da região geográfica denominada de Costa do Descobrimento. O trecho selecionado abrange as bacias dos rios Trancoso, Frades, Caraíva, Corumbau, Queimado, Peixe, Japara e Jucuruçu. A opção por esse trecho se deve à maior concentração de falésias ativas, com algumas delas tendo continuidade de vários quilômetros e alturas que podem atingir 40 m.

A geomorfologia da área é dominada por Tabuleiros Costeiros, que são constituídos por sedimentos do Neógeno, pertencentes à Formação Barreiras, que afloram ao longo da costa brasileira, desde o Estado do Rio de Janeiro até o Estado do Amapá (SUGUIO e NOGUEIRA 1999; ARAI, 2006). Na Costa do Descobrimento, a Formação Barreiras é constituída por uma intercalação de arenitos e lamitos friáveis, que, em muitos casos, sobrepõem a arcósios enrijecidos por cimento silicoso. Em vários trechos um arenito quartzoso com cimento silicoso, indicando maior maturidade mineralógica, aparece, ora nas unidades superiores, ora mais próximo a base das falésias, conferindo maior tenacidade ao depósito sedimentar aflorante (LIMA, VILAS BOAS, BEZERRA, 2006). Além dos tabuleiros, são observadas as Planícies Quaternárias, constituídas por sedimentos marinhos transicionais, sedimentos fluviais depositados em vales rebaixados pela tectônica, dispostos transversalmente à linha de costa e recifes de coral (LIMA, VILAS BOAS, BEZERRA, 2006; LIMA e DOMINGUEZ, 2015).

O clima da região é caracterizado por não possuir estações secas e sujeitar-se sempre às frentes frias vindas do sul do país, que concentram as chuvas entre abril e junho. Segundo a classificação de Köppen (SEI 1998), o clima é do tipo Af, caracterizado por ser tropical chuvoso de floresta, sem estação seca. A pluviosidade média mensal é superior a 60 mm e, a anual, pode atingir 2.000 mm (COSTA DO DESCOBRIMENTO/CPRM, 2000). As temperaturas são comumente superiores a 18°C no mês mais frio e, durante o verão, que costuma ser longo e quente, a média do mês mais quente é superior à 22°C, atingindo máximas acima de 30°C.

**Figura 1** – Mapa de localização da área estudada, mostrando as cidades de Porto Seguro e Prado. Destaque também para os distritos Arraial d’Ajuda, Trancoso, Caraíva e Cumuruxatiba. Ao longo do litoral as várias praias visitadas também estão destacadas no mapa.



Fonte: Dos autores, 2023.

## MÉTODOS

A pesquisa teve como principal estratégia metodológica os trabalhos de campo, além do levantamento bibliográfico e de dados secundários, assim como informações associadas ao grau de diagênese e dissecação das Falésias. Em princípio, foi realizado um levantamento bibliográfico que abordasse tanto os aspectos litológicos, quanto estruturais dos sedimentos da Formação Barreiras, com foco no litoral sul do Estado da Bahia. Em relação aos dados secundários, maior ênfase foi dada para a pluviometria da área estudada.

As atividades de campo foram desenvolvidas, com o intuito de identificar os parâmetros que condicionam o recuo das falésias. Por isso, um levantamento em detalhe foi realizado, observando os aspectos litológicos e estruturais, enfatizando também os processos intempéricos e diagenéticos que possam ter influenciado na resistência física dos depósitos sedimentares que compõem as falésias. Utilizou-se nesse trabalho, técnicas clássicas expeditas, como

identificação e medida das estruturas geológicas com a bússola geológica, ao longo das falésias, além da espacialização das diferentes litologias descritas por Lima, Vilas Boas e Bezerra (2006), com revisitação, releitura e reinterpretação de afloramentos previamente estudados.

Os pontos visitados foram localizados com GPS, associada a uma documentação fotográfica detalhada, com o objetivo de registrar todos os processos que provocam o recuo das falésias, bem como as estruturas e demais fatores que condicionam esse recuo.

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos entre as cidades de Porto Seguro e Prado, sendo subdividido nos seguintes trechos: (1) Entre Arraial D'Ajuda e Trancoso, abrangendo as bacias dos rios Buranhém e Trancoso; (2) Entre Trancoso e Caraíva, abrangendo as bacias dos rios Trancoso, Frades e Caraíva, com destaques para a praia do Espelho onde as falésias atingem 40 m de altura; (3) Entre a Ponta do Corumbau e Cumuruxatiba, envolvendo as bacias dos rios Corumbau, Queimado e Peixe, e; (4) Entre Cumuruxatiba e Prado, trecho mais extenso, com falésias apresentando maiores extensões e elevando-se até 35 m acima do nível do mar. Esse segmento abrange parte da bacia do Peixe e as bacias do Japara e Jucuruçu.

## RESULTADOS

### Trecho: Arraial D'ajuda – Trancoso

Nesse trecho há um predomínio de falésias inativas, separadas das praias por bermas largas, com desenvolvimento de vegetação no pós-praia. Associado às falésias inativas, é comum a formação de imensas voçorocas com formatos que podem variar de alongados a circulares, mostrando intensa dissecação por processos pluviais (Figura 2a). Apesar de existir nas praias mais a norte alguns trechos de falésias ativas, é mais ao sul, na praia de Taípe, onde elas sofrem influência direta das ondas em sua maior extensão. A composição das falésias nesse trecho é dada por uma intercalação de arenitos e lamitos friáveis, com cores que variam de brancas a vermelhas sem, no entanto, formar crostas ou colunas lateríticas significativas.

Na praia de Taípe, o recuo das falésias ativas ocorre de maneira uniforme, fazendo com que morfologicamente elas tenham um aspecto retilíneo, promovendo espaço para a instalação de praias sem embaiamentos (Figura 2b). A friabilidade dos depósitos sedimentares dificulta a preservação de estruturas rúpteis, tais como juntas e falhas. Entretanto, algumas falhas, com rejeitos decimétricos a métricos foram observadas (Figura 2c).

Na parte sul da praia de Taípe, passam a predominar arenitos granulosos brancos cimentados por sílica, conferindo-lhe maior rigidez, fazendo com que se forme um pequeno tómbolo. Diferente do que ocorre nos arenitos friáveis, as juntas aparecem preservadas e servem de condutos para a percolação da água da chuva, propiciando a formação de blocos que, com a ação dos processos erosivos, promovidos tanto pela ação das ondas, quanto pela alta pluviosidade, provocam a queda e tombamento de blocos, que se empilham na base do tómbolo (Figura 2d).

**Figura 2** – (a) Voçorocas em falésias inativas, desenvolvida pela erosão pluvial e deslizamentos associados; (b) Falésias com faces retilíneas na praia de Taípe; (c) Falha normal deslocando camadas sedimentares de diferentes cores da Formação Barreiras; (d) Acúmulo de blocos de arenito rígido, na base do tómbolo. A grande frequência de fraturas conjugadas é um condicionante para a ocorrência da queda de blocos.



Fonte: Dos autores, 2023.

### Trecho: Trancoso – Caraíva

Ao sul do vale do rio dos Frades, na praia do Espelho, aparecem as falésias mais altas da área estudada, atingindo 40 m. Nesse trecho as falésias possuem coloração predominantemente branca, estando, ora ativas, ora inativas (Figura 3a). Quando inativas, as falésias são ocupadas pela vegetação, exceto em áreas onde ocorre movimentos de massa, que nem sempre atingem toda a altura da escarpa, criando pequenos patamares, onde nova vegetação se estabelece.

