



**SERVIÇO GEOLÓGICO  
DO BRASIL – CPRM**



# **Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo**

**VOLUME 5: EROSÃO CONTINENTAL,  
EROSÃO DE MARGEM FLUVIAL  
E EROSÃO MARINHA**

***Realização***

*Divisão de Geologia Aplicada - DIGEAP  
Departamento de Gestão Territorial - DEGET*

**2021**

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **Ministro de Estado**

Bento Albuquerque

### **Secretária Executiva**

Marisete Fátima Dadald Pereira

### **Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Alexandre Vidigal de Oliveira

## **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

### **DIRETORIA EXECUTIVA**

#### **Diretor Presidente**

Esteves Pedro Colnago

#### **Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial**

Alice Silva de Castilho

#### **Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Marcio José Remédio

#### **Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Paulo Afonso Romano

#### **Diretor de Administração e Finanças**

Cassiano de Souza Alves

### **COORDENAÇÃO TÉCNICA**

#### **Chefe do Departamento de Gestão Territorial**

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

#### **Chefe da Divisão de Geologia Aplicada**

Tiago Antonelli

#### **Chefe da Divisão de Gestão Territorial**

Maria Angélica Barreto Ramos

#### **Chefe do Departamento de Hidrologia**

Frederico Cláudio Peixinho

#### **Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada**

Adriana Dantas Medeiros

#### **Chefe do Departamento de Informações Institucionais**

Edgar Shinzato

#### **Chefe da Divisão de Geoprocessamento**

Hiran Silva Dias

#### **Chefe da Divisão de Cartografia**

Fábio Silva da Costa

#### **Chefe da Divisão de Documentação Técnica**

Roberta Pereira da Silva de Paula

#### **Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação**

Patricia Duringer Jacques

#### **Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação**

Washington José Ferreira Santos

#### **Chefe da Divisão de Editoração Geral**

Valter Alvarenga Barradas



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM  
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

---

# Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo

Volume 5: Erosão Continental, Erosão  
de Margem Fluvial e Erosão Marinha

---

AUTOR

Rafael Silva Ribeiro



## MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

### Ministro de Estado

Bento Albuquerque

### Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

### Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

## SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

### DIRETORIA EXECUTIVA

#### Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

#### Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

#### Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

#### Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

#### Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

### COORDENAÇÃO TÉCNICA

#### Chefe do Departamento de Gestão Territorial

Diogo Rodrigues Andrade da Silva

#### Chefe da Divisão de Geologia Aplicada

Tiago Antonelli

### EQUIPE TÉCNICA

#### Elaboração

Rafael Silva Ribeiro

#### Diagramação (SUREG/SP)

Marina das Graças Perin

Foto da capa: Voçoroca no município de Ouro Preto (MG) em 2016.

Créditos: Rafael Silva Ribeiro/ CPRM.

---

### Serviço Geológico do Brasil – CPRM

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

[seus@cprm.gov.br](mailto:seus@cprm.gov.br)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

RIBEIRO, Rafael Silva
R484r Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo. volume 5: erosão continental, erosão de margem fluvial e erosão marinha / Rafael Silva Ribeiro. – Brasília : CPRM, 2021.
1 recurso eletrônico : PDF
ISBN
1. Risco geológico. 2. Erosão. I. Ribeiro, Rafael Silva. II. Título.
CDD 551

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhamy - CRB-7/5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

# RESUMO

---

O volume cinco dos Resultados Preliminares do Atlas de Risco do Estado do Espírito Santo traz o panorama atualizado do risco a processos erosivos na referida unidade da federação na última década. Para isso foram lidos, validados, organizados e incluídos dados dos mapeamentos de risco da CPRM e dos PMRRs que se iniciaram em 2011. Estas informações foram geoestatisticamente tratadas, o que possibilitou a produção das cartas. As cartas confeccionadas foram baseadas em três parâmetros: número de construções, população percentual municipal em risco e população percentual estadual em risco para cada processo e município. Os resultados demonstram que, entre os processos erosivos analisados, as erosões continental e de margem fluvial são dominantes, representando cerca de 3% dos setores de risco alto e muito alto do estado do Espírito Santo. Já a erosão marinha está em 0,2% dos setores de risco de apenas um município. Embora não foi possível incluir neste momento os dados de Serra, o quinto volume dos Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo é uma importante ferramenta na prevenção de desastres, no planejamento territorial e na adoção de medidas mitigadoras relacionados aos eventos considerados nesta pesquisa.

**Palavras-chave:** Atlas. Espírito Santo. Erosão Continental. Erosão de Margem Fluvial. Erosão Marinha.

# SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Erosão Continental.....	2
1.2. Erosão de Margem Fluvial .....	10
1.3. Erosão Marinha.....	13
1.4. COBRADE.....	17
1.5. Risco .....	18
1.6. Setorização de risco da CPRM e PMRR.....	18
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
3. RESULTADOS PRELIMINARES .....	23
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	33
5. REFERÊNCIAS .....	34

# 1. INTRODUÇÃO

As primeiras investigações científicas sobre erosão de solos foram feitas na Alemanha entre os anos de 1877 e 1895 (PINESE JÚNIOR; CRUZ; RODRIGUES, 2008). Erosão vem do latim *erodere*, que significa corroer. A erosão é um processo natural da superfície terrestre, mas que pode ser originada e/ou acelerada devido à ação do homem. A ação antrópica altera o equilíbrio natural entre as taxas de formação e erosão dos solos, podendo intensificar os processos erosivos (BRADY; WEIL, 2013). De acordo com Ahmed (2009), a ocupação humana, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, construção de estradas, criação e expansão das vilas e cidades, sobretudo quando efetuada de modo inadequado, constitui fator decisivo da origem e aceleração dos processos erosivos. Sathler *et al.* (2009) concordam que nos dias atuais a erosão do solo está se mostrando cada vez mais atuante em diversas áreas do país.

O Glossário Internacional Multilíngue do Departamento de Assuntos Humanitários da Organização das Nações Unidas define erosão como a perda ou desagregação de solos ou rochas como resultado da ação da água, vento ou gelo (UNITED NATIONS, 1992). PENNOCK (2019) afirma que a erosão de solo é um processo que remove e transporta o solo de sua posição original.

Conforme Salomão e Iwasa (*apud* INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998), erosão é o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e organismos (plantas e animais). Couto (2020) afirma que erosão é o conjunto de processos naturais (físicos e químicos) que contemplam a degradação e destacamento das partículas do solo ou da rocha de origem, remoção, transporte e deposição deste material.

Em consonância com a maioria das definições anteriores, aqui o termo erosão é utilizado para se referir à desagregação e transporte de solo, sedimento, saprólito ou fragmentos de rocha de sua localização no terreno. Inicialmente as erosões podem ser classificadas em função do agente que as causa. Água, vento e geleira são os principais agentes erosivos (PENNOCK, 2019), sendo os processos classificados respectivamente como erosão hídrica, erosão eólica e erosão glacial (CECATTO, 2014).

No Brasil tem se dado maior enfoque à erosão hídrica, por ser o processo responsável pelas maiores taxas de perdas de solo (COUTO, 2020). Alguns autores consideram erosão hídrica como sinônimo de erosão continental. Entretanto, além da chuva, as águas de rios e oceanos também podem provocar o fenômeno. Portanto aqui as erosões continentais, erosões de margem fluvial e erosão marinha (também denominada costeira) são consideradas tipos de erosão hídrica e estudadas separadamente. As principais características de tais processos são mostradas no quadro 1.

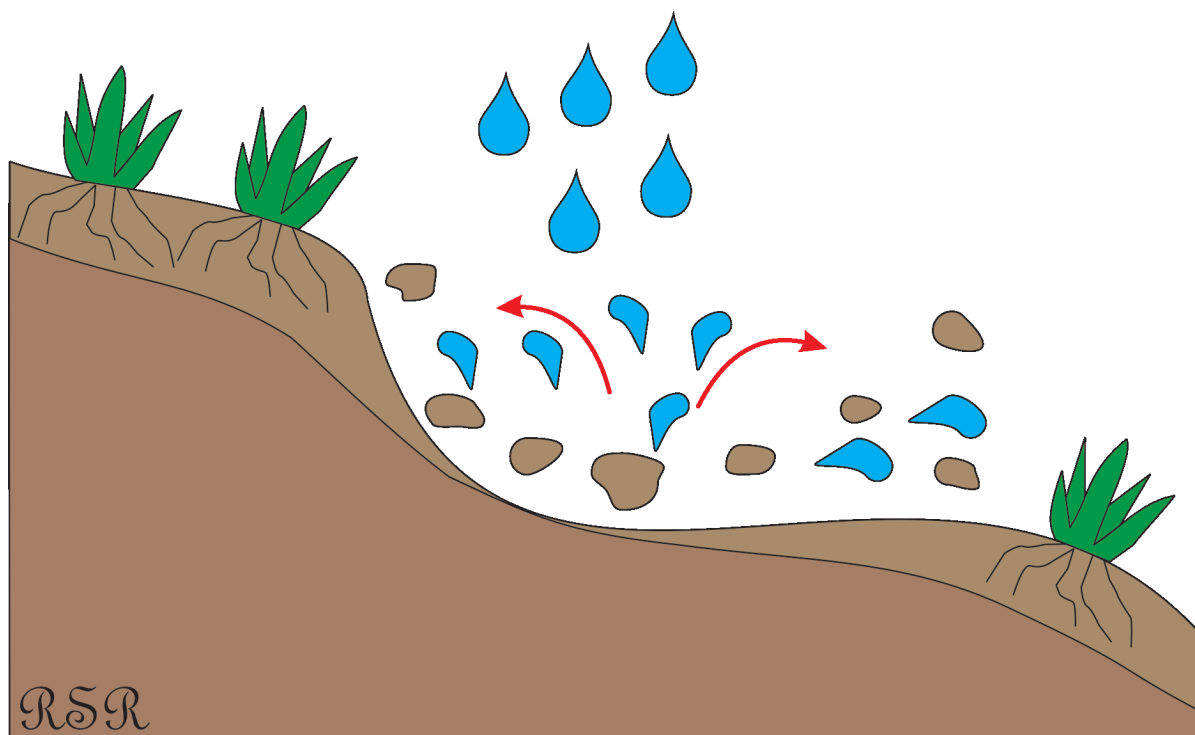
**Quadro 01** - Principais características dos processos erosivos estudados neste volume.

Tipo	Agente deflagrador	Características
Erosão Marinha ou Costeira	Águas do mar	<ul style="list-style-type: none"> <li>As ondas do mar se chocam contra a linha de costa e provocam a erosão.</li> </ul>
Erosão de Margem Fluvial	Águas fluviais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosão ocorre nas margens dos rios;</li> <li>Velocidade do fluxo de água é alta e a resistência do material geralmente é baixa;</li> <li>Importante para explicar a formação dos rios e rede hidrográfica, bem como aprofundamento e alargamento do leito.</li> </ul>
Erosão Continental (laminar)	Águas pluviais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inicia com a precipitação e escoamento superficial homogêneo;</li> <li>Desgaste que ocorre em camadas finas;</li> <li>Remoção de milímetros de solo em cada evento chuvoso;</li> <li>Difícil percepção;</li> <li>Acarreta problemas de fertilidade do solo;</li> <li>Determinante para iniciar os processos lineares.</li> </ul>
Erosão Continental (linear)	Águas pluviais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocorre por meio da concentração de linhas de fluxo do escoamento superficial;</li> <li>Formação de processos erosivos como sulcos, ravinas e voçorocas, podendo estas atingir o nível freático.</li> </ul>

Fonte: Modificado de Michette (2015).

## 1.1. Erosão Continental

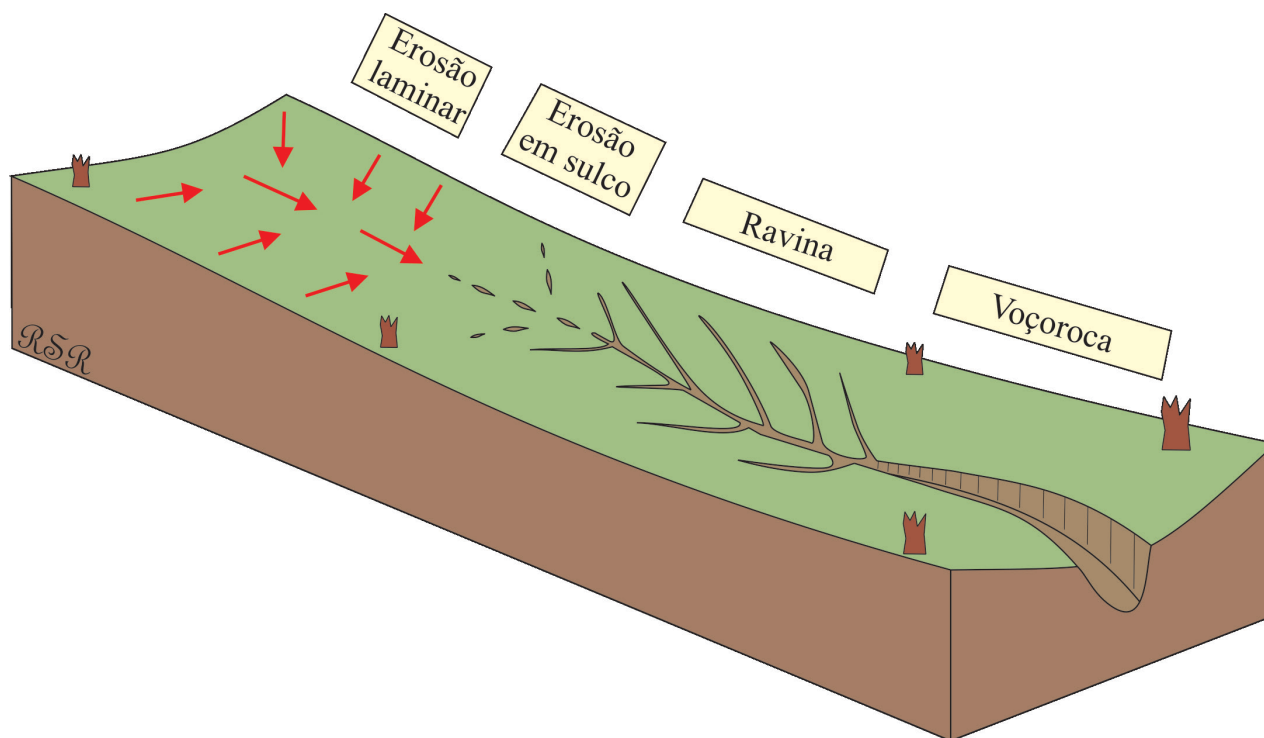
A erosão continental envolve o desprendimento de partículas da encosta, transporte e deposição em outro local. Este processo ocorre pela ação dos agentes erosivos, que são as gotas da chuva e o escoamento superficial da água sobre o solo (CASSOL; LIMA, 2003). Lepsch (2011) aponta que as gotas de chuva atingem a superfície com velocidade entre 5 e 15 km/h e os impactos em uma superfície desprovida de vegetação provoca forte desagregação das partículas de solo. Este fenômeno é denominado salpicamento ou *splash*, sendo considerado o início de formação da feição erosiva (Figura 1). Os sucessivos impactos fazem com que as partículas do solo sejam lançadas em diferentes direções, gerando assim um pequeno sulco inicial no terreno. O salpicamento varia com a resistência do solo aos impactos e a energia cinética das gotas da chuva (MARQUES, 2013).



**Figura 01** - Efeito *splash* em trecho de encosta desprovido de vegetação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando a precipitação excede a capacidade de infiltração no solo, inicia-se o escoamento superficial, que erode uniformemente a encosta (MARQUES, 2013). A erosão laminar ou erosão em lençol é aquela onde há o desprendimento e remoção uniforme de partículas da superfície originados por fluxo superficial ou impacto de gotas de chuva uniformemente distribuídos na encosta (HAIRSINE; ROSE, 1992; *apud* MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003). De acordo com Jager (2015), em contraste com o impacto da gota de chuva, que é o principal fator responsável pelo desprendimento de partículas em encostas suaves e porções de encostas superiores, a erosão laminar torna-se o fator dominante à medida que o ângulo de inclinação aumenta. A erosão laminar desenvolve-se de forma gradual, não se fazendo notar com facilidade (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 1999).

O agravamento do processo erosivo e a concentração do fluxo na encosta leva à erosão linear, que inicialmente gera pequenos incisões no terreno sob a forma de sulcos. Pequenas diferenças na rugosidade da superfície e na configuração do declive da encosta causam variação espacial nas características de fluxo e leva à concentração de fluxo e incisão localizada no horizonte superficial do solo (PENNOCK, 2019). Com a continuidade do processo erosivo, há a coalescência dos sulcos e a formação de pequenos canais. Lopes (2017) afirma que após algum tempo, alguns desses canais, originalmente paralelos, crescem mais do que os outros e acabam por capturar os vizinhos, com conseqüente aprofundamento dos canais mestres, que se tornam sulcos, ravinas e mesmo pequenos vales. A continuidade do processo erosivo leva ao aparecimento de voçoroca, que é o estágio mais grave e acentuado da erosão em encostas. A figura 2 mostra a evolução destes processos erosivos em encosta, cujas principais forças de atuação são citadas no quadro 2.