O sistema de juntas conjugadas aparece melhor preservado nos arcósios basais (Figura 3b) e nos arenitos quartzosos com cimento silicoso que formam, mais comumente, as camadas superiores das falésias. Apesar de maior maturidade mineralógica deste último, texturalmente é muito imaturo, sendo mal selecionado, com grãos subangulosos a subarredondados. Entre as duas litofácies mais rígidas, ocorre uma intercalação de lamitos e arenitos mais friáveis. Apesar do predomínio da coloração esbranquiçada, observa-se em muitos locais, tons pálidos de vermelho, mas não há formação efetiva de crostas lateríticas.

A rigidez apresentada pelos arcósios e arenitos associado à presença de juntas conjugadas, provoca o rompimento das rochas em blocos, fazendo com que, no trecho entre Trancoso e Caraíva, para as falésias ativas, os principais movimentos de massa sejam queda e tombamento de blocos rochosos (Figura 3c). A maior resistência das litofácies presentes potencializam a formação de terraços de abrasão, comuns em grande parte desse trecho, embora só estejam mais visíveis, durante as marés baixas. Esses terraços aparecem associados aos tómbolos observados na praia do Espelho (Figura 3d). A conjugação desses fatores faz com que, mesmo durante as marés altas, parte das faces das falésias não sejam impactadas pelas ondas, permitindo o desenvolvimento da vegetação, originando os trechos de falésias inativas.

**Figura 3** – Praia do Espelho. (a) Sequência de enseadas e tômbolos na praia do Espelho, onde aparecem falésias ativas e inativas. Nesse último caso, as falésias estão cobertas por vegetação arbórea; (b) Juntas conjugadas em arcósios rígidos que propiciam a formação de tômbolos; (c) Blocos caídos de arcósios basais e arenitos da porção superior da falésia, ambos litificados por cimento silicoso. Os terraços vegetados se formam associados aos sedimentos mais friáveis; (d) Durante as marés baixas, os terraços de abrasão associados aos tômbolos são expostos.



Fonte: Dos autores, 2023.

Na porção sul desse trecho, continua predomínio de arcósio na base, aparecendo também espessas camadas de argilitos brancos. Chama a atenção, a quantidade de planos com estrias preservadas, indicando um sistema de falhas que atingem todas as litofácies. Diferentes das juntas conjugadas que possuem planos subverticalizados os planos estriados possuem inclinações mais suaves, variando de 30 a 65°. Apesar da evidência de falhas, nenhum grande deslocamento foi observado. Abatimentos de blocos mais expressivos na área de estudo, somente os que formam grabens transversais à linha de costa, onde se estabelecem vales largos como os que alojam os rios Buranhém e dos Frades (LIMA e DOMINGUEZ, 2015).

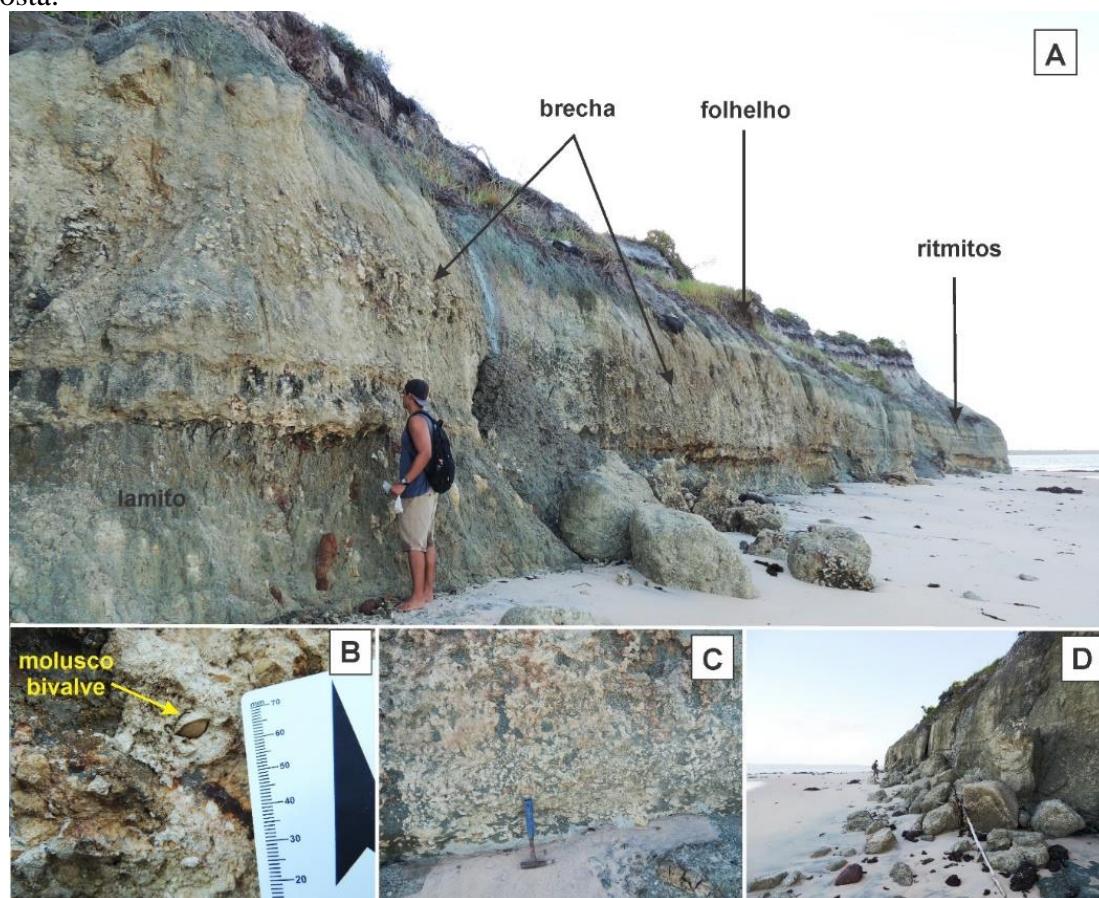
### Trecho: Ponta do Corumbau - Cumuruxatiba

Em grande parte desse segmento falésias ativas não são observadas. Por isso, apenas três praias merecem destaque: a praia ao sul da Ponta de Corumbau, a Barra do Caí e a Ponta do Moreira, que limita uma enseada, com as falésias mais altas desse trecho.

A praia ao sul de Corumbau é a única área onde as falésias não são constituídas por sedimentos da Formação Barreiras, mas sim por depósitos marinhos, provavelmente associados à penúltima transgressão que data de 120.000 anos. As falésias são baixas, não ultrapassando 5 m de altura, possuem cores que variam em tons de cinza e são compostas predominantemente por brechas com fragmentos calcários e matriz siliciclástica e litofácies rítmicas fossilíferas argilo-siltosas, lamitos e secundariamente por folhelhos e margas (Figuras 4a, b). A brecha sedimentar possui matriz lamosa e fragmentos angulosos e/ou disformes, de rochas carbonáticas, incluindo carapaças de organismos marinhos (Figura 4c). Todas as litofácies possuem influência em suas composições de carbonatos e os tons de cinza observado nos sedimentos lamosos revelam a deposição em ambiente redutor.

Devido a pequena altura das falésias, não há a ocorrência de grandes movimentos de massa, embora, pequenas quedas de blocos sejam observadas (Figura 4d). O efeito erosivo do impacto das ondas tem ocasionado um recuo significativo das falésias. Os dados de campo mostram que entre o ano 2000 e 2020, algumas escarpas recuaram aproximadamente 20 m, embora alguns promontórios, com sedimentos carbonáticos mais rígidos, tenham recuado menos.

**Figura 4** – (a) Falésia da praia do Corumbau, com o predomínio de brechas carbonáticas, lamitos e ritmitos de origem mainha; (b) Concha de molusco bivalve na parte superior da brecha, onde há o predomínio de matriz lamosa; (c) Brecha carbonática; (d) A baixa altura da falésia não oferece grande risco, com queda de pequenos blocos que se aglomeram na base da encosta.



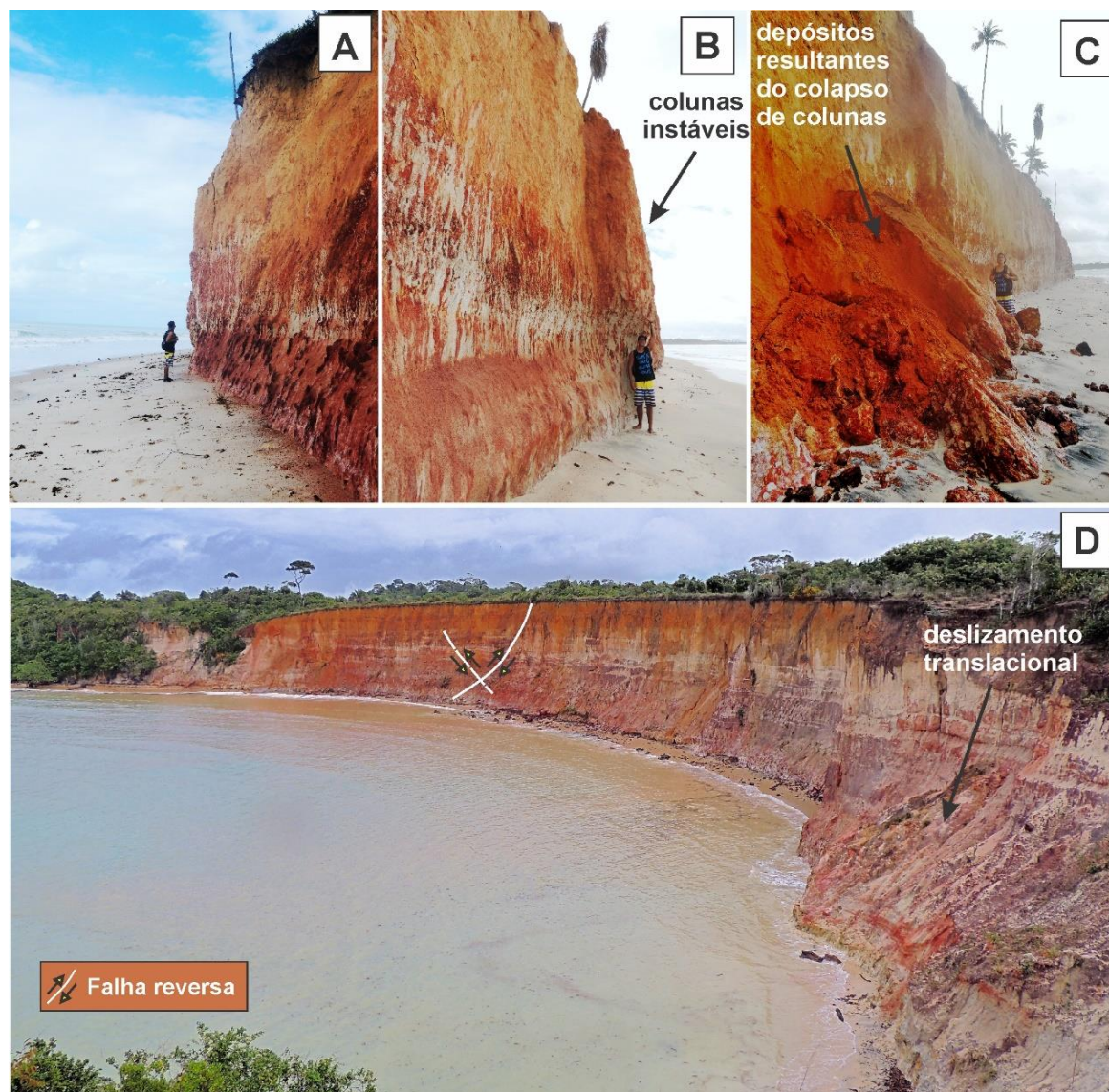
Fonte: Dos autores, 2023.



Em Barra do Caí, as falésias possuem entre 5 e 8 metros de altura, são compostas por uma alternância de argilitos e arenitos avermelhados e amarelos, com o desenvolvimento de colunas lateríticas, predominantemente na parte basal (Figura 5a). As falésias estão constantemente sendo solapadas pelo impacto das ondas, que ao erodir a base laterítica, mais resistente, torna a encosta extremamente instável (Figura 5b), provocando o deslocamento e queda de grandes blocos (Figura 5c). Durante os trabalhos de campo, não foi possível identificar o registro de outros tipos de movimentos de massa, já que no período de maré alta, todo o material depositado no sopé das falésias é removido pela ação da deriva litorânea.

Na praia da Ponta do Moreira se forma uma pequena enseada ladeada por falésias com cerca de 25 m de altura e cores que variam de vermelho a castanho, compostas por uma intercalação de arenitos laterizados e argilitos (Figura 5d). Os arenitos estão dispostos em feições canalizadas, indicando origem subaquosa e cobertos por argilitos, provavelmente associados às planícies de inundação. Como zonas de fraqueza, são observadas juntas e falhas de pequeno rejeito, com essas últimas, se alongando por vários metros. Além disso, os planos de estratificação entre sedimentos de diferentes granulometrias, também se configuram como planos de fraqueza, já que facilitam a percolação da água, provocando erosão diferencial entre as camadas. Nos períodos de maior precipitação, a ocorrência de deslizamentos, é muito comum, diminuindo temporariamente a inclinação da escarpa, que volta a se verticalizar, com a remoção dos sedimentos, durante a elevação das marés. A borda norte da enseada é marcada pela presença de arenito branco mais rígido, apresentando juntas e formando o pequeno promontório que dá nome à praia.

**Figura 5** – (a) Falésias na Barra do Caí com o desenvolvimento de colunas lateríticas na base; (b) O impacto das ondas durante as marés cheias erode a base das escarpas criando colunas instáveis; (c) As colunas colapsam, com os sedimentos se acumulando na base das falésias; (d) Enseada da praia do Moreira, com depósitos recentes de deslizamentos. Algumas falhas reversas foram observadas.



Fonte: Dos autores, 2023.