**Figura 02** - Evolução dos tipos de processos erosivos em encosta. Fonte: Elaborada pelo autor.

**Quadro 02** - Tipos de erosão e principais forças erosivas.

Tipo	Principais forças erosivas
Salpicamento	Energia cinética da precipitação
Erosão linear	Energia cinética da precipitação e tensões de cisalhamento
Ravina	Tensões de cisalhamento de fluxo concentrado
Voçoroca	Tensões de cisalhamento de fluxo concentrado

Fonte: Ngezahayo, Burrow e Ghataora (2019).

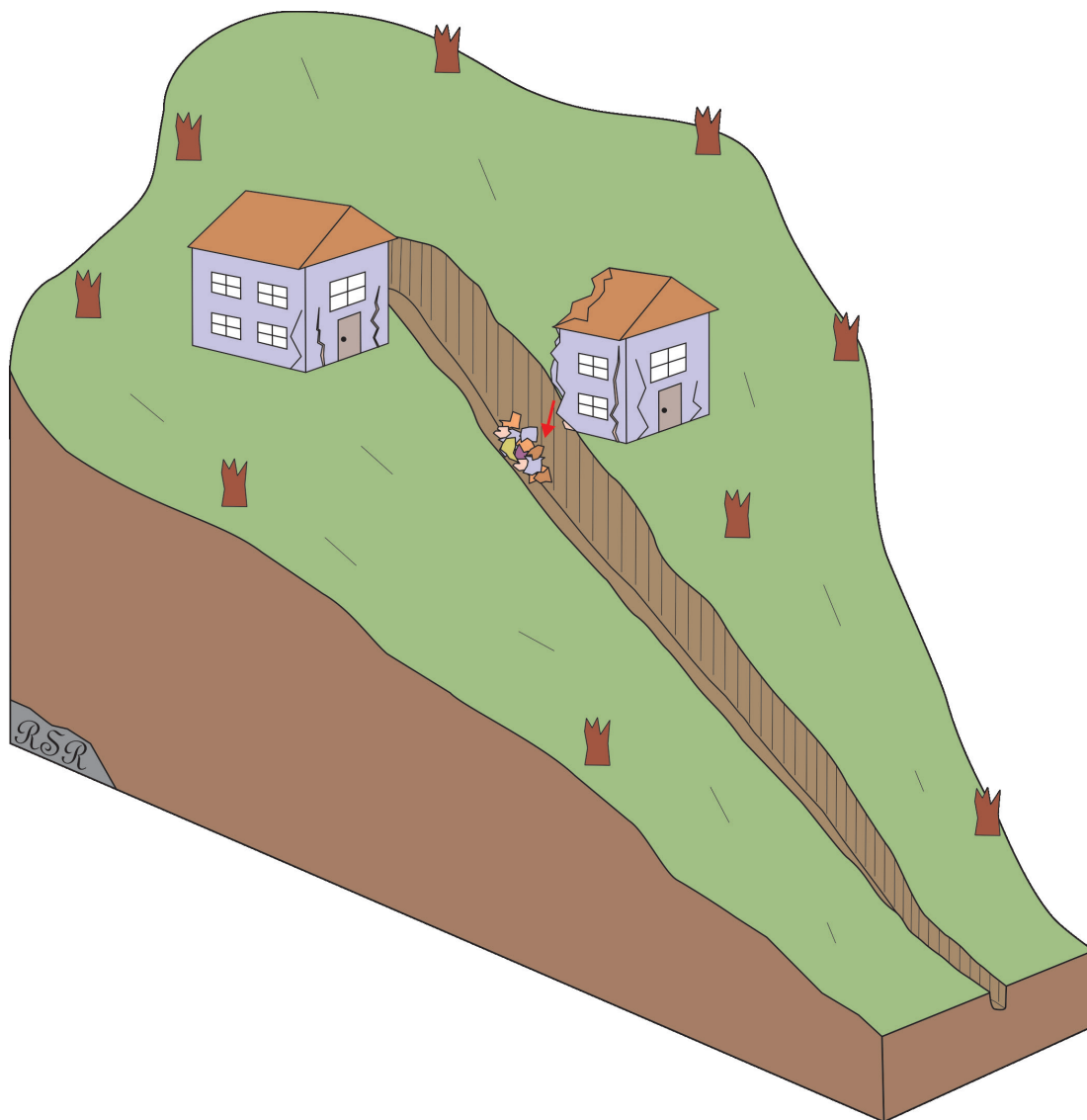
Não há consenso no meio científico sobre como distinguir ravinas de voçorocas. Uma forma de diferenciação é aquela que afirma que, para ser uma voçoroca, obrigatoriamente há o afloramento do lençol freático na feição erosiva. Entretanto, conforme Sathler (2010), a definição dimensional seria a mais difundida e aceita tanto nacional quanto internacionalmente. De acordo com a profundidade, Oliveira (1999) e Bigarella (2003) adotam as seguintes terminologias: ranhura (até 5 cm), sulco (5 a 30 cm), vala (30 a 100 cm) e ravina (maior 100 cm). Já as voçorocas podem chegar a ter metros de largura e profundidade e quilômetros de comprimento.

De acordo com Sathler (2010), ravina é um sulco profundo no solo provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, normalmente alongada, com maior comprimento que largura e que normalmente possui profundidade inferior a 10 metros (Figura 3).

A COBRADE define ravina como “Evolução, em tamanho e profundidade, da desagregação e remoção das partículas do solo de sulcos provocada por escoamento hídrico superficial concentrado” (BRASIL, 2012). Entretanto esta sentença não é uma definição e sim uma característica da origem do processo.

Uma vez formada, seu desenvolvimento ocorre pelo recuo dos taludes na parte superior do canal (MORGAN, 2005). A taxa de recuo para montante é controlada pela coesão do solo, a altura e inclinação do talude e a descarga e a velocidade do fluxo (DE PLOEY, 1989).

Voçoroca vem do termo tupi-guarani *ibiçoroca*, onde *yby* = terra e *coroca* = romper, ou seja, literalmente terra rompida (OLIVEIRA; MEIS, 1985). Conforme Salomão, Canil e Rodrigues (2012), a erosão em voçoroca se



**Figura 03** - Representação esquemática de ravina. Fonte: Elaborada pelo autor.

desenvolve por influência não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos de água subsuperficial, onde se inclui o aquífero freático, com desenvolvimento de *piping*.

As voçorocas são mais incisivas e profundas que as ravinas e dispõem de gênese mais complexa (RIOS, 2011). São formas agressivas de erosão dotadas de grande poder destrutivo e difícil controle, que ocorrem em diferentes formas de encostas resultantes de alguma alteração do meio físico (CHEROBIN, 2012).

Morgan (2005) aponta que o voçorocamento ocorre especialmente em áreas com regolito e saprólito altamente intemperizados sobrejacentes a granitos e granodioritos. Grande parte do nordeste e sudeste do Brasil localiza-se em áreas com embasamento de rochas graníticas e gnáissicas e, na maioria destas áreas, sobretudo nas mais úmidas, tais litologias estão recobertas por espessa capa de regolito muito suscetível à erosão por voçorocas (MORAIS; BACELAR; SOBREIRA, 2007). Lepsch (2011) afirma que as voçorocas podem atingir profundidade de vários metros, chegando até o horizonte C dos solos e com paredes quase verticais. Quando o saprólito é exposto aos processos de erosão, as voçorocas tendem a se desenvolver plenamente (MORAIS; BACELAR; SOBREIRA, 2004).

A COBRADE explica que voçoroca é a:

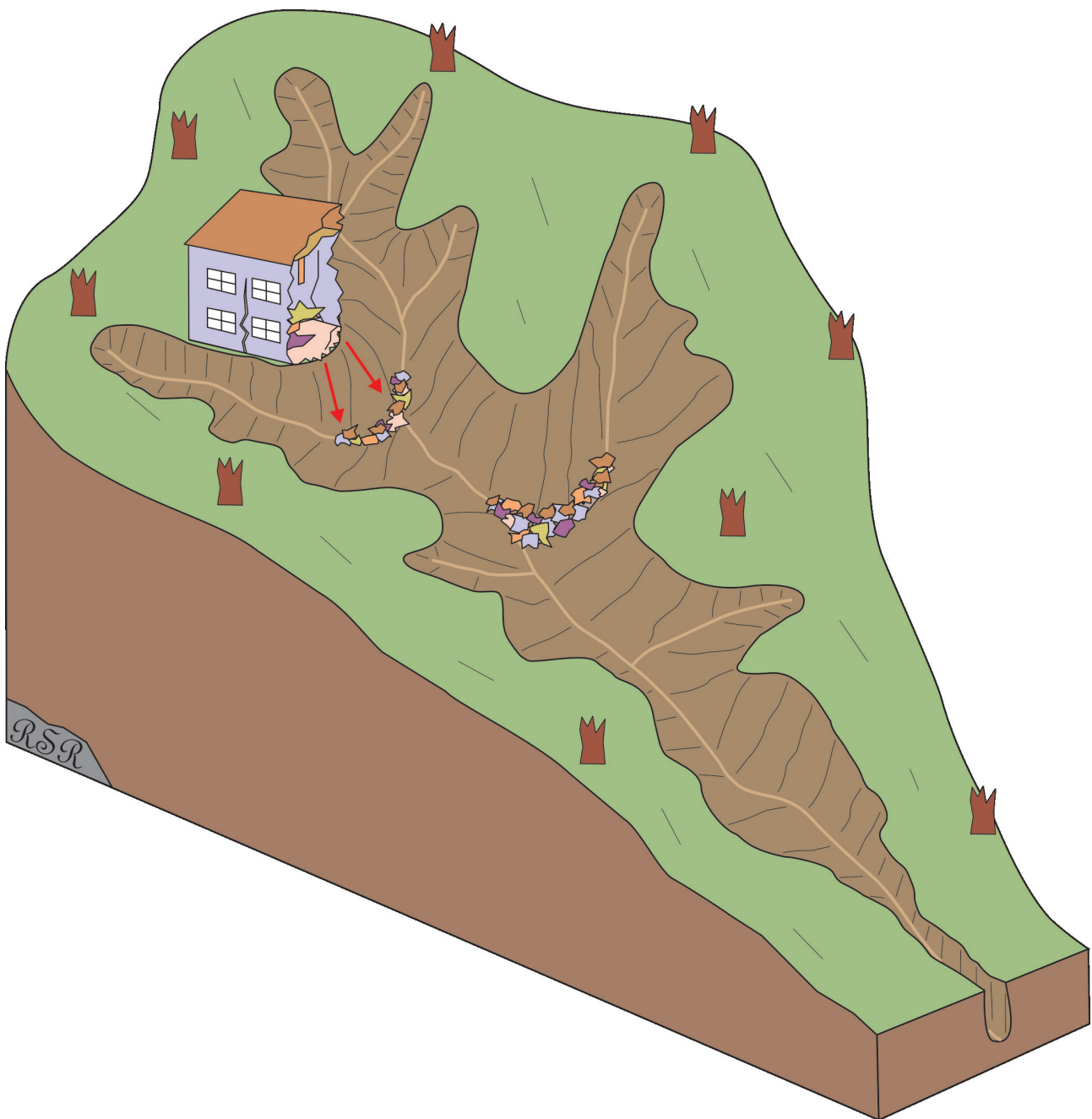
*Evolução do processo de ravinamento, em tamanho e profundidade, em que a desagregação e remoção das partículas do solo são provocadas por escoamento hídrico superficial e subsuperficial (escoamento freático) concentrado. (BRASIL, 2012).*



As voçorocas apresentam tamanhos e formas variadas: linear, bulbiforme, dendrítica, em treliça, paralela ou composta.

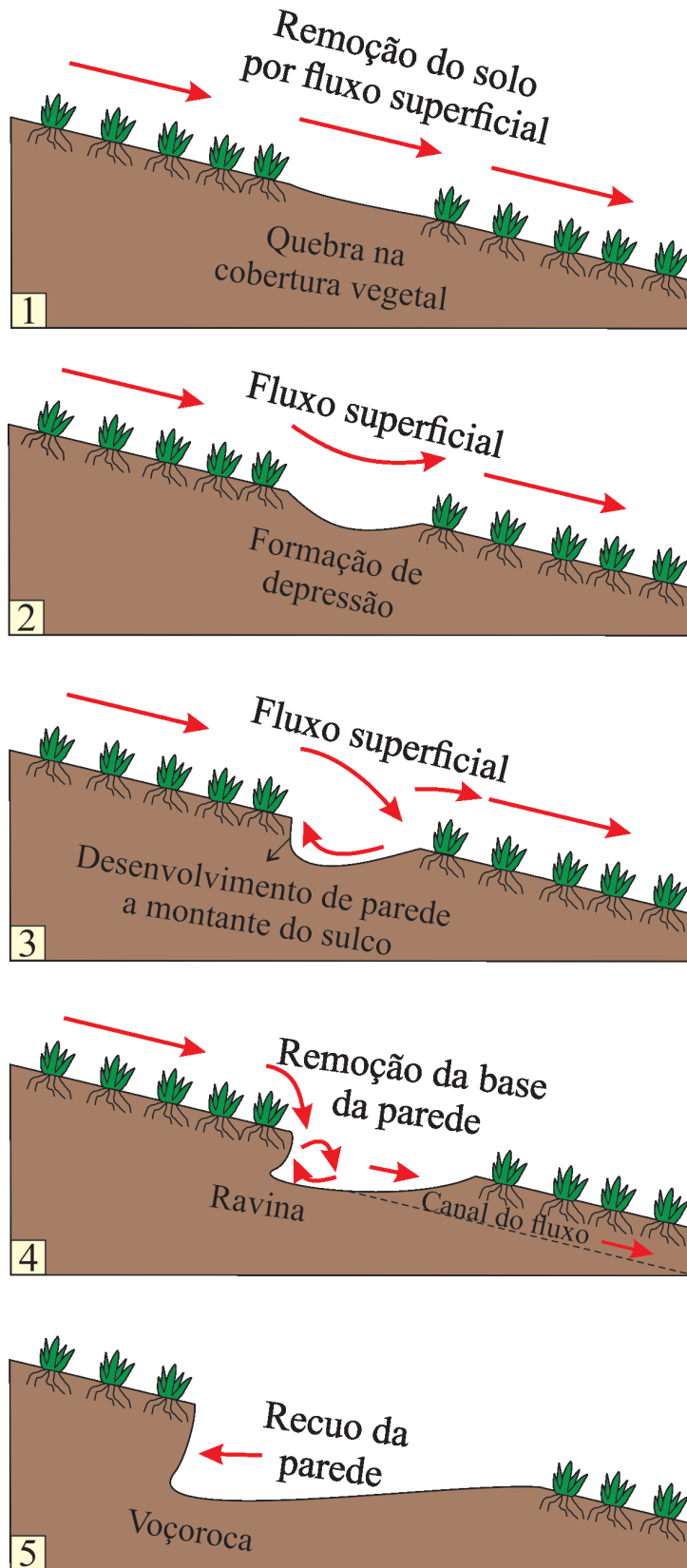
Morgan (2005) aponta que, durante o desenvolvimento da feição erosiva, as partículas de solo são destacadas dos taludes laterais, mas a maior parte da erosão está associada a raspagem da sua base, o que resulta no aprofundamento do canal e no enfraquecimento da sustentação do talude à montante, levando ao seu colapso e aumento ascendente da voçoroca.

As construções localizadas próximas a ravinas e voçorocas estão em situação de risco. Muitas vezes esta realidade é agravada por tentativas desastrosas de contenção da erosão, como o emprego de medidas paliativas ou totalmente desaconselháveis, como, por exemplo, aterros com lixo e criação de terrenos com características geotécnicas inadequadas (IWASA; FENDRICH, 1998). Inicialmente as construções são afetadas com o surgimento de trincas e, com o desenvolvimento do fenômeno, estas podem ser destruídas parcial ou totalmente (Figura 4).