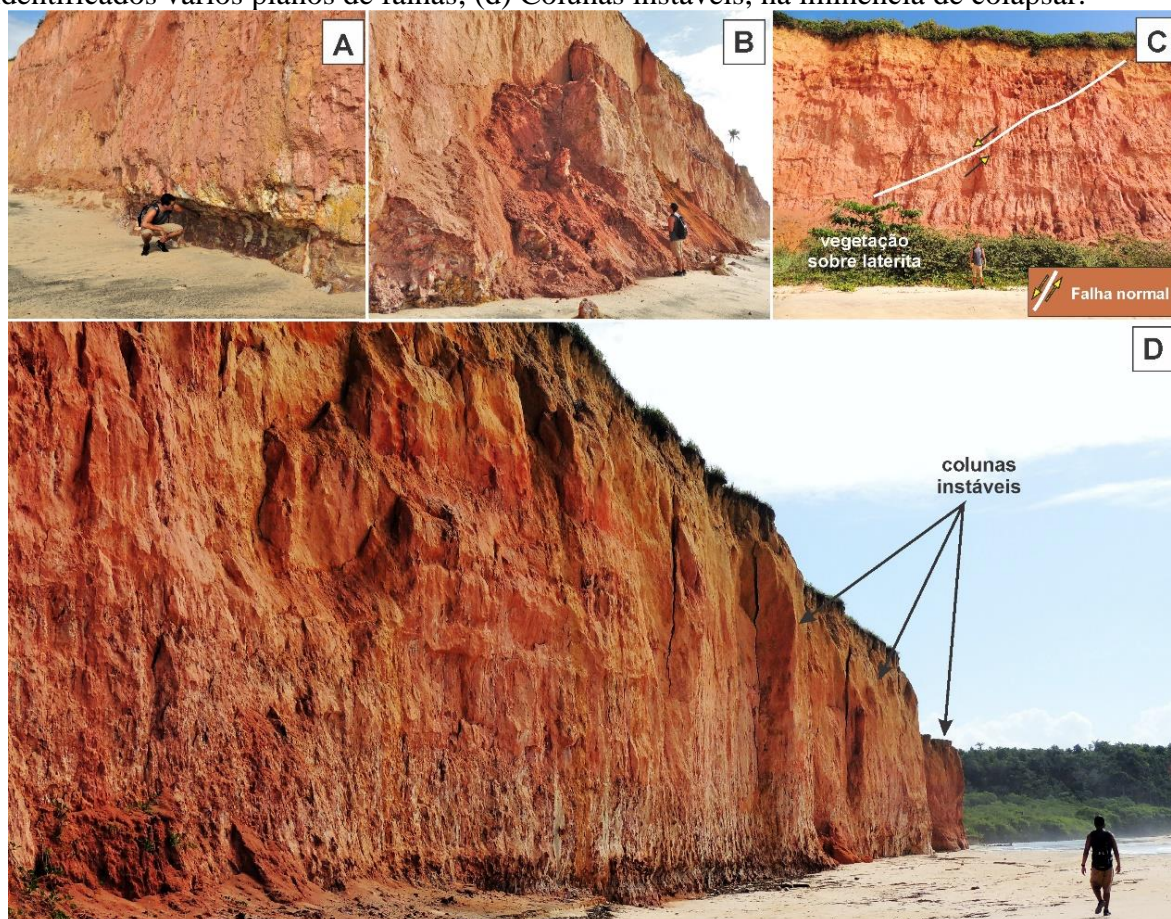
### Trecho: Cumuruxatiba - Prado

Esse trecho possui as maiores extensões de falésias ativas da área estudada, bem como a maior variação em relação à faciologia, resistência aos processos erosivos e tipos de movimentos de massa. Nas praias Japara Mirim, Japara Grande e Ostras, há o predomínio de falésias vermelhas, com até 30 m de altura, compostas pela intercalação de arenitos e argilitos bastante friáveis com formação de colunas lateríticas em alguns locais. A maior parte das falésias expostas são ativas, sendo comum nas marés cheias a escavação da base das falésias pelas ondas, criando reentrâncias erosionais e consequente instabilidade, ocorrendo desmoronamento na face da falésia (Figuras 6a, b). Na praia Japara Grande, se desenvolve em alguns locais, crostas lateríticas na base, criando pequenos terraços onde uma vegetação arbustiva se desenvolve, protegendo a base da falésia. Chama a atenção também, a presença de falhas de baixo ângulo, com planos cruzando toda a altura da falésia (Figura 6c).

Outra feição que chama a atenção é a formação de fissuras paralelas escarpas, com comprimento que pode atingir até 70% da altura da falésia, criando grandes colunas instáveis que ao cair, acumula uma grande quantidade de sedimentos no sopé das falésias. Na praia de

Japara grande foram observadas as maiores colunas de deslocamento de toda área estudada (Figura 6d). Após desmoronar, os sedimentos são removidos parcialmente ou totalmente durante a maré alta seguinte, servindo de suprimento para a manutenção das praias.

**Figura 6** – (a) Reentrância erosional na base da falésia provocada pelo impacto direto das ondas, durante as marés altas; (b) Colapso parcial da face da falésia associada a colunas de instabilidade; (c) Desenvolvimento da vegetação sobre terraço laterítico. Nesse trecho, foram identificados vários planos de falhas; (d) Colunas instáveis, na iminência de colapsar.



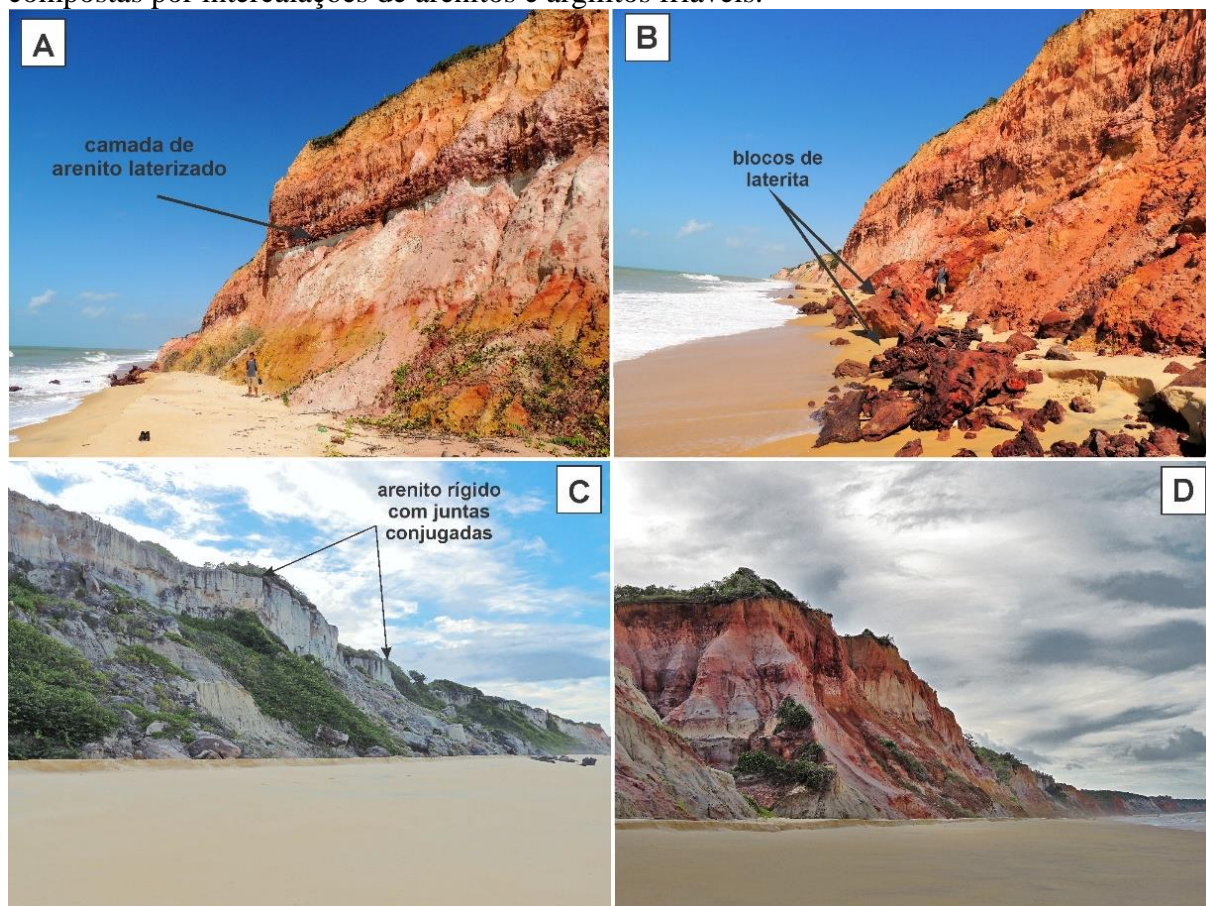
Fonte: Dos autores, 2023.

Na praia das Ostras, ocorre um maior domínio de camadas de arenito completamente laterizado (Figura 7a). Ao longo do processo erosivo, provocado pelo impacto ocasionado pelas ondas e pela água da chuva, os sedimentos resultantes das litofácies mais friáveis são carregadas pelas ondas, enquanto que os blocos de laterita se desgarram, mas, não podendo ser transportados, acumulam na base da falésia (Figura 7b).

Entre as praias do Tororão e da Paixão, as falésias variam entre 5 e 30 metros de altura. Duas situações bastante diferenciadas são observadas nesse trecho: (1) Falésias com coloração branca, compostas predominantemente por camadas espessas de arenitos mal selecionados, com pequenos níveis conglomeráticos e cimentados por sílica, podendo aparecer intercalados a lamitos em camadas menos espessas (Figura 7c). Esses arenitos, ocorrem na parte superior das falésias; (2) Falésias com coloração predominantemente avermelhada, composta por uma intercalação entre arenitos e argilitos, bastante friáveis, exceto, quando se formam blocos de laterita (Figura 7d). Muitas camadas de arenito cimentados por óxidos de ferro possuem formatos canalizados e a diferença na susceptibilidade à erosão entre as camadas, associada

com a concentração de juntas tectônicas e um paredão verticalizado, potencializa a ocorrência de movimentos de massa.

**Figura 7** – (a) Praia das Ostras, com destaque para uma camada de arenito laterizado; (b) As litofácies acima e abaixo da laterita são menos coesas e, ao desmoronar, formam depósitos de sedimentos soltos facilmente transportados pelas ondas, enquanto que os blocos de laterita se acumulam na base da falésia; (c) Domínio de falésias com coloração branca, com arenito rígido no topo apresentando alta frequência de fraturas; (d) Domínio de falésias avermelhadas compostas por intercalações de arenitos e argilitos friáveis.



Fonte: Dos autores, 2023.

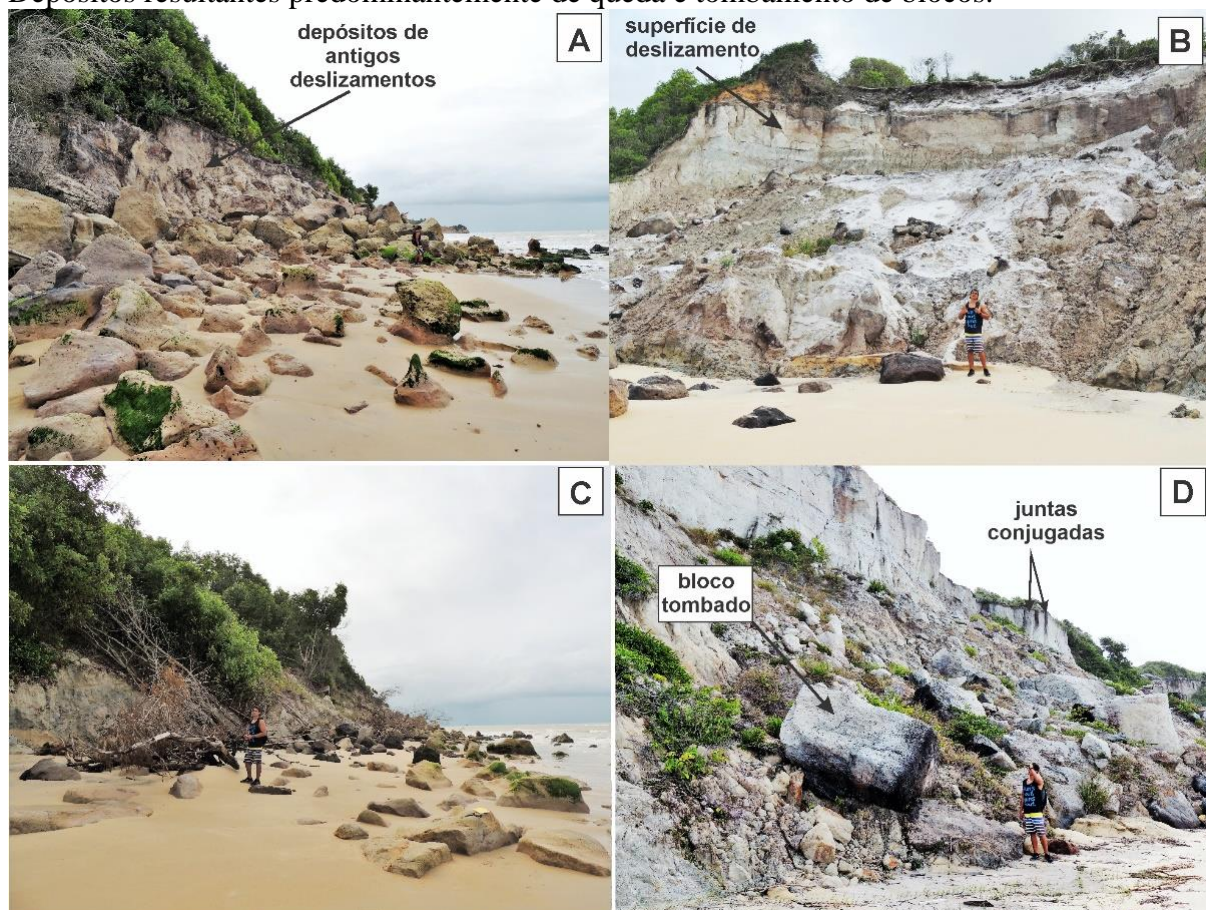
Nas falésias onde arenitos brancos com cimento silicoso predominam no topo, são observadas uma grande quantidade de juntas conjugadas que, além de serem zonas de fraqueza, servem de condutos para a água das chuvas, mais intensas nos períodos de maio a junho. Em vários trechos, na base das falésias são encontrados depósitos resultantes de antigos movimentos de massa, notadamente, deslizamentos translacionais, rotacionais e queda de blocos rochosos. O recuo das falésias ocorre mais acentuadamente no topo, enquanto as ondas, mesmo nas marés altas, atingem somente o material coluvionar, removendo os sedimentos mais finos e friáveis, deixando blocos de arenito resultantes de antigos movimentos de massa, que podem variar de decimétricos a alguns metros de diâmetro (Figura 8a). Os depósitos resultantes dos deslizamentos formam patamares onde uma vegetação arbustiva se estabelece.