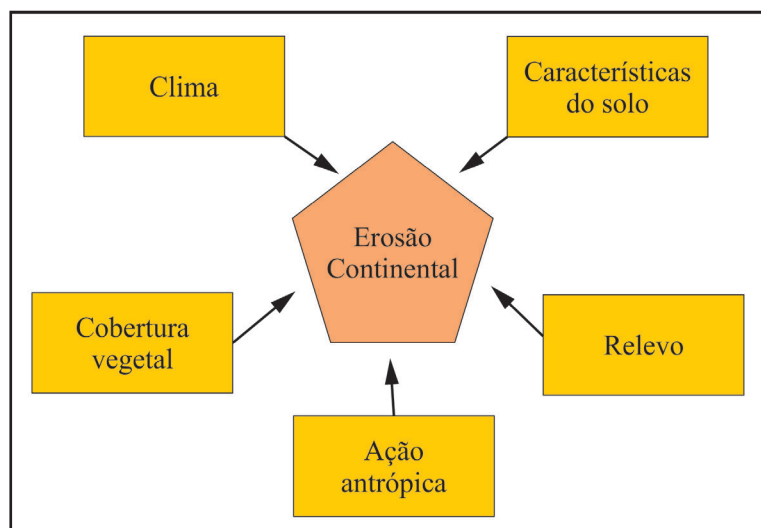
**Figura 04** - Representação de voçoroca dendrítica. Fonte: Elaborada pelo autor.

O voçorocamento é a fase final de um processo de erosão que envolve salpicamento, erosão laminar e ravina-mento (AMANGABARA, 2014). Os estágios evolutivos da erosão em sulco são retratados na figura 5, com o início da formação de pequeno sulco por salpicamento de trecho do terreno sem vegetação até o surgimento de voçoroca.



**Figura 05** - Estágios de evolução de erosão em sulco que levam à formação de voçorocas. Elaborada pelo autor a partir da modificação da figura de Leopold *et al.*, 1964, *apud* Morgan, 2005.

De maneira geral, as erosões continentais são afetadas pelos fatores mostrados na figura 6.



**Figura 06** - Fatores que condicionam a formação e evolução de erosões continentais. Fonte: Elaborada pelo autor.

A equação de perda anual de solo revisada – RUSLE, apresentada por Renard *et al.* (1997), afirma que a erosão do solo em encostas é estimada com o cálculo da seguinte equação:

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

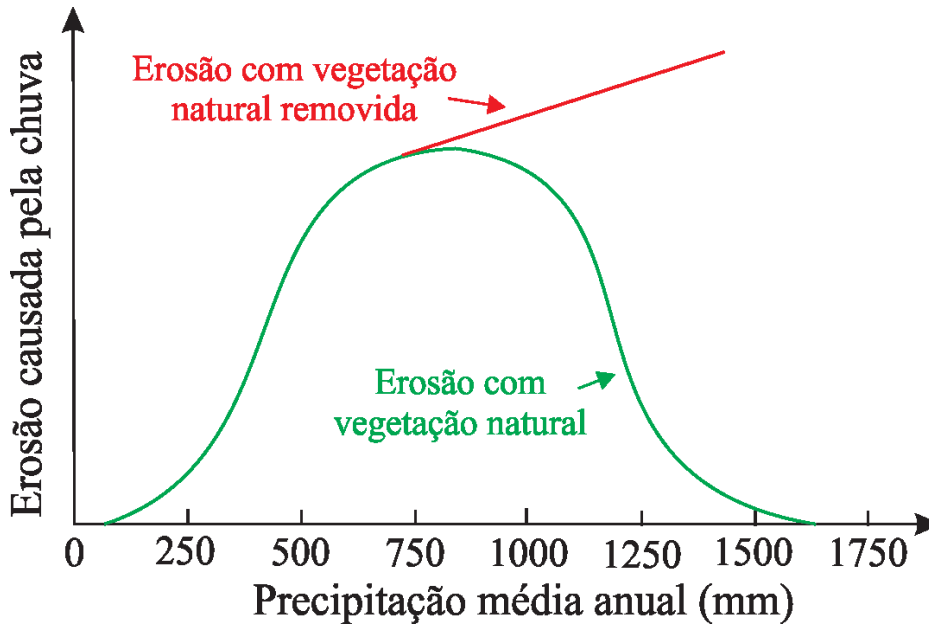
Onde:

- *A* é a perda média anual de solo provocada por processo erosivo;
- *R* é a erosividade;
- *K* é a erodibilidade;
- *L* é o comprimento da encosta;
- *S* é a declividade da encosta;
- *C* é o uso e manejo do terreno; e
- *P* são a prática conservacionista.

A remoção da vegetação natural pelo homem para agricultura, pecuária ou urbanização, por exemplo, pode criar e/ou acelerar o processo erosivo. A cobertura vegetal é o fator mais importante na defesa natural do solo contra a erosão (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998). Entre os efeitos benéficos citados por Lepsch (2011); Sathler (2010); Franco (2002) e El-Swaify, Dangler e Armstrong (1982), destacam-se:

- Redução e atenuação do impacto das gotas de chuva no solo;
- Aumento da infiltração de água no solo;
- Aumento da capacidade de retenção de água no terreno;
- Diminuição da velocidade de escoamento superficial; e
- Efeito agregador das raízes nas partículas de solo.

Quando a vegetação natural é removida, a erosão atua de forma mais intensa no terreno (Figura 7).



**Figura 07** - Grau de erosão em solo com alterações de vegetação e precipitação média anual. Fonte: Modificado de Hudson, 1971 (apud EL-SWAIFY; DANGLER; ARMSTRONG, 1982).

As características geológico-geotécnicas do terreno também influenciam no grau de erosão. Morgan (2005) define a erodibilidade como a resistência do solo tanto ao desprendimento quanto ao transporte e varia com a textura do solo, estabilidade do agregado, resistência ao cisalhamento, capacidade de infiltração e conteúdo orgânico e químico.

Baseado no Sistema Unificado de Classificação de Solos – SUCS, Llopis Trillo (1999) estabeleceu uma hierarquia de erodibilidade das classes de solos (Quadro 3). Portanto a erodibilidade do solo é afetada por sua textura.

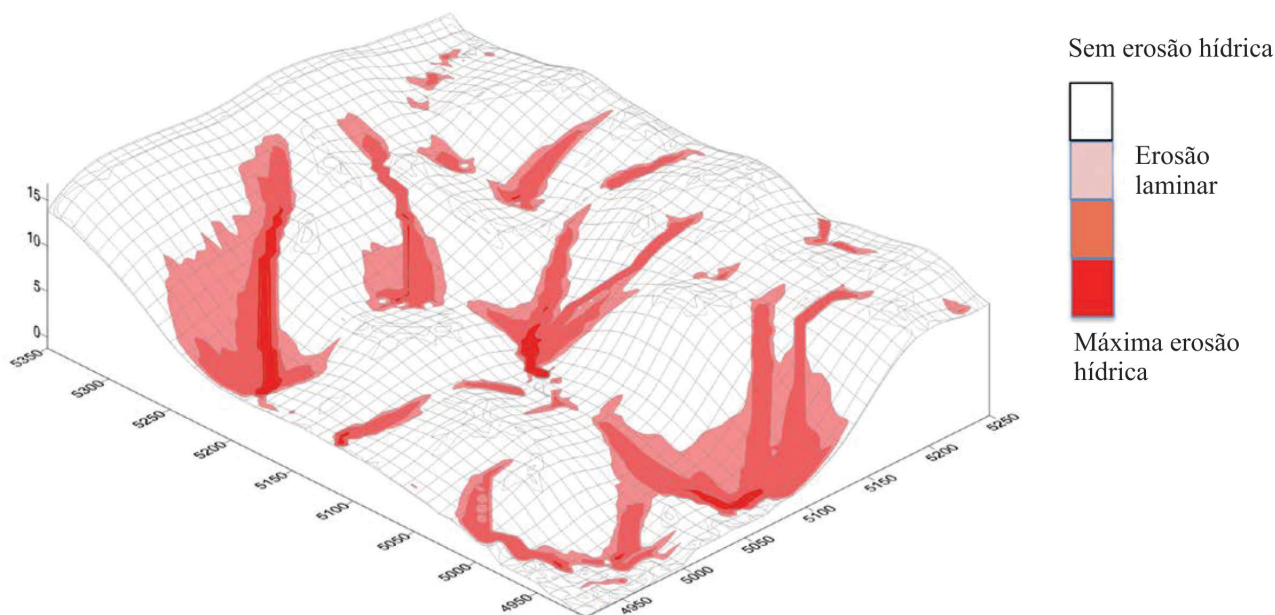
**Quadro 03** - Suscetibilidade à erosão de diferentes tipos de solo do SUCS.

Símbolo	Descrição do solo	Erodibilidade
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia bem graduados, com poucos ou sem finos.	Menos erodível ↑ ↓ Mais erodível
GP	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia mal graduados, com poucos ou sem finos.	
SW	Areias e areias pedregulhosas bem graduadas, com poucos ou sem finos.	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho e areia, areia e silte.	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas.	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa.	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos.	
SC	Areias argilosas.	
SM	Areias siltosas.	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas e siltes argilosos pouco plásticos.	

Fonte: Llopis Trillo (1999).

No tocante ao clima, o principal agente da erosão continental é a chuva, que está relacionada com a erosividade do local. LAL (1994) afirma que a erosividade é a capacidade que a chuva tem de promover erosão pela desagregação e transporte das partículas do solo, representados, respectivamente, pelo impacto direto das gotas d'água e escoamento superficial da água das partículas. Portanto a durabilidade, intensidade e tamanho das gotas de chuva são fatores que afetam a erosividade de determinada região.

Segundo Morgan (2005) a tendência é que a erosão aumente com a inclinação e o comprimento da encosta, pois há o aumento da velocidade e do volume do escoamento superficial. Em encostas côncavas há a divergência do fluxo ao passo que em encostas convexas o fluxo se concentra. PENNOCK (2019) afirma que é nos trechos côncavos da encosta onde normalmente começam a se formar os sulcos erosivos (Figura 8).



**Figura 08** - Variação do processo erosivo em encosta onde é possível notar maior intensidade nos trechos côncavos. Fonte: Modificado de Pennock (2019).

Em função da cobertura vegetal, atividade agropecuária e ocupação urbana, Santos (2013) distinguiu em sua pesquisa três graus potenciais para a geração de erosões lineares (Quadro 4).

**Quadro 04** - Avaliação do potencial de erosão linear induzida/acelerada por ações antrópicas.

Fatores	Potencial de ocorrência de processos de erosão linear		
	BAIXA	MODERADA	ALTA
Cobertura vegetal	Sem áreas significativas de solo exposto	Cobertura vegetal deficiente com áreas significativas de solo exposto	Predomínio de área de solo exposto
Atividade agropecuária	Pastagens e culturas com manejo adequado	Pastagens e culturas com deficiência no manejo	Pastagens e culturas sem manejo ou apresentando medidas de controle insuficientes
Ocupação urbana (vetores de expansão)	Crescimento urbano ordenado em áreas com preparo do terreno (terraplanagem) e preservação de APP	Formação de pequenos núcleos de ocupação urbana em áreas impróprias	Núcleos de ocupação irregular consolidados em parcelas do meio urbano, caracterizados pela ausência de infraestrutura e serviços de saneamento básico

Fonte: Cerri *et al.* (2006), Amorim *et al.* (2012) *apud* Santos (2013).

Nos Estados Unidos da América a erosão continental visualizada em campo é classificada em quatro categorias conforme o grau do processo na encosta (Quadro 5).

**Quadro 05** - Classes de erosão continental.

Classe	Descrição
1	Sem erosão aparente ou leve erosão.
2	Erosão moderada: perda moderada da camada superficial do solo em geral e/ou alguma dissecação por canais de escoamento ou ravinas iniciais.
3	Erosão severa, perda severa da camada superficial do solo e/ou acentuada dissecação por canais de escoamento ou ravinas.
4	Erosão muito severa: truncamento completo do perfil do solo e exposição do subsolo (horizonte B) e/ou profunda e intrincada dissecação por canais de escoamento ou voçorocas.

Fonte: USDA (1951 *apud* EL-SWAIFY; DANGLER; ARMSTRONG, 1982).

## 1.2. Erosão de Margem Fluvial

A erosão fluvial é um fenômeno natural e fortemente controlada pela geologia (litologia e estrutura) e pelo clima (SUGUIO, 2003). Entretanto as intervenções provocadas pelo homem no sistema aceleram a erosão dos interflúvios, acentuam as agressões às calhas dos rios e aumentam o depósito de sedimentos e a instabilidade dos leitos fluviais (TUCCI, 2000). Entre os efeitos provocados pelo homem que afetam o sistema fluvial, destacam-se o desmatamento das matas ciliares, a criação e/ou expansão de aterros, a canalização ou retificação inadequada do curso d'água, o lançamento de lixo e/ou entulho no canal, construção de pontes e estradas sem estudo técnico e a implantação de barragens.

Christofoletti (1981) e Suguio e Bigarella (1990) definem a erosão fluvial como todo o processo que remove o material do fundo e das margens de um canal por corrosão, abrasão e cavitação. Um tipo de erosão fluvial é aquele que ocorre nas margens do curso d'água, denominada erosão de margem fluvial. Na região amazônica a erosão de margem fluvial é observada no fenômeno Terras Caídas, que ocorre nas margens dos rios amazônicos principalmente em depósitos aluvionares recentes e depósitos mais antigos (AZEVEDO FILHO; CARVALHO; GLÓRIA, 2018). O quadro 6 mostra quais são os fatores que influenciam a erosão de margem fluvial.

**Quadro 06** - Fatores que influenciam a erosão de margem fluvial.

Fatores	Características relevantes
Propriedades do fluxo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnitude, frequência e variabilidade no caudal;</li> <li>• Magnitude e distribuição da velocidade e pressão;</li> <li>• Grau de turbulência;</li> <li>• Concentração de sedimentos.</li> </ul>
Geometria dos canais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largura, profundidade e declive dos canais;</li> <li>• Altura e ângulo das margens;</li> <li>• Curvatura dos canais.</li> </ul>
Composição do material adjacente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamanho, coesão e estratificação das camadas sedimentares.</li> </ul>
Clima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantidade, intensidade e duração da precipitação;</li> <li>• Frequência e duração do período gelado.</li> </ul>
Condições subsuperficiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umidade do solo, existência de <i>piping</i> e porosidade.</li> </ul>
Biologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo e densidade do sistema radicular da vegetação;</li> <li>• Macroporosidades biológicas.</li> </ul>
Fatores antrópicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urbanização, sistemas de drenagem, desenvolvimento de reservatórios;</li> <li>• Estruturas de proteção, uso e ocupação do solo.</li> </ul>

Fonte: Knighton (1984, 1998, *apud* LOURENÇO; NUNES, 2019).

A erosão de margem fluvial contribui significativamente no incremento da carga de fundo dos rios e provoca destruição progressiva da área marginal, desvalorizando os terrenos ribeirinhos e limitando o seu uso adequado (THORNE; TOVEY, 1981). No estudo da dinâmica fluvial considera-se que este tipo de erosão ocorre por meio de uma contínua e complexa rede de interações entre seus principais agentes e que um dos fatores passa a desempenhar papel fundamental entre os demais mecanismos (MARQUES, 2013).

No rio há a erosão de solos e rochas, transporte deste material e a sua eventual deposição (BELL, 2007). O gráfico de Hjulström mostra qual é a velocidade do fluxo necessária para que estes processos ocorram em função das diferentes granulometrias que existem no curso d'água (Figura 9). Neste diagrama é possível notar que solos ricos em silte, areias fina e média são mais suscetíveis à erosão (LAL, 1988).