Várias cicatrizes de movimentos de massa antigos e recentes também aparecem nos trechos onde predomina o arenito mais rígido. Notadamente são movimentos mistos de deslizamentos rotacionais e translacionais, onde superfícies côncavas marcam os planos de

deslizamento (Figura 8b). Nos movimentos mais recentes, a dinâmica é evidenciada pela vegetação afetada. Quando predomina os deslizamentos rotacionais, uma faixa de vegetação desce em patamar e continua a se desenvolver, mesmo em planos mais baixos. Quando ocorrem os deslizamentos translacionais, ou a vegetação aderna ou cai completamente, com as plantas morrendo e sendo carregadas pela deriva litorânea durante as marés altas (Figura 8c).

Além dos deslizamentos, queda de blocos são muito comuns e nesse caso, os blocos podem, quando em formato mais esféricos, atingir até 3 m de diâmetro. Quando os blocos são mais alongados, ocorre o tombamento, com alguns deles preservando, inclusive os planos de fraqueza, gerando blocos colunares métricos, bastante angulosos (Figura 8d).

**Figura 8** – (a) Formação de falésias de pequena altura, em depósitos resultantes de antigos movimentos de massa; (b) Depósito de movimentos de massa mistos. A superfície côncava que marca a cicatriz do movimento, aponta para a ocorrência inicial de um deslizamento rotacional; (c) Evidência de deslizamento translacional afetando a vegetação; (d) Depósitos resultantes predominantemente de queda e tombamento de blocos.



Fonte: Dos autores, 2023.

Entre as praias da Paixão e da Amendoeira, que fica mais a sul, aparece uma espessa camada laterizada de arenito. A base da falésia é marcada pela presença de grandes blocos de laterita, resultantes, em parte, da fragmentação e desprendimento dessa camada, que ocupa aproximadamente a parte intermediária da falésia e espessura que varia entre 3 e 4 m (Figura 9a). Em alguns trechos, na base da falésia, outro nível laterizado também está presente, gerando erosão diferencial com a formação de pequenos tômbolos, associados a terraços de abrasão

(Figura 9b). Situação semelhante ocorre muito comumente nas falésias do litoral do Rio Grande do Norte (MAIA, AMORIM, MEIRELES, 2022).

Acima do arenito enrijecido pela laterização, predomina camadas areno-lamosas friáveis. Essa diferença na rigidez, faz com que, na parte superior, a falésia continue recuando pela conjunção de deslizamentos, atingindo os depósitos mais friáveis e por queda de blocos associados aos arenitos laterizados. Semelhante ao que ocorre nos locais em que predomina os arenitos e arcósios mais rígidos, em certos trechos, as ondas não atingem a base da encosta, mas sim os depósitos resultantes dos movimentos de massa, sobre os quais se desenvolve uma vegetação arbustiva (Figura 9b). O acúmulo desses depósitos impede que as ondas, durante as marés altas, atinjam diretamente as rochas da Formação Barreiras.

**Figura 9** – (a) Falésias vermelhas com destaque para as camadas de arenito completamente laterizadas. A queda de blocos lateríticos e os deslizamentos translacionais são os principais tipos de movimentos de massa observados; (b) O acúmulo de blocos de laterita servem como proteção aos impactos das ondas, promovendo a formação de pequenos tómbolos.



Fonte: Dos autores, 2023.

## DISCUSSÃO

O estudo da extensa área de exposição das falésias no litoral sul da Bahia revela informações importantes acerca dos fatores que condicionam e dos processos que atuam na promoção do recuo das falésias. O trabalho de Maia, Amorim e Meireles (2022) fazem um apanhado geral sobre as falésias do Nordeste setentrional entre os estados do Ceará e da Paraíba. Como relatado por esses autores, as falésias que mostraram maior resistência aos processos erosivos são as que desenvolveram colunas e crostas lateríticas. Isso porque, lateritas se formam quando o nível freático com água saturada em ferro oscila, expondo o Fe ao oxigênio da zona vadosa, fazendo com que ele oxide. A oscilação do nível freático e o pH baixo geram agregados ferruginosos, conferindo maior rigidez às camadas envolvidas (PENTEADO, 1980).

Os processos erosivos e a recessão resultante, também depende da alteração química e da resistência mecânica das rochas (LIM et al., 2010; ROSSETTI, 2008). No caso de falésias modeladas em soft-rocks (<5 MPa), a tendência de erosão é de pelo menos duas ordens de magnitude superior às falésias compostas por rochas mais resistentes (SUNAMURA, 2015).

Nas últimas décadas, o crescimento das taxas de erosão em áreas costeiras tem intensificado a dinâmica morfológica em falésias, dado o aumento do nível do mar (DICKSON et al., 2007). Os impactos decorrentes dos movimentos de massa, principalmente por fluxo de

detritos e quedas de blocos, podem causar fatalidades à vida humana (YOUNG et al., 2014), uma vez que 52% do globo é composto por falésias (YOUNG e CARILLI, 2019) e 25% da população mundial reside nessas regiões (SMALL e NICHOLLS, 2003). Nesse contexto, técnicas de alta resolução espacial e temporal podem ser úteis ao estudo dos processos erosivos que ocorrem nas falésias (SWIRAD e YOUNG, 2022).

Trabalhos que discorrem acerca da evolução de falésias, no cenário global, têm enfatizado os relevos costeiros modelados em zonas não tropicais, com destaque para Estados Unidos (YOUNG et al., 2021), Japão (SUNAMURA, 2015) e Reino Unido (LIM et al., 2010). Já no nordeste brasileiro, o estudo de falésias tem contemplado análises estruturais em áreas afetadas por reconhecido soerguimento durante o Cenozoico (MAIA e AMORIM, 2021; MAIA e BEZERRA, 2014; SOUSA, 2002), identificação de tipologias de formas (FURLAN, 2014; SILVA et al., 2020).

No litoral sul da Bahia, apesar de em determinados trechos as falésias apresentarem diferentes níveis de laterização, formando por vezes, camadas completamente laterizadas, de onde grandes blocos colapsam, nos trechos entre Arraial D’Ajuda e Trancoso e entre Trancoso e Caraíva, e ainda entre as praias do Tororão e Paixão, predominam arenitos e arcósios brancos cimentados por sílica. São essas litofácies que mostram maior resistência aos processos erosivos, ocasionados pelo impacto das ondas, sendo comum, portanto, o desenvolvimento de tômbolos e terraços de abrasão onde arcósios e arenitos silicificados estão presentes. Por outro lado, nos arenitos e arcósios cimentados os planos conjugados das juntas e os planos de falha estão melhor preservados, agindo como zonas de fraqueza.

O fato de a área estudada ter um alto índice pluviométrico torna a probabilidade da ocorrência de camadas lateríticas ser comum (SIQUEIRA et al., 2014). Entretanto, para os arenitos brancos rígidos, a cimentação pode ser um fator que impeça a água de veicular nessas rochas, dificultando a mobilidade de íons de Fe e Al. Por outro lado, nos planos de fratura, onde a água flui com facilidade, sempre se cria uma crosta ferruginosa. No caso dos planos de falhas, essas crostas ajudam a ressaltar as estrias que indicam a cinemática dos blocos rochosos envolvidos.

É importante ressaltar que a conjunção da alta pluviosidade e das fraquezas estruturais, aqui representadas pelos planos de juntas conjugadas e de falhas são também importantes fatores que condicionam o recuo das falésias e têm como principais processos de retração, os movimentos de massa (SUNAMURA, 1992). Queda e tombamento de blocos rochosos são comuns em áreas em que afloram arenitos e arcósios mais rígidos e camadas laterizadas, embora os trabalhos de campo tenham revelado que movimentos mistos de deslizamento também ocorram nessas litofácies, principalmente nos períodos em que os índices pluviométricos são maiores. Já os deslizamentos ocorrem onde afloram uma intercalação de arenitos e lamitos mais friáveis, que podem ou não estar associados a camadas laterizadas e, nesse caso, queda de blocos lateríticos também são comuns.

As falésias ativas que apresentaram maior instabilidade e conseqüentemente menor resistência ao impacto direto das ondas são as que predominam arenitos e lamitos com diferentes tonalidades, mas nitidamente, onde estão ausentes as crostas lateríticas e os arcósios e arenitos cimentados por sílica. Além disso, o ângulo de inclinação dessas falésias são subverticais e o ataque constante pelas ondas durante as marés altas geram colunas instáveis, que desmoronam em qualquer condição meteorológica, mas, com mais frequência, nos períodos chuvosos. Adicionalmente, a alta pluviosidade, associada às fraquezas estruturais, provocam deslizamentos de terra que ocorrem nos períodos de chuvas mais intensas. Em zonas com maior concentração de fraturas, associadas a essas fácies mais friáveis, é comum o recuo das falésias em anfiteatros circulares, onde ocorre um amplo desenvolvimento de ravinas e voçorocas, com

uma grande quantidade de sedimentos sendo transportada pelo escoamento superficial, em direção às praias. Isso pode ser observado próximo ao Arraial D'Ajuda.

É importante ressaltar que o intenso ataque das ondas em depósitos antigos de movimentos de massa e já estabilizados pela vegetação, entre as praias do Tororão e da Paixão, mostra que as ondas têm avançado cada vez mais nos últimos anos durante as marés mais altas de sizígia, o que pode estar associado à elevação do nível médio dos mares, como consequência das mudanças climáticas (BIRD, 2008; DAVIDSON-ARNOTT, 2010). Além disso, os dados mais recentes da estação meteorológica de Porto Seguro (BDMEP/INMET, 2023) apontam que a pluviosidade entre 2019 e 2022, estiveram acima da média das últimas décadas, com precipitação anormal acima 400 mm em novembro e dezembro de 2022, meses onde a média histórica está abaixo de 120 mm.

O poder erosivo das ondas sobre áreas vegetadas, retirando sedimentos depositados por antigos movimentos de massa, mostra que, em vários trechos, o mar está avançando e a erosão pelo impacto das ondas nesses depósitos, está moldando novas faces de falésias, ao mesmo tempo em que as faces superiores continuam sendo esculpidas pela erosão pluvial e pelos movimentos de massa recentes, em zonas onde a frequência de juntas tectônicas e outras fraquezas estruturais é alta. Nesse caso, as ondas não atingem a base das falésias, mas removem o colúvio que foi remobilizado pelos movimentos de massa descritos acima. Os trabalhos de campo mostram que o recuo dessas falésias ocorre principalmente por uma conjunção da alta pluviosidade e das fraquezas estruturais, fazendo com que o impacto das ondas atue somente na remoção do colúvio. Essa informação traz um questionamento conceitual: O recuo dessas falésias, mesmo não sendo promovido diretamente pelo impacto das ondas, mas ainda assim, ocorrendo continuamente, as caracterizam como falésias ativas ou inativas?

Em relação às faces das falésias observadas, surge uma questão sobre a idade em que as escarpas foram modeladas. Na área de estudo, observa-se falésias inativas bastante recuadas e totalmente ocupadas pela vegetação. Mais próximo à linha de costa, observam-se falésias ora ativas, ora inativas e ocupadas pela vegetação, mesmo próximo às praias. Outras observações importantes, diz respeito aos depósitos que constituem as falésias. Predominantemente, são rochas da Formação Barreiras, entretanto, na Ponta do Corumbau, as falésias são formadas por depósitos marinhos pleistocênicos e, entre as praias da Paixão e Tororão, pequenas falésias começam a ser esculpidas pelas ondas, em depósitos resultantes de deslizamentos holocênicos. Esses depósitos estão associados a faces de falésias mais antigas, que continuam recuando pela conjunção da elevada precipitação da área, associada à alta frequência de fraquezas estruturais presentes nos arenitos litificados por cimento silicoso.

Deste modo, podemos observar na área de estudos, diferentes gerações de falésias, a mais recuada, distante das praias, formada provavelmente durante a penúltima transgressão. Esse evento transgressivo foi o responsável por depositar os sedimentos carbonáticos presentes na praia do Corumbau e, nesse caso, as falésias ali presentes, tiveram seu modelamento iniciado na última transgressão há 7 k.a, e estão sendo remodeladas atualmente pela dinâmica costeira vigente, acentuada pelos processos antrópicos que estão alterando o clima da Terra. Por último, e não menos importante, começam a ser modeladas falésias em depósitos resultantes de fluxo de massa, afetando, antigas áreas de falésias inativas e evidenciadas pela destruição da vegetação associada a esses depósitos. Nesse caso, temos três fases diferentes em três depósitos sedimentares: (1) Modelamento das falésias, hoje paleofalésias, em depósitos da Formação Barreiras, durante a penúltima transgressão; (2) modelamento das falésias nos sedimentos marinhos do Pleistoceno, depositados nos períodos de regressão marinha e modelados durante a última transgressão, e; (3) reativação atual das faces de falésias formadas tanto por depósitos da Formação Barreiras, como por depósitos pleistocênicos e formação de novas falésias em



depósitos holocênicos resultantes de fluxos de massa, provavelmente associadas ao avanço do nível do mar, provocado pelas mudanças climáticas.

## CONCLUSÃO

Os estudos realizados do litoral sul da Bahia mostram que os principais condicionantes para o recuo das falésias entre as cidades de Porto Seguro e Prado, são o número expressivo de fraquezas estruturais nas rochas e a friabilidade de grande parte dos sedimentos tendo como principais agentes o impacto direto das ondas e o alto índice pluviométrico. Em contrapartida, muitas falésias têm, em suas composições, arenitos e arcósios cimentados por sílica, tornando-as mais rígidas. Nessas falésias, as juntas e falhas são melhor preservadas. A conjunção desses fatores, faz com que: (a) em falésias ativas, compostas por camadas sedimentares mais friáveis, o impacto direto das ondas escave a base da escarpa, verticalizando a face da falésia, criando sua instabilidade e provocando o desmoronamento; (b) Em falésias compostas por sedimentos mais rígidos, a água das chuvas percole nas fraturas das encostas, provocando o alargamento dessas zonas de fraquezas e consequente movimentos de massa.

Durante os trabalhos de campo, vários depósitos coluvionares associados a movimentos de massa recentes e antigos foram observados. Os principais tipos de movimentos de massa observados foram os deslizamentos translacionais e queda de blocos, associados às falésias com tonalidades avermelhadas, onde há uma variação na friabilidade entre as camadas laterizadas e não laterizadas. A escavação na base das escarpas pelas ondas, criando colunas com até 10 m de altura e consequente desmoronamento, está entre os movimentos mais comuns nos períodos chuvosos, durante as marés altas.