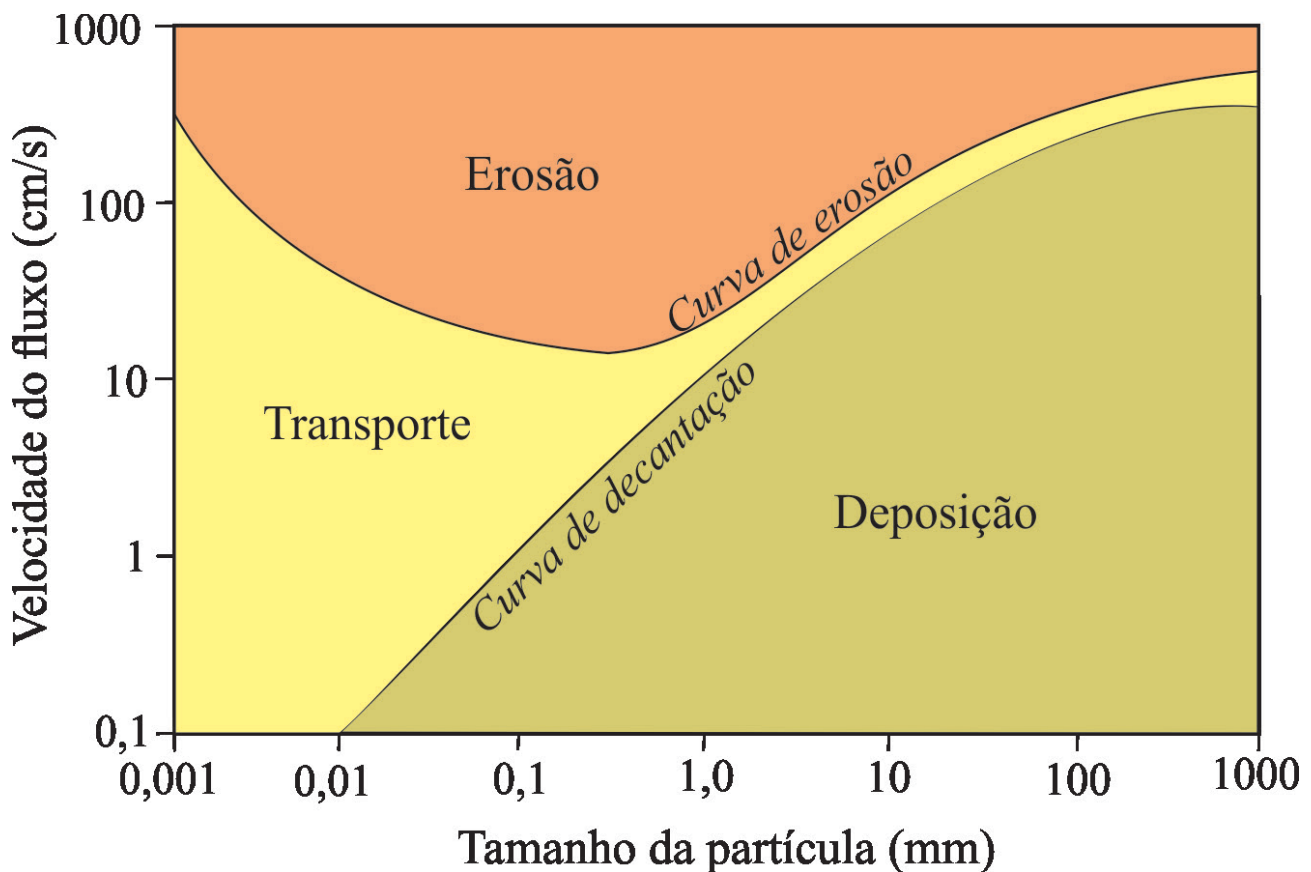
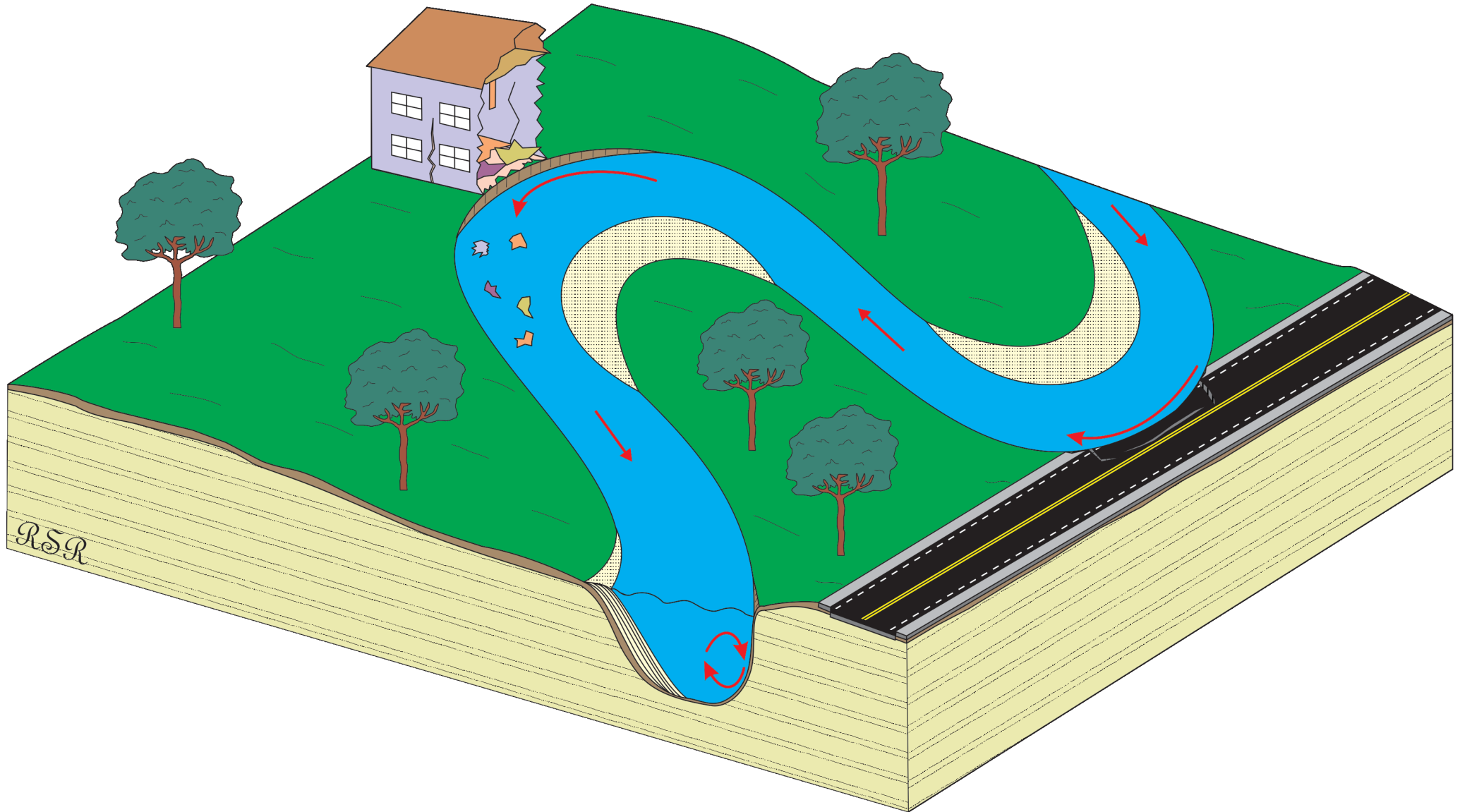


Figura 09 - Gráfico de Hjulström. Fonte: Elaborada pelo autor a partir da modificação da figura de Press & Siever (1986 apud NICHOLS, 2009).

Conforme Suguio (2003), a grande maioria dos pesquisadores admite três padrões fundamentais de canais fluviais: retilíneo, entrelaçado, e eventualmente os anastomosados. Os rios meandantes são formados pelos meandros, curvas de ocorrência natural no terreno. Os meandros se desenvolvem pela erosão do margem mais próxima do talvegue, acompanhada por deposição no lado oposto do canal, onde o o fluxo é lento e a carga básica não pode mais ser carregou (NICHOLS, 2009). Ocorre um trabalho permanente de escavação na margem côncava, onde a velocidade é maior, e de deposição na margem convexa, local de velocidade mais baixa (BANDEIRA, 2005). Portanto há contínua erosão da margem côncava do meandro, o que afeta as construções localizadas nesta região que, num primeiro momento, são parcialmente destruídas (Figura 10). Enquanto isto, há lenta deposição no lado convexo de um meandro e gradual e contínua migração lateral do canal do curso d'água (BELL, 2007).





**Figura 10** - Representação esquemática de erosão de margem fluvial. Fonte: Elaborada pelo autor.

### 1.3. Erosão Marinha

Os processos geomorfológicos costeiros são dinâmicos e complexos, compreendendo a ação de agentes que provocam erosão, transporte e deposição de sedimentos, levando a constantes modificações na conformação na zona costeira (INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 1998). A erosão marinha, também denominada costeira, é definida como a remoção de material da costa pela ação das ondas, correntes das marés e/ou atividades do homem, normalmente causando um recuo da linha de costa em direção ao continente (BRITISH GEOLOGY SURVEY, 2012). Prasad e Kumar (2014) afirmam que a erosão costeira é geralmente o resultado de uma combinação de fatores naturais e humanos operando em escalas diferentes (Quadros 7 e 8).

**Quadro 07** - Causas naturais da erosão marinha no Brasil.

Causas naturais	
1	Dinâmica de circulação costeira: presença de zonas de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea em determinados locais mais ou menos fixos da linha de costa.
2	Morfodinâmica praias: praias intermediárias têm maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, reflexivas de baixa energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas.
3	Aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.
4	Fisiografia Costeira: irregularidades na linha de costa (mudanças bruscas na orientação, promontórios rochosos e cabos inconsolidados) dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia.
5	Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos, contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.
6	Armadilhas de sedimentos e migração lateral: desembocaduras fluviais ou canais de maré; e feito "molhe hidráulico"; depósitos de sobrelavagem; obstáculos fora da praia (barras arenosas, ilhas, parcéis, arenitos de praia e recifes).
7	Inversões na deriva litorânea causada por fenômenos climáticos e meteorológicos intensos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e a atuação intensa do "El Niño/ENSO".
8	Elevações do nível relativo do mar de curto período devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés astronômicas de sizígia e elevações sazonais do nível do mar, resultando nos mesmos processos da elevação de nível do mar de longo período.
9	Efeitos atuais da elevação do nível relativo do mar durante o último século, em taxas de até 30 cm: forte erosão com retrogradação da linha de costa.
10	Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período: Regra de Bruun e migração do perfil praias rumo ao continente.
11	Evolução quaternária das planícies costeiras: balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época.
12	Balanço sedimentar atual negativo originado por processos naturais individuais ou combinados.
13	Fatores Tectônicos: subsidências e soerguimentos da planície costeira.

Fonte: Modificado de Souza *et al.* (2005 *apud* SOUZA, 2009).

**Quadro 08** - Causas antrópicas da erosão marinha no Brasil.

Causas antrópicas	
14	Urbanização da orla, com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.
15	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píers, quebra-mares, muros, etc., para "proteção costeira" ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais.
16	Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.
17	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
18	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias.
19	Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais/ e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
20	Balanço sedimentar atual negativo decorrente de intervenções antrópicas.

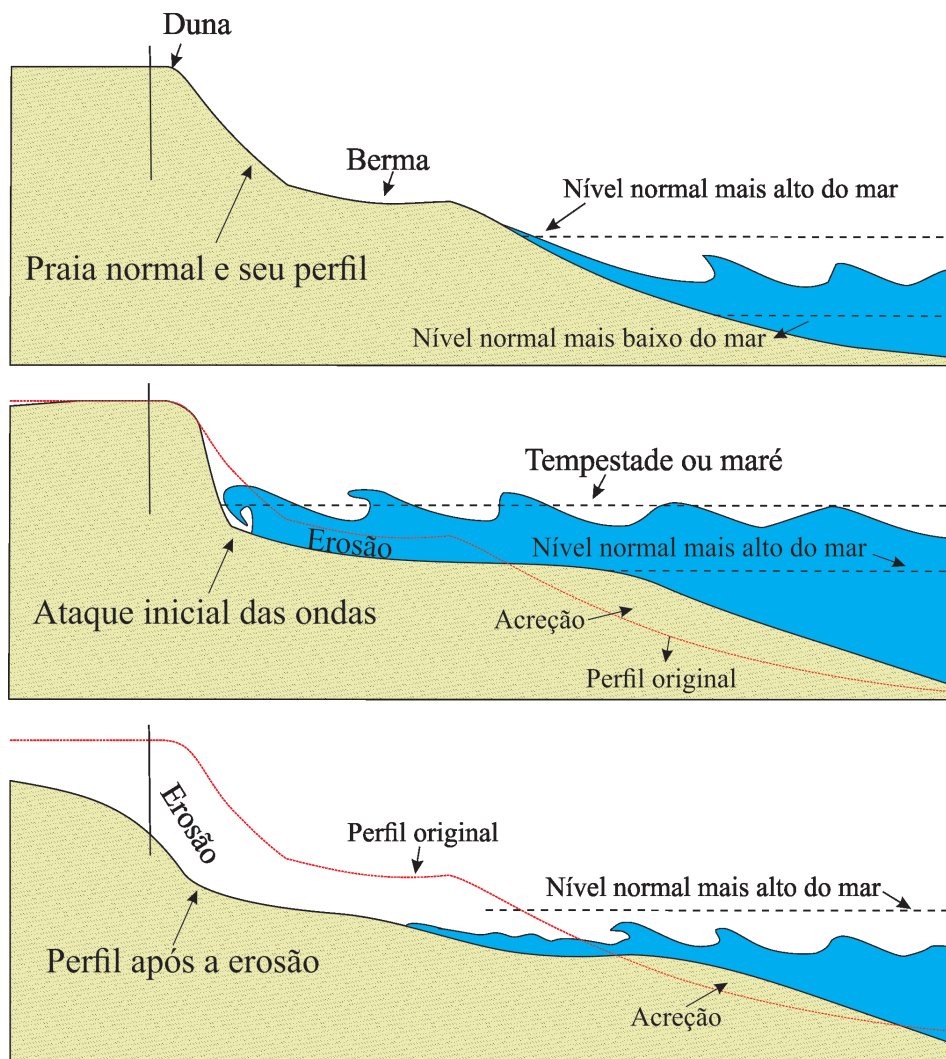
Fonte: Souza *et al.* (2005 *apud* SOUZA, 2009).

Com o aquecimento global e as mudanças climáticas, ocorrerá aumento do nível do mar ao longo do século 21 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014). Nesta situação o IPCC (2014) aponta que os sistemas costeiros e áreas baixas irão cada vez mais sofrer impactos adversos, como submersão, inundações costeiras e erosão costeira e que as projeções indicam que população e infraestrutura estarão cada vez mais expostos a riscos costeiros com o passar dos anos.

Em diversos cenários a erosão marinha é potencializada pela interferência antrópica (MENEZES, 2020). Muehe (2008) aponta que 80% das erosões marinhas são atribuídas à intervenção do homem e estão relacionadas à urbanização e à interferência no balanço sedimentar em decorrência da construção de estruturas rígidas. No Brasil, a orla costeira pode ter um processo de erosão acelerado por intervenção antrópica em zonas costeiras e/ou pressão antrópica de cunho socioeconômico (VALE, 1999, *apud* PINHEIRO; VALE; COELHO, 2021).

O desenvolvimento da feição erosiva na costa varia de acordo com a natureza da rocha na qual ocorre a escavação, por exemplo, se os sedimentos não estiverem consolidados ou se a camada mergulha em direção ao mar (BELL, 2007).

Entre os agentes transformadores da morfologia e perfil praial, destaca-se a ação das ondas incidentes, capaz de retrabalhar e redistribuir o sedimento inconsolidado, transportando-o na linha de costa e acarretando processos deposicionais e erosivos (VAN RIJN, 1998). A contínua ação das ondas pode erodir a costa e remodelar a geomorfologia costeira de uma região (Figura 11).



**Figura 11** - Etapas de erosão marinha com atuação das ondas em uma remodelagem da geomorfologia costeira. Fonte: Elaborada pelo autor a partir da modificação de figura de U.S. Army Corps of Engineers (1977 *apud* O'NEILL JR., 1985).

Conforme Bell (2007) a natureza do impacto de uma onda na costa depende, em certa medida, da profundidade de a água e em parte no tamanho da onda e o vigor de sua ação cai drasticamente com o aumento da profundidade da coluna d'água. Suguio (2003) afirma que o impacto direto das ondas pode alcançar até mais de 10 t/m<sup>2</sup>, porém o maior efeito de erosão por onda deve-se à pressão exercida pela penetração forçada das águas nas discontinuidades das rochas.

A figura 12 mostra como a erosão marinha afeta e coloca em risco elementos construídos na costa.

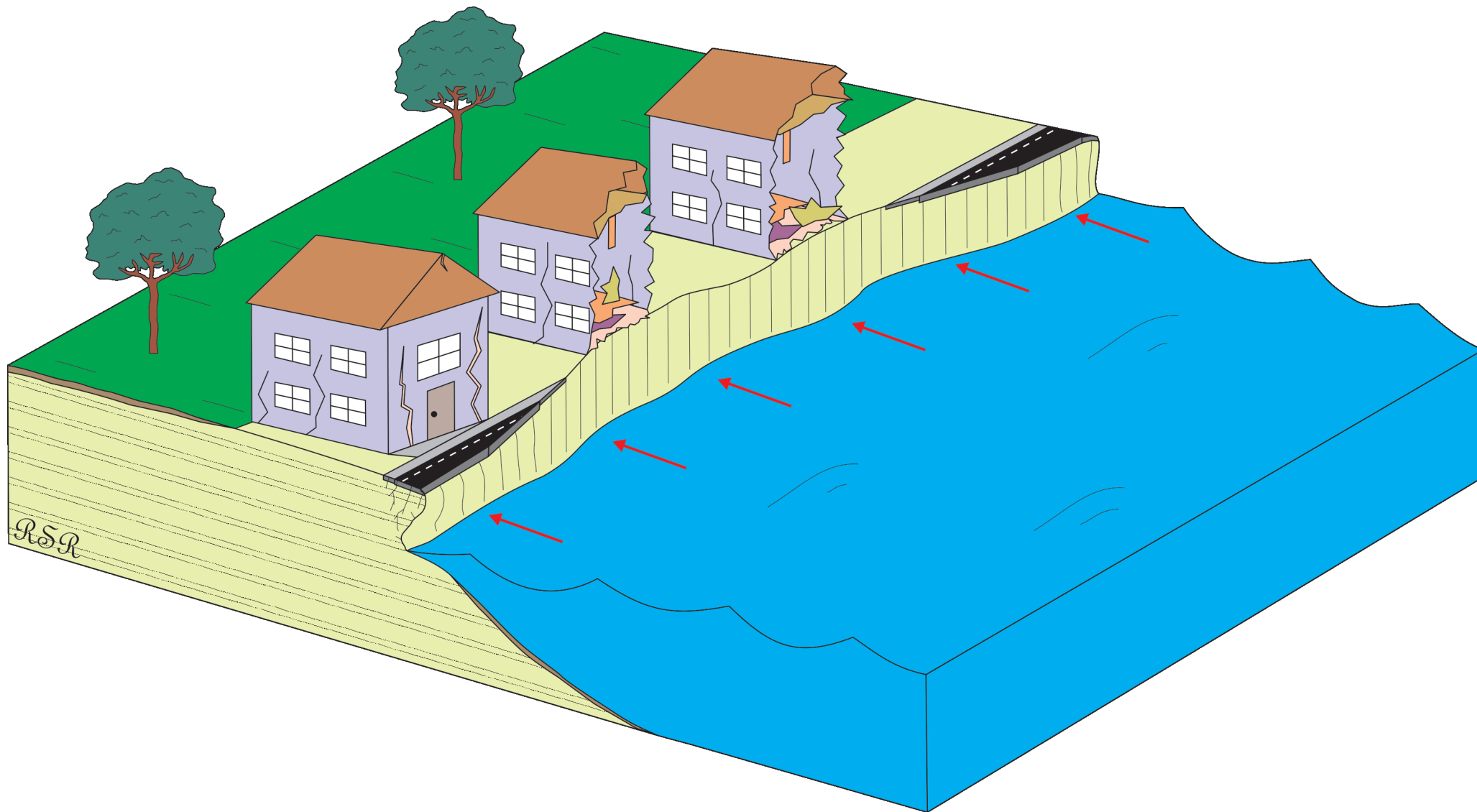


Figura 12 - Representação esquemática de erosão marinha. Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio da administração pública, o Estado Nacional é o maior agente impactante na zona costeira, com a capacidade de reverter tendências de ocupação e gerar novas perspectivas de uso mediante tombamentos, e pela instalação de grandes equipamentos ou dotação de infraestruturas, como estradas, portos ou complexos industriais (VITTE, 2003). No caso do Espírito Santo, seu litoral apresenta acelerado crescimento urbano sem planejamento, o que acelera a tendência erosiva das praias (ALBINO; PAIVA; MACHADO, 2001). Brasil (2018) assegura que os trechos em erosão, em sua grande maioria, encontram-se associados à ocupação urbana e industrial da costa capixaba, que vem sendo realizada sem o conhecimento dos processos costeiros e visando somente o melhor aproveitamento operacional e econômico do litoral.

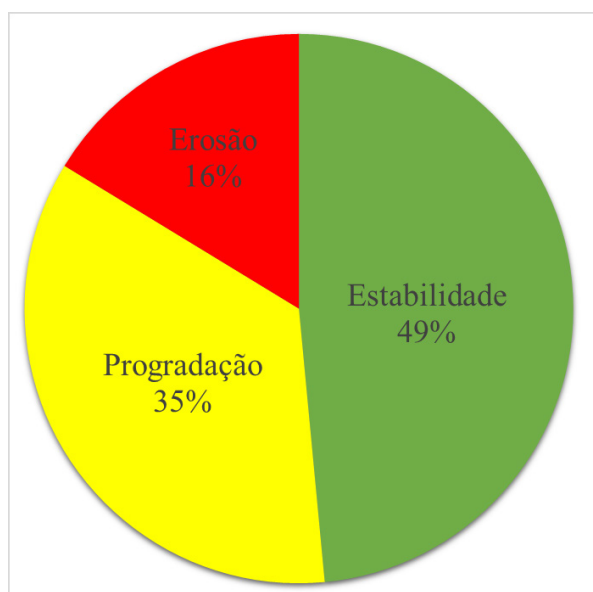
Martin *et al.* (1996) estabeleceram que a costa do Espírito Santo pode ser dividida em três setores de acordo com a sua unidade geomorfológica:

- i. Litoral Nordeste: vai do limite com a Bahia até a Baía de Vitória, onde os depósitos quaternários são limitados pelas falésias da Formação Barreiras;
- ii. Litoral Central: vai desde a baía de Vitória até a foz do Rio Itapemirim, onde os afloramentos rochosos chegam a costa e o litoral; e
- iii. Litoral Sudeste: se estende da foz do Rio Itapemirim até o limite com o Rio de Janeiro, onde as falésias voltam a aflorar na linha de costa.

Albino, Paiva e Machado (2001) apontam características erosivas para os três compartimentos litorâneos do estado. Entre elas, destacam-se:

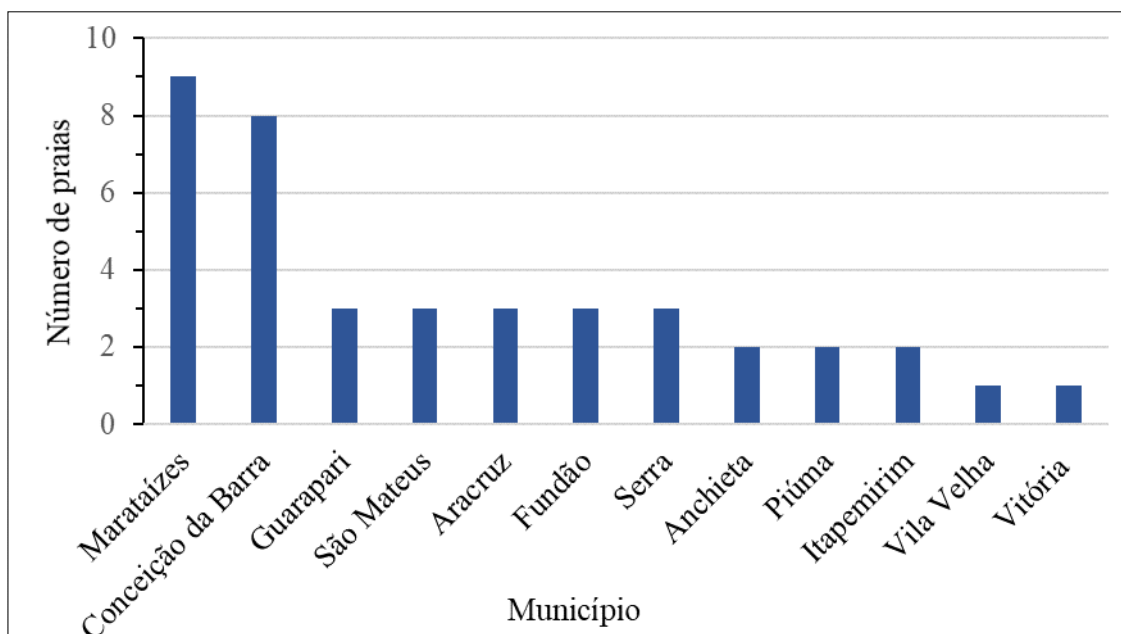
- i. Litoral Nordeste: a situação erosiva mais alarmante verifica-se no bairro da Bugia, Conceição da Barra, cidade com intensa ocupação urbana e turística.
- ii. Litoral Central: eventos erosivos sazonais localizados. Entretanto este litoral sofreu alterações devido à intensa ocupação urbana da região metropolitana de Vitória e Guarapari, o que agravou a situação erosiva no litoral; e
- iii. Litoral Sudeste: trecho de intensa ocupação, destacando-se a cidade de Marataízes, onde os processos erosivos são intensos.

De acordo com Brasil (2018), 239,66 km de extensão do litoral do Espírito Santo está em estabilidade, 173,83 km encontra-se em progradação e 80,35 km está em processo de erosão, o que representa cerca de 16% do litoral capixaba (Figura 13).



**Figura 13** - Percentuais do litoral do Espírito Santo em estabilidade, progradação ou com erosão. Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados de Brasil (2018).

De acordo com o Governo do Estado do Espírito Santo (2006), no ano de 2006 existiam 40 praias ou locais com ocorrências de erosão marinha distribuídos em 12 municípios capixabas (Figura 14).



**Figura 14** - Número de praias ou locais com erosão marinha em municípios litorâneos do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados de Governo do Estado do Espírito Santo (2006).

#### 1.4. COBRADE

Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE as erosões de margem fluvial, marinha e continental fazem parte do subgrupo erosão, que por sua vez está incluído no grupo de desastres geológicos (BRASIL, 2012). Os termos adotados para os três fenômenos e as suas respectivas siglas criadas neste estudo estão destacados em amarelo no quadro 9.

**Quadro 09** - COBRADE com os processos analisados neste volume destacados em amarelo.

COBRADE				Atlas de riscos geológico e hidrológico do ES	
Grupo	Subgrupo	Tipo	Subtipo	Termo adotado	Sigla
Geológico	Movimentos de massa	Quedas, tombamentos e rolamentos	Blocos	Queda de blocos	QB
			Lascas		
			Matacões		
			Lajes		
		Deslizamentos	Deslizamentos de solo e/ou rocha	Deslizamento planar	DP
		Corridas de massa	Solo/Lama	Corrida de massa	CM
			Rocha/Detrito		
		Subsidências e colapsos		Subsidência e colapso	SC
	Erosão	Erosão Costeira/Marinha		Erosão marinha	EM
			Erosão de margem fluvial	EF	
Erosão Continental		Laminar	Erosão continental	EC	
		Ravina			
		Boçorocas			
Hidrológico	Inundações			Inundação	ID
	Enxurradas			Enxurrada	EX
Processos não contemplados na COBRADE				Rastejo	RT
				Enchente	ET
				Deslizamento rotacional	DR

Fonte: Modificado de Brasil (2012).

## 1.5. Risco

O Escritório da Organização das Nações Unidas Para a Redução de Risco de Desastres define risco como:

*A probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas esperadas (mortes, feridos, propriedades, meios de subsistência, atividade econômica interrompida ou ambiente danificado) resultante das interações entre perigos naturais ou induzidos pelo homem e condições vulneráveis. Convencionalmente, o risco é expresso pela notação Risco = Perigo x Vulnerabilidade. Alguns também incluem o conceito de exposição para se referir particularmente aos aspectos físicos da vulnerabilidade (UNITED NATIONS, 2004).*

Van Westen, Van Asch e Soeters (2006) afirmam que o risco total é resultado do perigo multiplicado pelas perdas esperadas para todos os elementos em risco, que pode ser representado esquematicamente pela seguinte equação:

$$Risco = \sum (H \sum (VA)) \quad (2)$$

Onde:

- *H* é o perigo, expresso como probabilidade de ocorrência dentro de um período de referência. O perigo é função da probabilidade espacial (fatores estáticos relacionados ao ambiente como inclinação, força de materiais, profundidade, etc.) e da probabilidade temporal, relacionada indiretamente a alguns fatores ambientais, como inclinação e condutividade hidráulica e diretamente aos fatores dinâmicos como chuva e drenagem;
- *V* é vulnerabilidade física de um determinado elemento em risco (de 0 a 1) para um tipo específico de perigo e para um elemento específico em risco; e
- *A* é a quantidade ou custo dos elementos em risco (número de edificações, custo dos edifícios afetados, número de pessoas afetadas, etc.).

## 1.6. Setorização de risco da CPRM e PMRR

A setorização de risco a erosões da CPRM consiste no levantamento das construções que foram ou podem ser atingidas e afetadas por tais processos. Estas são agrupadas em setores qualificados em quatro graus de risco: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto. No caso da erosão de margem fluvial, foi adotada a classificação mostrada no quadro 10.

No mapeamento são delimitados e considerados somente os setores de risco alto (R3) e muito alto (R4). É então feita estimativa do número de moradores nos setores demarcados.

O Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) é um documento detalhado que, entre outras informações, define e qualifica áreas de risco e norteia as intervenções estruturais e não-estruturais mais adequadas de serem implementadas para a eliminação ou redução do risco. As áreas de risco são classificadas e, assim como nos setores de risco produzidos pela CPRM, há descrição, registros fotográficos e indicação do limite do polígono.

Este volume do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo tem por objetivo apresentar resultados dos municípios capixabas em relação aos riscos alto e muito alto oriundos de erosão de margem fluvial, erosão continental e erosão marinha no período de 2011 a 2020. Foram concluídos os estudos em 77 municípios capixabas. O PMRR de Serra será lido e os dados verificados e adicionados posteriormente.



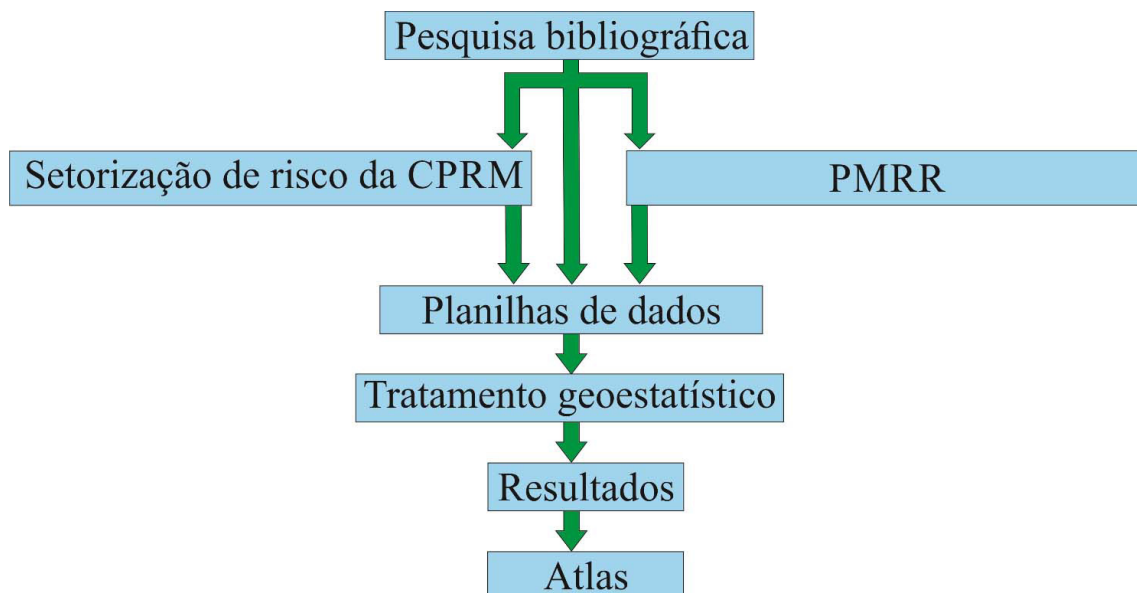
**Quadro 10** - Graus de risco para deslizamento e erosão de margem fluvial.

Grau de risco	Descrição
R1 Baixo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial;</li> <li>Não se observa (m) sinal (is), feição (ões) ou evidência (s) de instabilidade. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens;</li> <li>Mantidas as condições existentes não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período compreendido por uma estação chuvosa normal.</li> </ul>
R2 Médio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial;</li> <li>Observa-se a presença de algum (ns) sinal (is), feição (ões) ou evidência (s) de instabilidade, porém incipiente (s). Processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento;</li> <li>Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</li> </ul>
R3 Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial;</li> <li>Observa-se a presença de significativo (s) sinal (is), feição (ões) ou evidência (s) de instabilidade. Processo de instabilização em pleno desenvolvimento, ainda sendo possível monitorar a evolução do processo;</li> <li>Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</li> </ul>
R4 Muito Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes e o nível de intervenção no setor são de muita alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de deslizamento e erosão de margem fluvial;</li> <li>Os sinais, feições ou evidências de instabilidade são expressivos e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, sendo possível monitorar a evolução do processo, dado seu elevado estágio de desenvolvimento;</li> <li>Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período compreendido por uma estação chuvosa.</li> </ul>

Fonte: Modificado de Brasil e IPT (2007).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas deste volume do atlas seguem o fluxograma da figura 15.



**Figura 15** - Fluxograma com as etapas metodológicas do atlas. Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente foi feita pesquisa bibliográfica sobre os processos abordados em teses, periódicos, livros e outras publicações que pudessem subsidiar a elaboração do relatório.

Com exceção do município de Serra, foram inseridas e organizadas as informações dos Planos Municipais de Redução de Riscos dos municípios mais populosos e das setorizações de risco do Serviço Geológico do Brasil realizados entre 2011 e 2020. Em casos específicos foram consultados os PMRRs de municípios cujos mapeamentos são mais recentes que as setorizações da CPRM. Nestes documentos foram analisados, setor por setor, os polígonos de risco, descrições, graus de risco, fotografias, logradouros, números de construções e população em risco.