Para as falésias brancas com arenitos e arcósios silicificados, foram observados registros de grandes movimentos de massa, tais como: quedas de blocos com diâmetro variando de alguns centímetros a mais de três metros; deslizamentos rotacionais e tombamentos de blocos e; movimentos de massa mistos, suficientes para deslocar por alguns metros, várias árvores, algumas toneladas de sedimentos e blocos rochosos. Diversos depósitos de antigos movimentos de massa foram identificados, associados às falésias mais recuadas. Esse fato demonstra que, mesmo não sendo alcançadas atualmente pelas ondas do mar, as falésias continuaram recuando, tendo como condicionantes, a conjunção entre a alta pluviometria e a alta frequência de fraturas, indicando que as mesmas permanecem ativas. Nesse caso, novas faces de falésias estão sendo formadas nos depósitos resultantes dos antigos movimentos de massa.

A população local já mostra indícios de preocupação com o recuo das encostas ao espalhar lonas no topo das falésias com a finalidade de evitar a percolação da água. Por isso, que se faz necessário um aumento de estudos e pesquisa na região, a respeito dos riscos da ocorrência de movimentos de massa, evitando construções próximas às bordas das falésias, onde vários empreendimentos turísticos e residências, já tiveram suas áreas significativamente reduzidas.

## REFERÊNCIAS

ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia-USP Ser. Cient.** São Paulo (6) 2:1-6. 2006.

Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). **INMET** <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso em: setembro de 2023.

BIRD, Erick Charles Frederick. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. 2. ed. Melbourne: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. 436 p.

CAMARA, M.R., SCUDELARI, A.C., AMARO, V., MATOS, M.F.A., RABELO, T. Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT)**, n.º 16. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 53-79, 2019 [dx.doi.org/10.17127/got/2019.16.003](https://doi.org/10.17127/got/2019.16.003)

COSTA DO DESCOBRIMENTO: Avaliação da potencialidade mineral e subsídios ambientais para o desenvolvimento sustentável dos municípios de Belmonte, Santa Cruz de Cabrália Porto Seguro e Prado (2000) José Maria Landim Dominguez (org.) 2 ed. **CPRM**, Salvador, 2000. 190p

DAVIDSON-ARNOTT, R. **An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2010. 439p

DICKSON, A.G., SABINE, C.L., CHRISTIAN, J.R. **Guide to Best Practices for Ocean CO2 Measurements**. Sidney, British Columbia, North Pacific Marine Science Organization, 191pp. (PICES Special Publication 3; IOCCP Report 8). 2007. DOI: <https://doi.org/10.25607/OBP-1342>

FURLAN, Adriana Aparecida. **Falésias na Formação Barreiras: análise regional e proposta tipológica**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. doi:10.11606/T.8.2014.tde-15042015-151123. Acesso em: 2023-10-04. <https://doi.org/10.11606/T.8.2014.tde-15042015-151123>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Glossário geológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

GONZÁLEZ, O.I.R e LIMA, C. C. U. Modelagem espacial da neotectônica na costa do descobrimento, sul do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 22, nº 2, 2021. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i2.1776>

LIM, M.; ROSSER, N. J.; ALLISON, R. J.; PETLEY, D. N. Erosional processes in the hard rock coastal cliffs at Staithes North Yorkshire. **Geomorphology**, v. 114, p. 12-21, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.011>

LIMA, C. C. U. e DOMINGUEZ, J. M. L. Discovery Coast: The Brazilian landscape first sighted by Europeans. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. (Orgs.) **Landscapes and Landforms of Brazil**. Springer Verlag, 2015. p. 45-54. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_5).

LIMA, C. C. U.; VILAS BOAS, G. S.; BEZERRA, F. H. R. Faciologia e análise tectônica Preliminar da formação Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia. **Geologia USP. Série Científica**, v. 6, n. 2, p. 71-80, 2006. DOI: 10.5327/s1519-874x2006000300009

MAIA, R. P.; AMORIM, R. F.. Aspectos morfoestruturais e fatores erosivos em Falésias. O caso de Pipa - RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, p. 2000-2009, 2021. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2141>

MAIA, R. P.; AMORIM, R. F., MEIRELES, A.J.A. **Falésias: Origem, Evolução, Risco**. Fortaleza/UFC, 2022, 84p.

MAIA, R.P. & BEZERRA F.H.R. Inversão neotectônica do relevo na Bacia Potiguar, nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n. 1, p. 61-74, 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.419>

PENTEADO, M.M. **Introdução à Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

ROSSETTI, D. M. F. Ambientes costeiros. In: FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 247-283.

ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; DOMINGUEZ, J. M. L. Late Oligocene-Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth Science Reviews**, v. 123, p. 87-112, 2013. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.04.005

SCUDELARI, A.C., MATOS, M.F.A., AMARO, V.E., CAMARA, M.R., CAVALCANTE, A.C.C. Avaliação de curto prazo da retração das falésias de Tibau do Sul-RN. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n2ID21272>

SILVA, R. R., PINHEIRO, L.S., XIMENES NETO, A.R., MORAIS, J.N. Mapeamento Lidar nas falésias costeiras do leste cearense (Nordeste do Brasil). **Geociências**, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 463-479, 2020.

SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. A global analysis of human settlement in coastal zones. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n. 3, p. 584-599, 2003.

SOUZA. C.M.P., LIMA, C. C. U., COSTA, L.M., VELOSO, G.V., GOMES, R.L., LEITE, M.E., FERNANDES-FILHO, E.I. Geomorphic indices, machine learning and osl-palynology chronology to assess neotectonic deformation in the continental margin – Northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** 118 (2022) 103931. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103931>

SOUSA, D.C. **Litoestratigrafia e deformação Cenozoica na região de Icapuí, Ceará, e implicações para a estruturação de campos de petróleo na borda ocidental da Bacia Potiguar (NE do Brasil)**. 222 p. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Centro de Ciência Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2002.

SIQUEIRA, A. C.de A. et al. Lateritas do Domínio Médio Coreaú – Comportamento geoquímico de mantos lateríticos do Noroeste do Estado do Ceará. **Brazilian Journal of Geology**, v. 44, n. 2, p. 249-264, 2014.

SUGUIO, Kenitiro. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1998, 1190p.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 439-460, 1999.

SUNAMURA, T. **Geomorphology of rocky coasts**. West Sussex, England: John Wiley & Sons. 302p, 1992.

SUNAMURA, T. Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs. **Proceedings of the Japan Academy Ser B Physical and Biological Sciences**, v. 91, n. 9, p. 481-500, 2015. [10.2183/pjab.91.481](https://doi.org/10.2183/pjab.91.481)

SWIRAD, ZM YOUNG AP. Spatial and temporal trends in California coastal cliff retreat **Geomorphology** 412, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108318>

YOUNG, A. P.; CARILLI, J. E. Global distribution of coastal cliffs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, p. 1309-1316, 2019. <https://doi.org/10.1002/esp.4574>

YOUNG, A. P.; FLICK, R. E.; O'REILLY, W. C.; CHADWICK, D. B.; CRAMPTON, W. C.; HELLY, J. J. Estimating cliff retreat in southern California considering sea level rise using a sand balance approach. **Marine Geology**, v. 348, p. 15-26, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.11.007>

YOUNG, A.P. GUZA, R.T. MATSUMOTO, H. MERRIFIELD, M.A. O'REILLY, W.C. SWIRAD, Z.M. Three years of weekly observations of coastal cliff erosion by waves and rainfall. **Geomorphology**. V. 375, n.15 2021, 107545. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107545>