Com as fotografias dos documentos, os polígonos que delimitam os setores de risco e o *Google StreetView* foi possível a validação das informações. Rodovias, ruas, avenidas, becos e travessas foram virtualmente acessadas no *Google StreetView*. Foram minuciosamente conferidos o número de construções, o grau de risco das construções e a estimativa da população residente em cada setor. Durante este processo algumas modificações foram consumadas e os dados inseridos na planilha Dados de Risco, cujas colunas são apresentadas no quadro 11.

**Quadro 11** - Colunas da planilha Dados de Risco.

Título	Descrição
Município	Nome do município.
Ano	Ano do mapeamento de risco.
Setor	Número do setor de risco.
Processos	Indicação de um ou mais processos que ocorreram ou podem ocorrer no setor.
Grau	Grau de risco: Alto ou Muito alto.
Construções	Número de construções em risco no setor.
População	Estimativa da população em risco no setor.
OBS	Observações sobre o mapeamento de risco: se é PMRR, se houve alterações, em que coluna ocorreram e o motivo das alterações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que a avaliação da situação em campo é indispensável. É neste momento que o pesquisador identifica feições, estabelece o grau de risco, avalia a vulnerabilidade das construções, dialoga com moradores e a Defesa Civil, determina características geológicas-geotécnicas do terreno e decide com precisão os limites dos setores de risco.

Os dados foram tratados na planilha Geoestatística. Neste volume foram analisadas as informações contidas nas colunas da referida planilha apresentadas no quadro 12.

**Quadro 12** - Colunas da planilha Geoestatística analisadas neste volume.

Título	Descrição
Município	Nome do município.
N	Número do município conforme a sua posição em ordem alfabética.
Popu_2010	Número de habitantes no município de acordo com o Censo Demográfico de 2010.
EC_Cons	Construções em risco alto e muito alto do município para erosão continental.
EC_Popu	População municipal em risco alto e muito alto para erosão continental.
EC_Pct_ES	Porcentagem da população estadual que se encontra em risco alto e muito no município para erosão continental.
EC_Pct_Mn	Porcentagem da população municipal que se encontra em risco alto e muito no município para erosão continental.
EF_Cons	Construções em risco alto e muito alto do município para erosão de margem fluvial.
EF_Popu	População municipal em risco alto e muito alto para erosão de margem fluvial.
EF_Pct_ES	Porcentagem da população estadual que se encontra em risco alto e muito no município para erosão de margem fluvial.
EF_Pct_Mn	Porcentagem da população municipal que se encontra em risco alto e muito no município para erosão de margem fluvial.
EM_Cons	Construções em risco alto e muito alto do município para erosão marinha.
EM_Popu	População municipal em risco alto e muito alto para erosão marinha.
EM_Pct_ES	Porcentagem da população estadual que se encontra em risco alto e muito no município para erosão marinha.
EM_Pct_Mn	Porcentagem da população municipal que se encontra em risco alto e muito no município para erosão marinha.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual da população estadual em risco alto e muito alto para cada município foi determinado com a aplicação da equação 3. O percentual da população municipal em risco alto e muito alto para cada processo foi calculado com base no último Censo Demográfico do Brasil, concluído em 2010 (IBGE, 2010) (Equação 4).

$$PP_L^{UF} = \left( \frac{Popu_L^{R3 e R4}}{\sum Popu_L^{R3 e R4}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

- $PP_L^{UF}$  é o percentual da população da unidade da federação  $UF$  em risco alto e muito alto no município para o processo  $L$ ;
- $Popu_L^{R3 e R4}$  é a população do município em risco alto ( $R3$ ) e muito alto ( $R4$ ) devido ao processo  $L$ ; e
- $\sum Popu_L^{R3 e R4}$  é a população da unidade da federação em risco alto ( $R3$ ) e muito alto ( $R4$ ) para o processo  $L$ .

$$PP_L^{Mn} = \left( \frac{Popu_L^{R3 e R4}}{Popu_{2010}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

- $PP_L^{Mn}$  é o percentual da população municipal em risco alto e muito alto no município  $Mn$  para o processo  $L$ ;
- $Popu_L^{R3 e R4}$  é a população do município em risco alto ( $R3$ ) e muito alto ( $R4$ ) devido ao processo  $L$ ; e
- $Popu_{2010}$  é a população do município no Censo Demográfico de 2010.

Os resultados obtidos na planilha Geoestatística foram inseridos no QGis 3.20® em coordenadas geográficas e tendo como sistema de referência geodésico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 – SIRGAS 2000. As cartas montadas no programa contêm os limites municipais do estado e os municípios são preenchidos por cores próprias estabelecidas de acordo com as classes dos valores do parâmetro estudado. Para a definição da quantidade de classes foi aplicada a Regra de Sturges:

$$k=1+3,3.\log(n) \quad (5)$$

Onde:  $k$  é a quantidade de classes; e

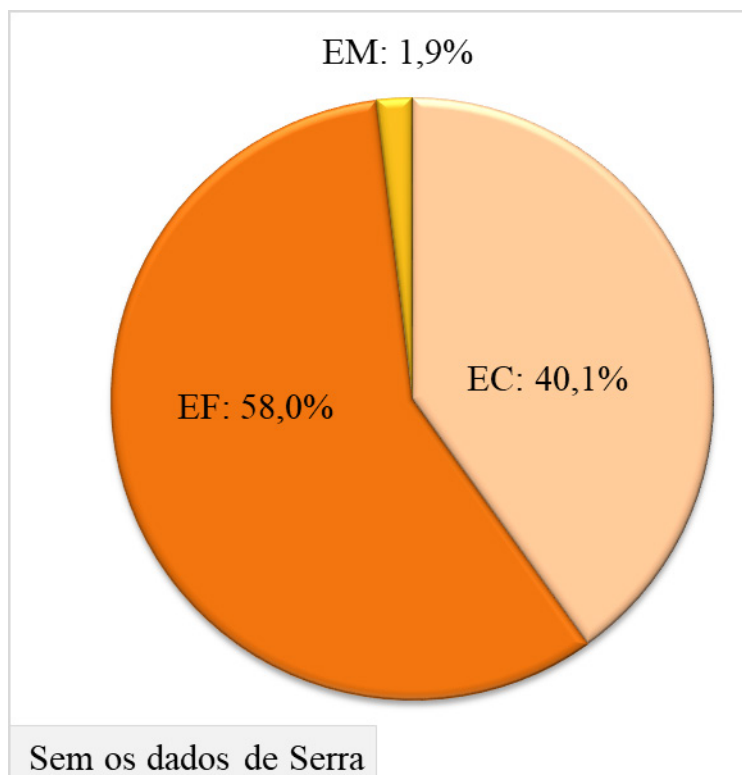
$n$  é o número de dados.

Como o número de dados nas cartas é igual a 78,  $k=7,2$ . Logo são sete classes para a representação nas legendas das cartas. Entretanto os municípios com valor nulo para o parâmetro estudado e Serra, que nesta pesquisa não foi analisado, são indicados em classe própria e na cor branca. Dessa forma adotou-se oito classes para as cartas.

Após a conclusão das cartas, estas foram exportadas para comporem este relatório técnico-científico.

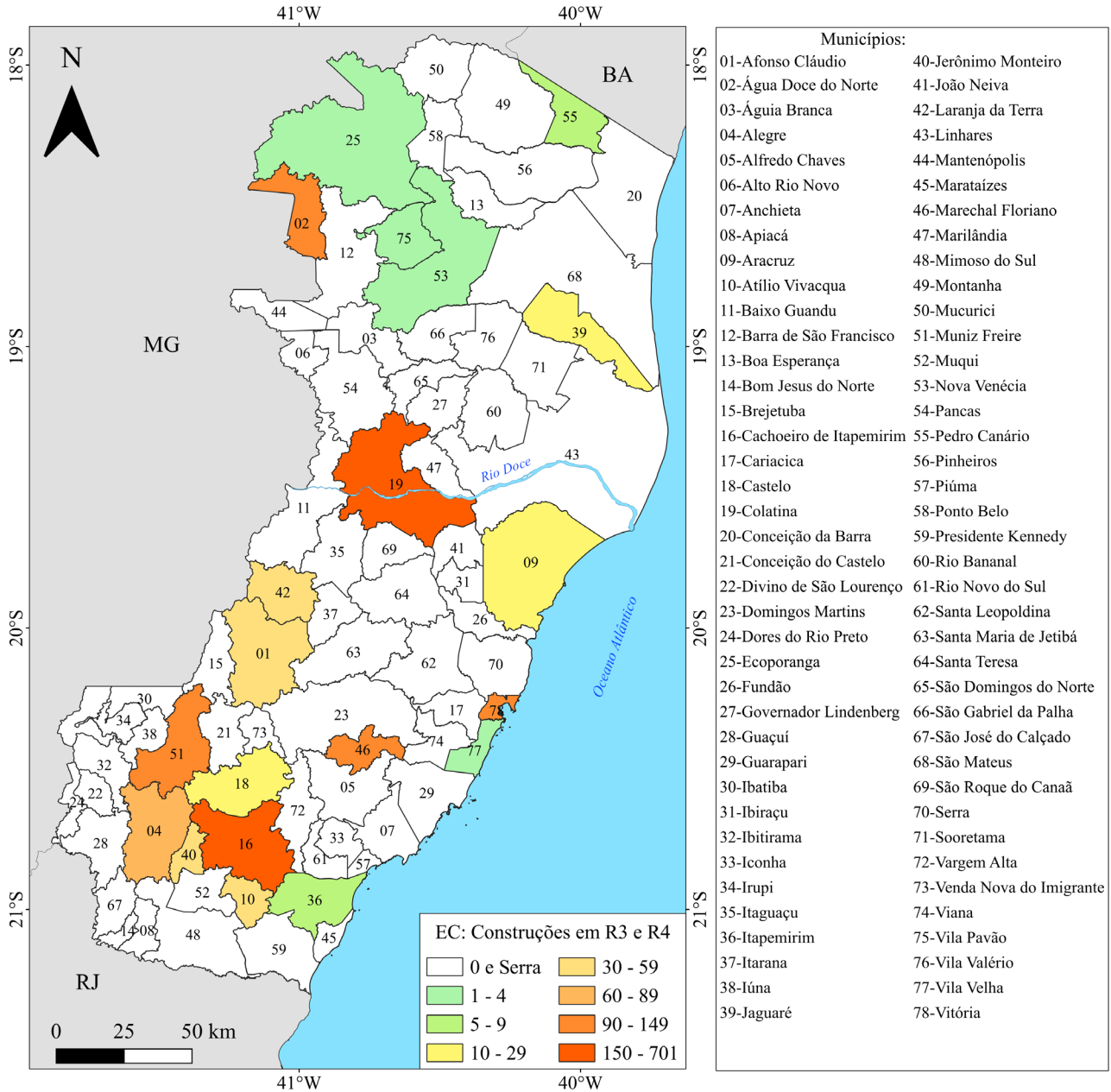
### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

Dos três processos erosivos analisados, as erosões de margem fluvial afetam o maior número de construções no estado do Espírito Santo enquanto as erosões marinhas representam somente 1,9 % das construções em risco alto e muito alto (Figura 16).



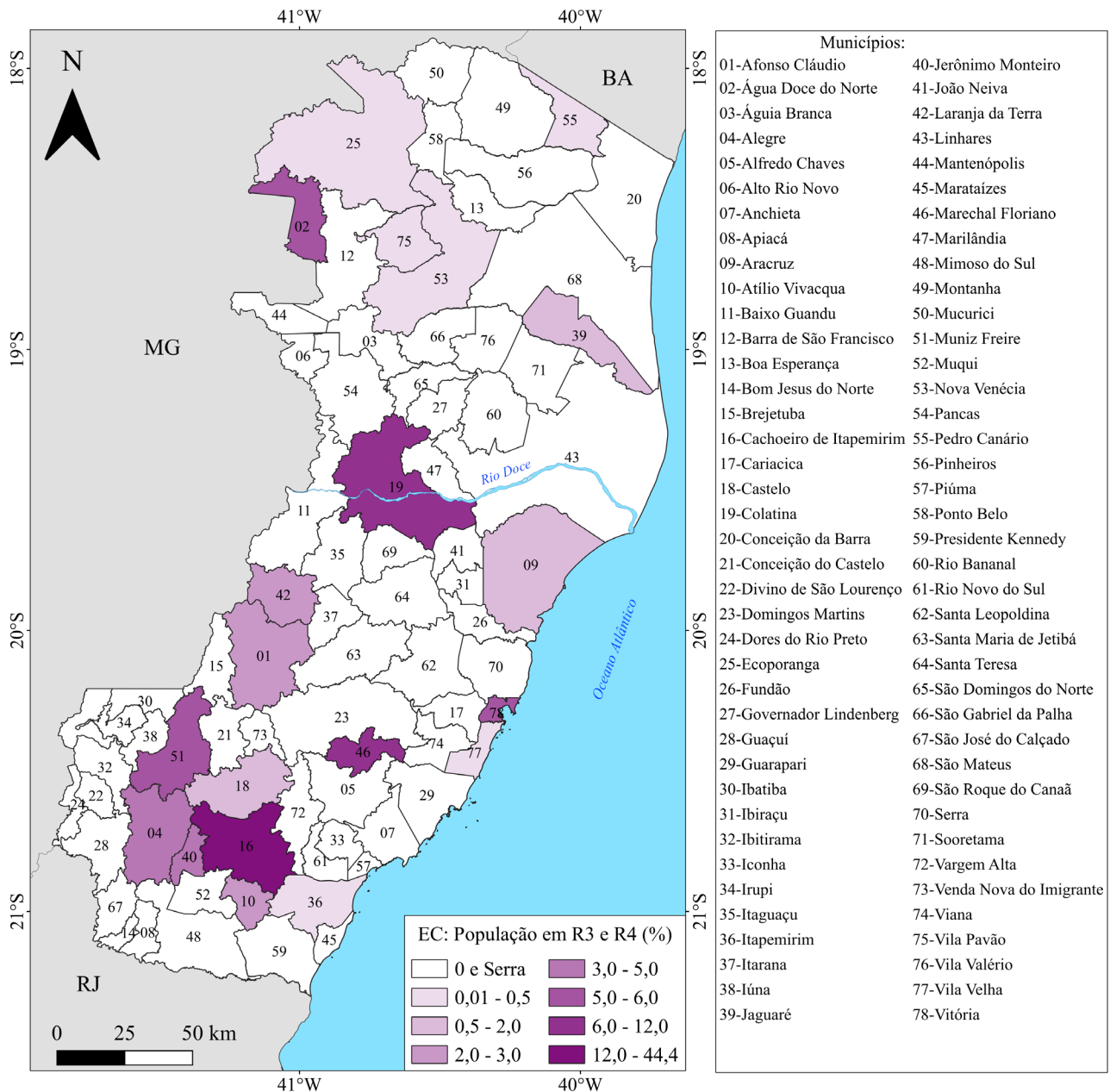
**Figura 16** - Percentual de construções em risco alto ou muito alto a erosão de margem fluvial (EF), erosão continental (EC) e erosão marinha (EM) em relação ao total sujeito a processos erosivos no Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

A erosão continental está presente em 3,2% dos setores de risco geológico e hidrológico do Estado do Espírito Santo classificados como alto e muito alto. No estado há 1.580 construções que foram ou podem ser afetadas pela ocorrência do fenômeno distribuídas em 20 municípios (Figura 17).



**Figura 17** - Número de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão continental (EC) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

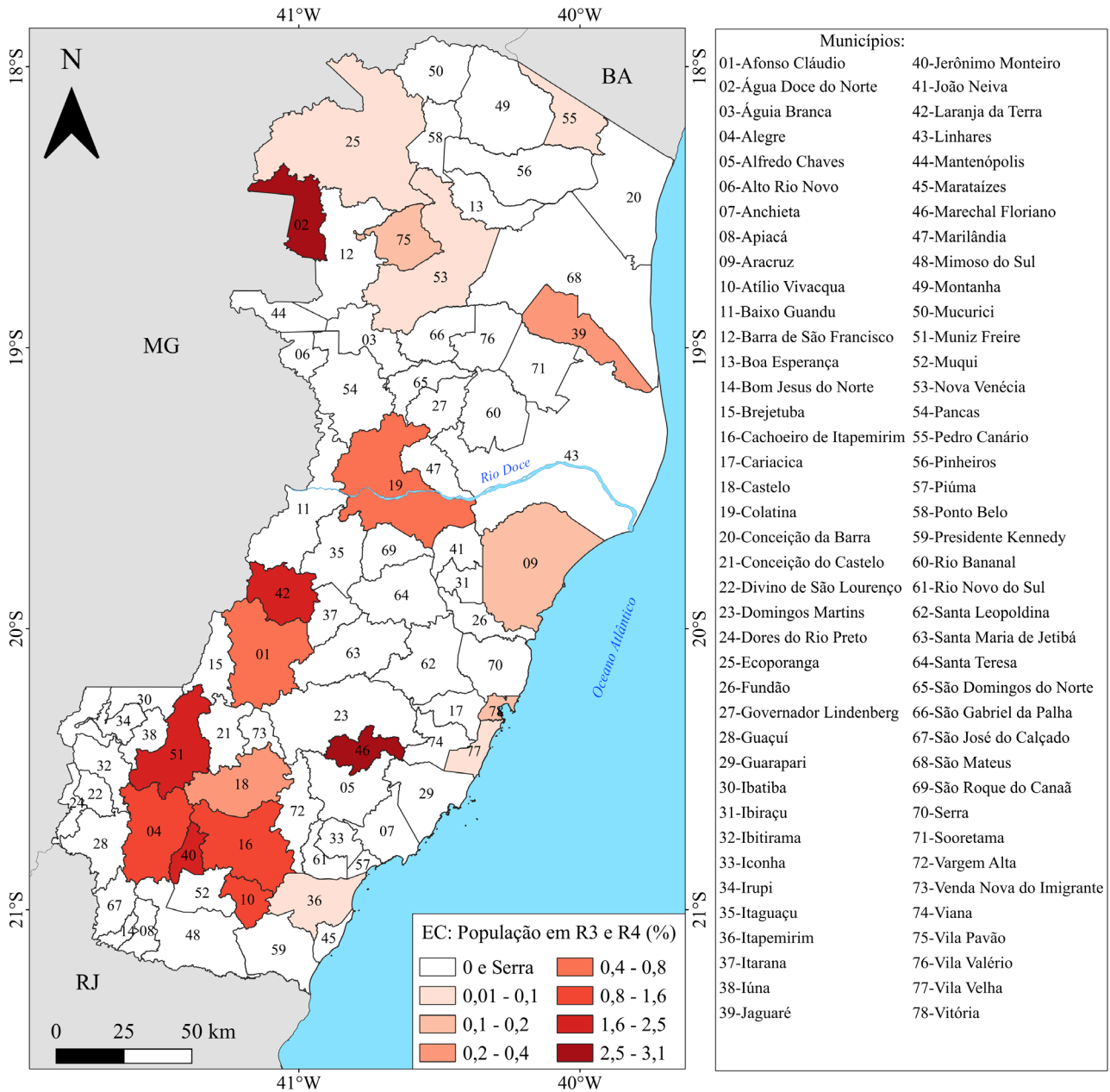
Pouco mais da metade da população capixaba em risco alto e muito alto devido à erosão continental reside nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Colatina (Figura 18). Somente Cachoeiro de Itapemirim concentra 44,4% do contingente populacional sujeito ao processo no estado.



**Figura 18** - Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão continental (EC) nos municípios do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

A erosão continental representa pequena parcela do risco alto e muito alto para os municípios capixabas, atingindo o patamar máximo de 3,1% no município de Água Doce do Norte. Após este, os municípios mais afetados pelo processo são Marechal Floriano, Muniz Freire, Jerônimo Monteiro e Laranja da Terra (Figura 19).

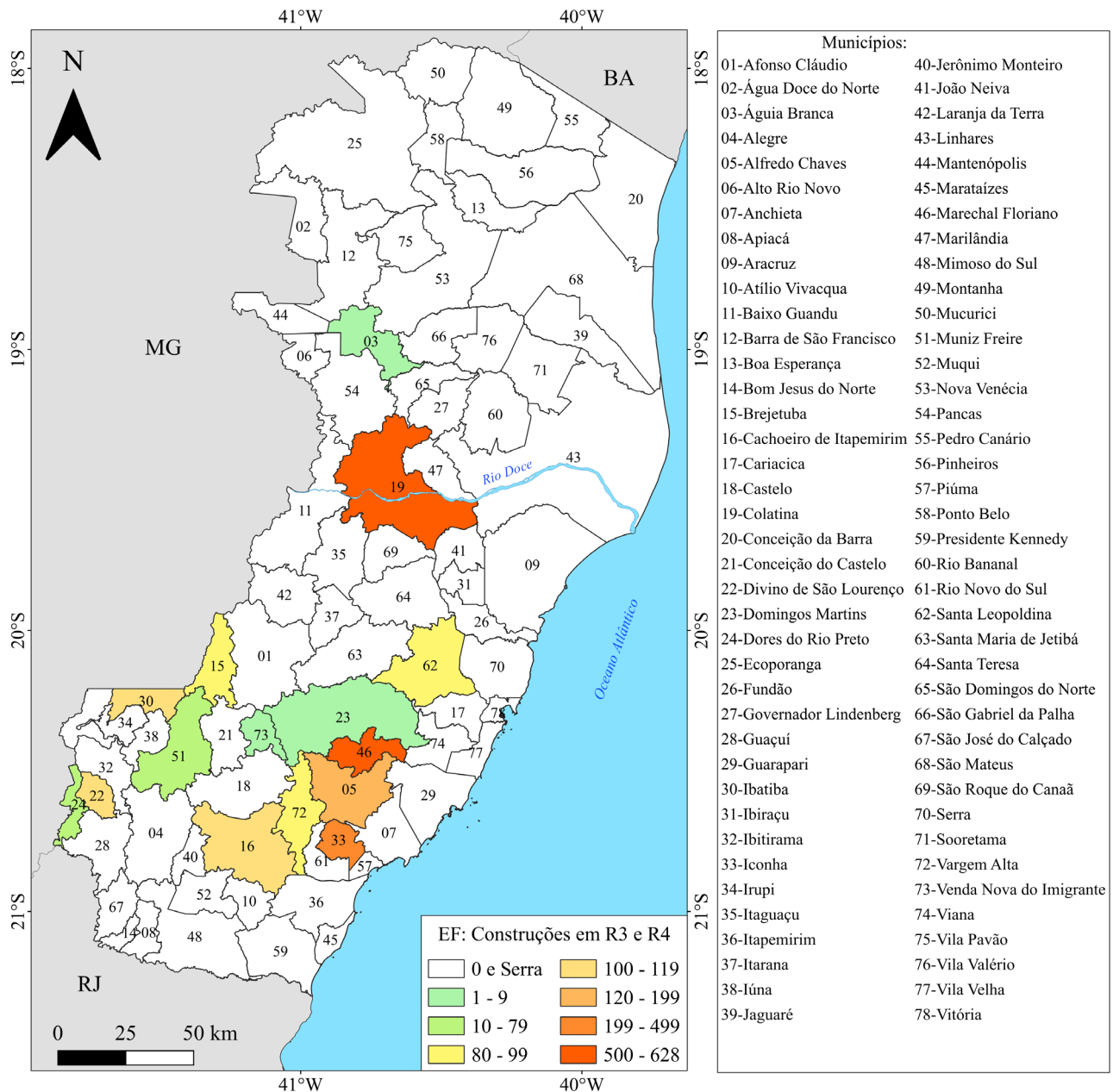




**Figura 19** - Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão continental (EC) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

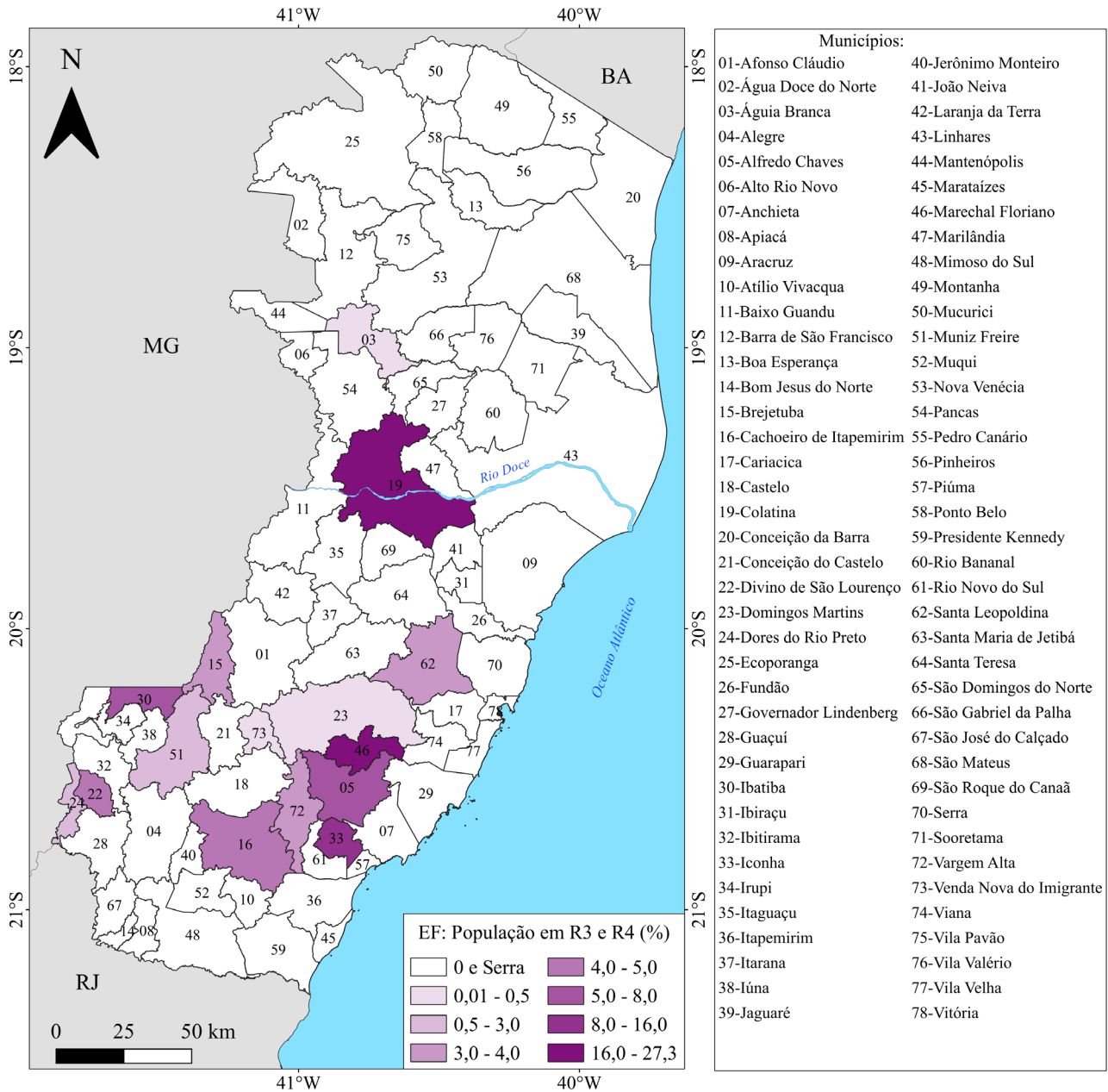
A erosão de margem fluvial é um processo citado em 3,1% dos setores de risco alto e muito alto do Espírito Santo. Há 2.284 construções que foram ou podem ser afetadas pelo processo erosivo no estado distribuídos em quinze municípios (Figura 20).

RESULTADOS PRELIMINARES DO ATLAS DE RISCOS GEOLÓGICO E HIDROLÓGICO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO  
VOLUME 5: EROÇÃO CONTINENTAL, EROÇÃO DE MARGEM FLUVIAL E EROÇÃO MARINHA



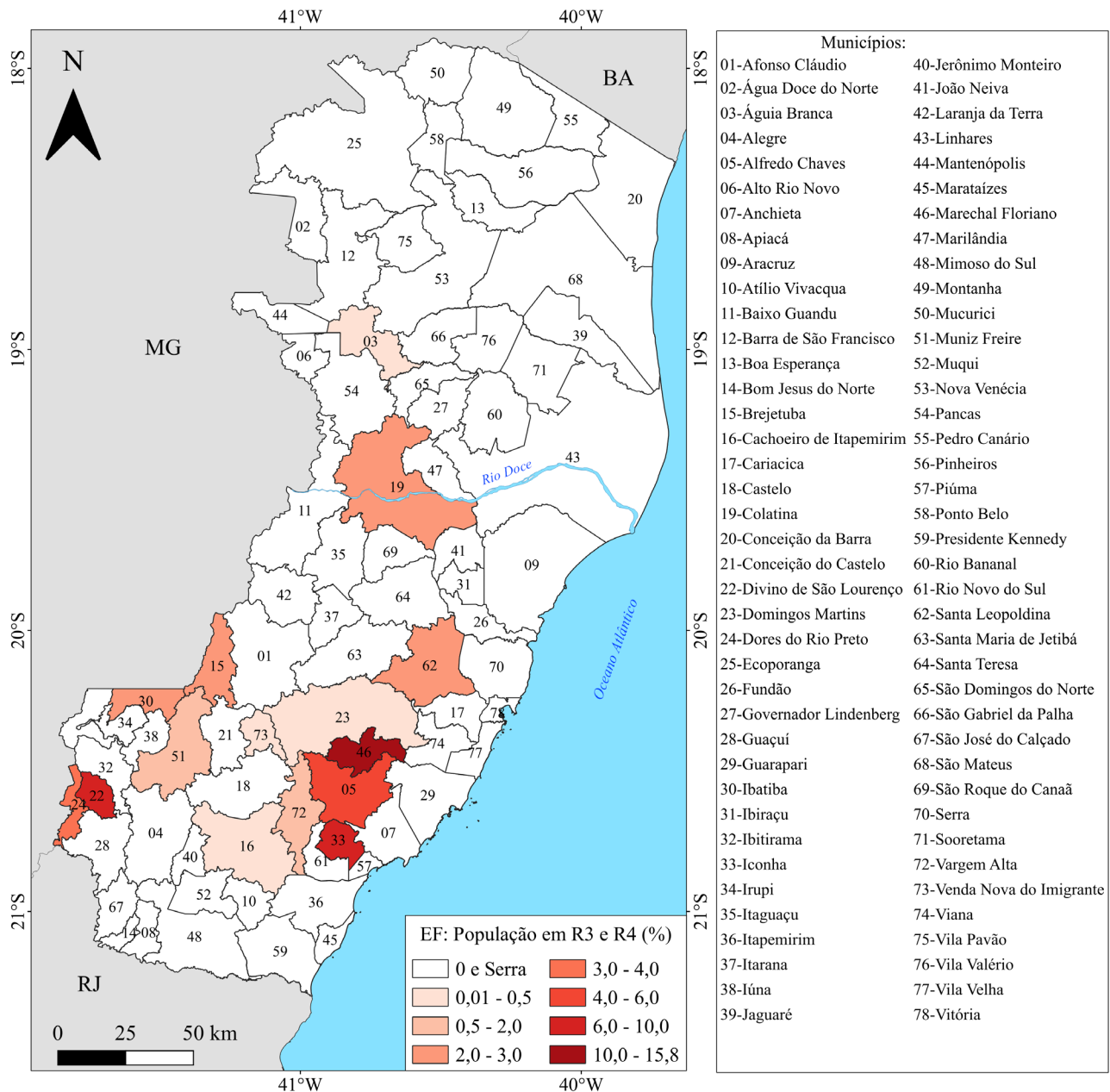
**Figura 20** - Número de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão de margem fluvial (EF) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise estadual permite afirmar que metade da população capixaba sujeita aos riscos alto e muito alto originados por erosão de margem fluvial reside nos municípios de Colatina e Marechal Floriano (Figura 21).



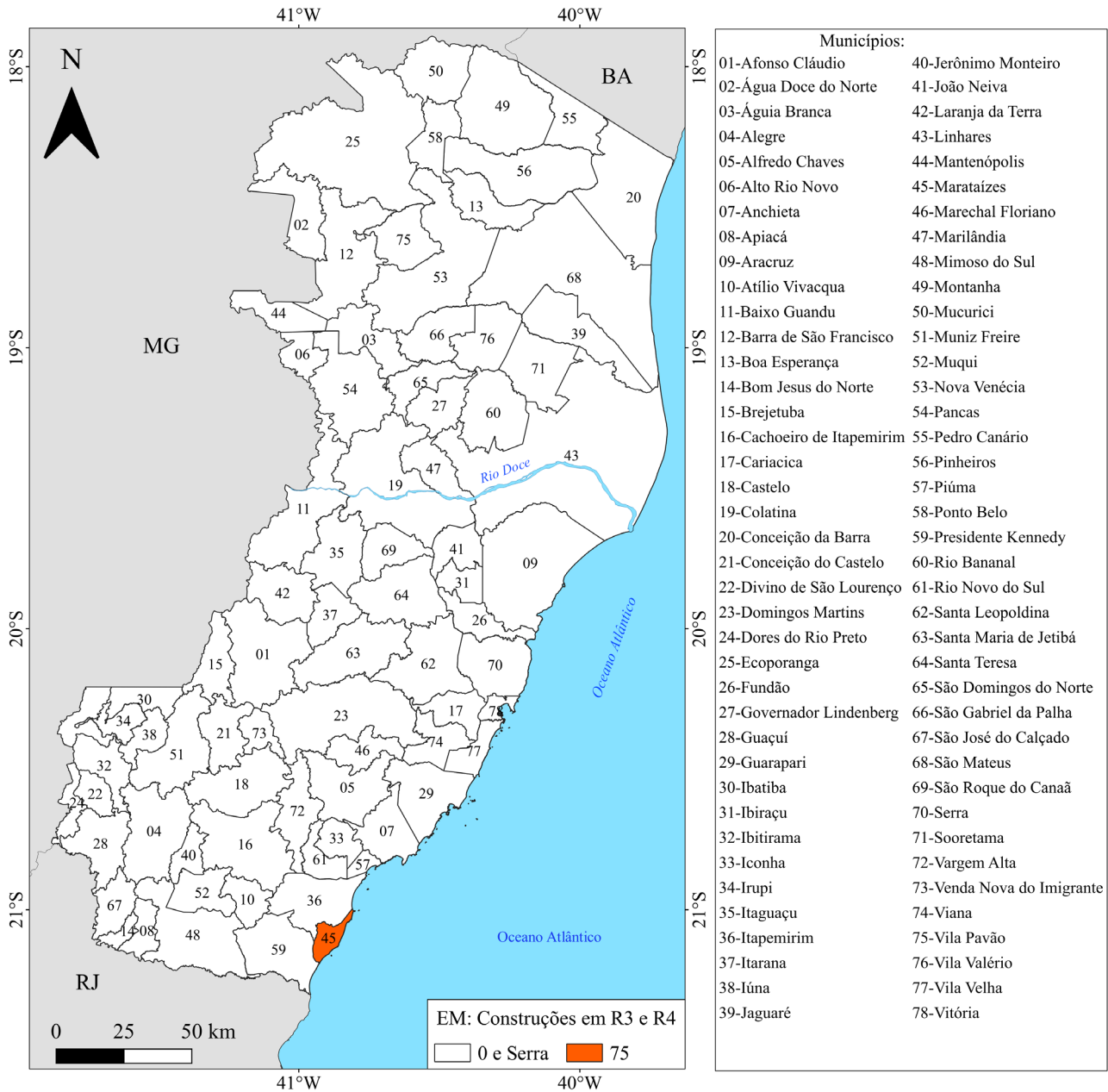
**Figura 21** - Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão de margem fluvial (EF) nos municípios do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

A erosão de margem fluvial representa o risco alto e muito alto de setores de aproximadamente 19% dos municípios do Espírito Santo. Entre estes destacam-se os municípios de Marechal Floriano e Divino de São Lourenço, com respectivos percentuais de 15,8 % e 9,4% da população em situação de risco alto e muito alto. Os demais possuem percentuais inferiores a 8% da população municipal nesta condição (Figura 22).



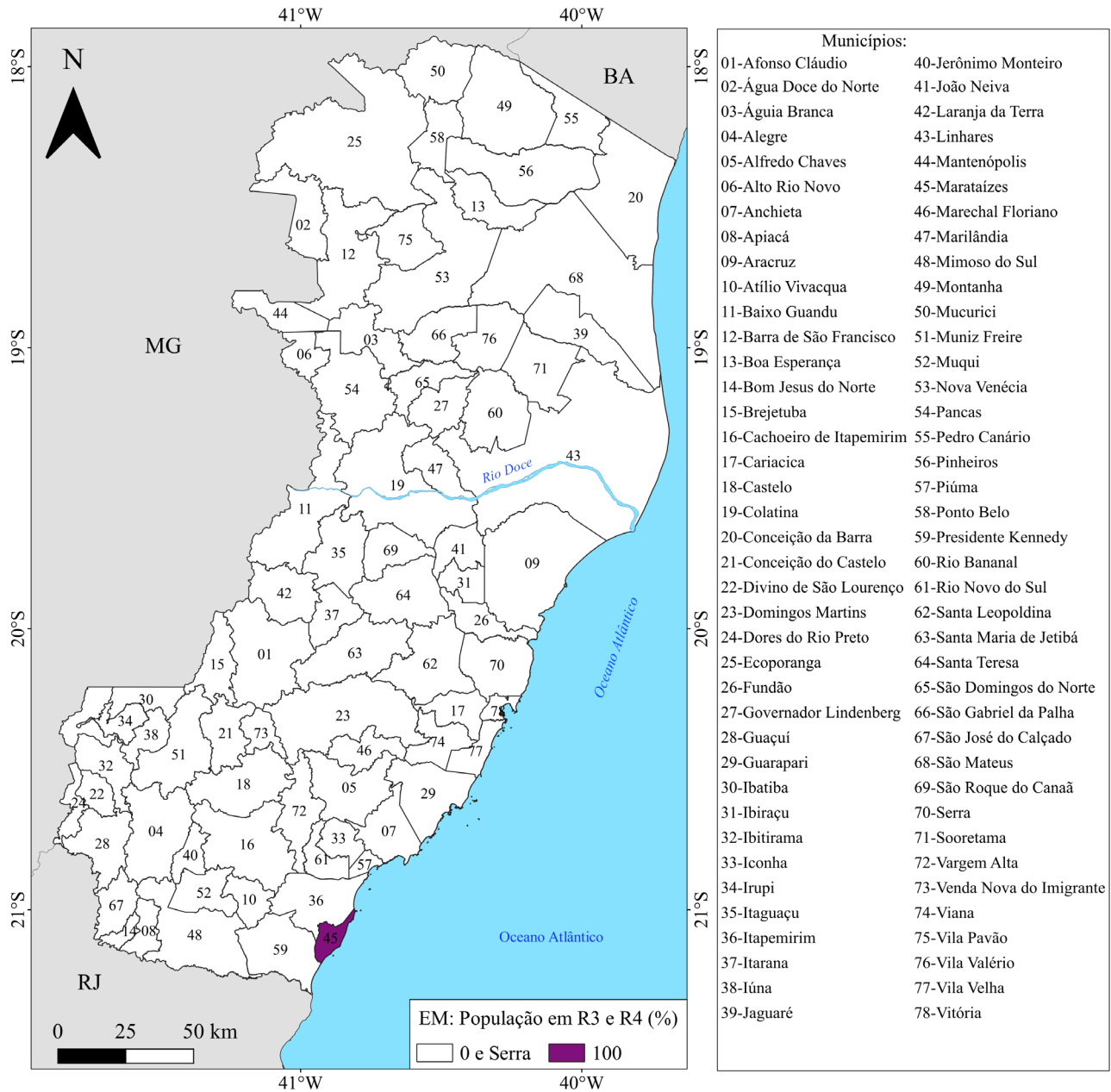
**Figura 22** - Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão de margem fluvial (EF) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar de ocorrer em diferentes municípios litorâneos do estado do Espírito Santo, a erosão marinha está restrita a 0,2 % dos setores de risco alto e muito alto delimitados no Espírito Santo. No estado há 75 construções que foram ou podem ser afetadas pela ocorrência do fenômeno (Figura 23).



**Figura 23** - Número de construções em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão marinha (EM) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

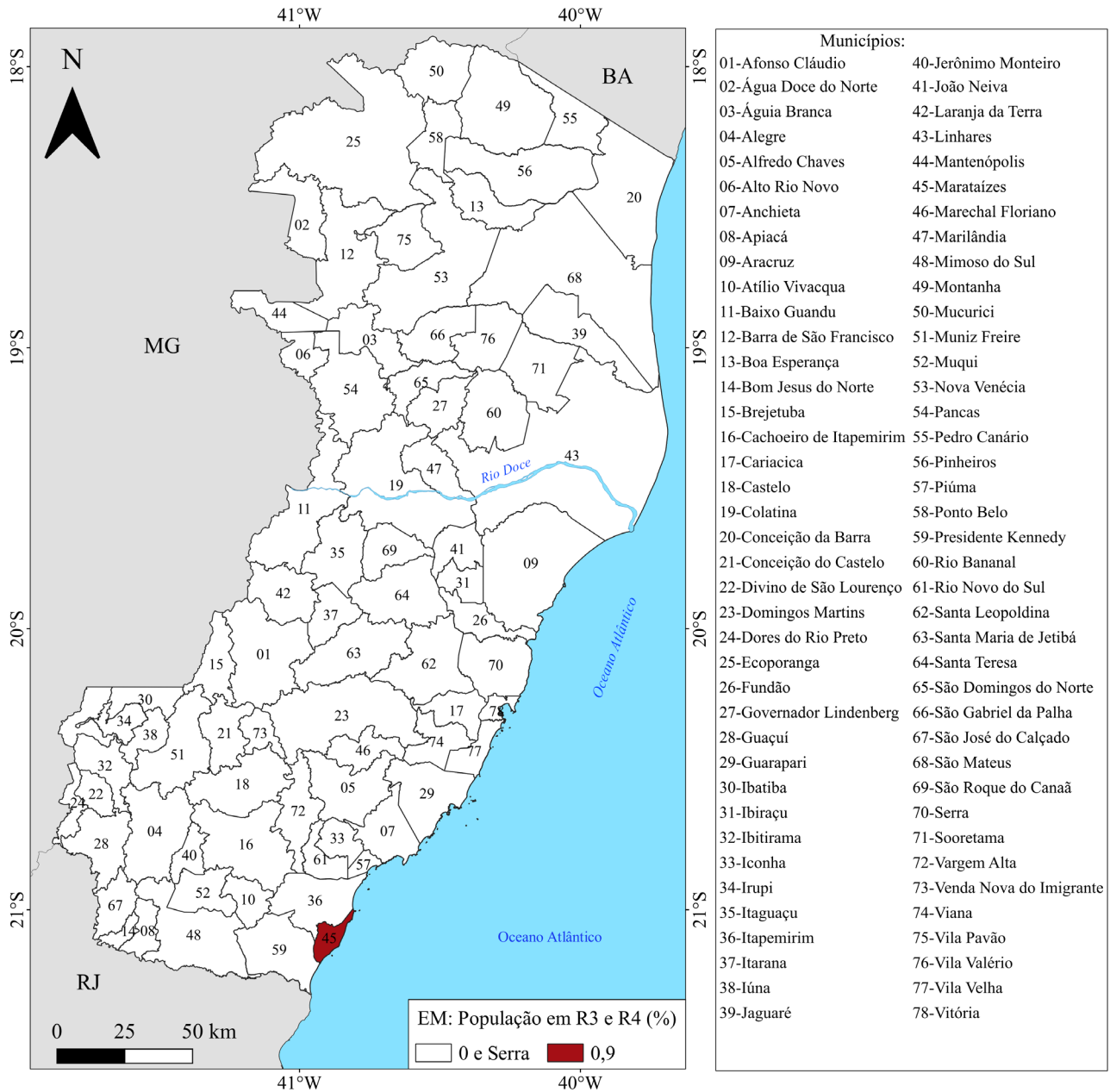
A totalidade da população do estado do Espírito Santo em risco alto e muito devido ao processo de erosão marinha encontra-se no município de Marataízes (Figura 24).



**Figura 24** - Percentual da população estadual que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão marinha (EM) nos municípios do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.

Mesmo estando presente somente em setores de Marataízes, somente 0,9% da população em risco alto e muito alto do município é afetada pelo fenômeno (Figura 25).





**Figura 25** - Percentual da população municipal que se encontra em risco alto (R3) e muito alto (R4) para erosão marinha (EM) nos municípios do Estado do Espírito Santo. Fonte: Elaborada pelo autor.



## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

O quinto volume dos Resultados Preliminares do Atlas de Riscos Geológico e Hidrológico do Estado do Espírito Santo atualiza o panorama do risco geológico oriundo de processos erosivos na última década no estado e é uma importante ferramenta no entendimento das realidades municipais e estadual. Sabendo em quais municípios e qual a proporção que tais processos representam do risco alto e muito alto, os gestores públicos podem adotar medidas de planejamento territorial, prevenção e mitigação mais apropriados para a realidade de cada unidade político-administrativa.

As erosões continental e de margem fluvial estão presentes em cerca de 3% dos setores de risco alto e muito alto e a erosão marinha em 0,2%. As erosões continental, de margem fluvial e marinha ocorrem, respectivamente, em setores de 20, 15 e 1 município (s), ou seja, cada um dos processos não chega a estar presente em metade dos municípios capixabas.

A pesquisa continuará avançando com o desenvolvimento de novos volumes de relatórios técnico-científicos específicos para outros processos estudados. Como trata-se de produto preliminar, haverá pequenas modificações e possivelmente novos resultados serão adicionados do documento final. O Plano Municipal de Riscos do Município de Serra será avaliado, o que ocasionará o término do atlas e a sua publicação final.

## 5. REFERÊNCIAS

- AHMED, C. R. M. **Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério**. 2009. 103 f., il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/CLARISSA-REGINA-MASIERO-AHMED1.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021.
- ALBINO, J.; PAIVA, D. S.; MACHADO, G. M. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. **Geografares**, Vitória, n. 2, p. 63-69, jun. 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/1141>. Acesso em: 05 out. 2021.
- AMANGABARA, G. T. Understanding effective gully control measures in Imo state, Nigeria. **Canadian Open Soil and Erosion Journal**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-9, 2014.
- AZEVEDO FILHO, J. D. M. de; CARVALHO, R. dos A.; GLÓRIA, S. A. Terras caídas e consequências ambientais: um estudo na encosta fluvial no bairro Santa Clara em Parintins (AM). **Marupiará**, Parintins, AM, v. 3, n.4, p. 18-46, jul./dez. 2018. Disponível em: <http://periodicos.uea.edu.br/index.php/marupiará/article/view/1560>. Acesso em: 06 out. 2021.
- BANDEIRA, A. A. **Evolução do processo erosivo na margem direita do rio São Francisco e eficiência dos enrocamentos no controle da erosão**. 2005. xx, 163 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2005. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/4303>. Acesso em: 06 out. 2021.
- BELL, F. G. **Engineering Geology**. 2nd ed. Amsterdam; Boston : Butterworth-Heinemann, 2007. ix, 581 p., il.
- BIGARELLA, J. J. Processos erosivos, vertentes, movimentos de massa, atividade endógena, superfícies de erosão, compartimentação do relevo, depósitos correlativos e ambientes fluviais. In: BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. dos; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, v. 3, p. 877-1436, 2003.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. xiv, 685 p., il.
- BRASIL. Ministério das Cidades; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (SP). **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília, 2007. 175 p. Disponível em: <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)**. 2012. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU\\_cobra2.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU_cobra2.pdf). Acesso em: 6 mai. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília: MMA, 2018. 759 p.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. Natural Environment Research Council. **UK geohazard note: coastal erosion**. May 2012. Disponível em: <https://www.bgs.ac.uk/download/geohazard-note-coastal-erosion/>. Acesso em: 1 out. 2021.
- CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. de; Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, jan. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003000100016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/QwpwffrXbGkRpTt4YyNZ98p/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 06 out. 2021.
- CECATTO, C. A. **Modelagem das perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial**. 2014, 130 p. Tese (doutorado), Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.
- CHEROBIN, S. F. **Estimativa de erosão e sua relação com os diferentes mecanismos erosivos atuantes**: estudo da voçoroca Vila Alegre. 2012. 115 f., il. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2967>. Acesso em: 07 out. 2021.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**: o canal fluvial. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. v. 1, 314 p., il.
- COUTO, B. de O. C. **Estudo da erodibilidade em horizontes de taludes de corte rodoviário por meio de procedimentos de laboratório e de campo**. 2020. xx, 229 f., il. Tese (Doutorado) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/12359>. Acesso em: 07 out. 2021.

- DE JAGER, M. J. **An analysis of soil properties associated with badland and gully erosion in rural catchments of the Ngqushwa District, Eastern Cape Province**. 2015. 176 f., il. Dissertação (Magister Scientiae) – Faculty of Science, Nelson Mandela Metropolitan University, Gqeberha, South Africa, 2015. Porto Elizabeth, África do Sul. Disponível em: <http://www.secheresse.info/spip.php?article65392>. Acesso em: 11 out. 2021.
- DE PLOEY, J. A. A model for headcut retreat in rills and gullies. **Catena Supplement**, [Gemlingen, Germany], v. 14, p. 81-86, 1989.
- EL-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W.; ARMSTRONG, C. L. **Soil erosion by water in the tropics**. Honolulu: College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1982. xvi, 173 p., il. (Research extension series, 024). Disponível em: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNAAR134.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNAAR134.pdf). Acesso em: 20 set. 2021.
- ESPÍRITO SANTO (Estado). Corpo de Bombeiros; INSTITUTO DE APOIO À PESQUISA E AO DESENVOLVIMENTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Atlas das áreas com potencial de riscos do estado do Espírito Santo**. Vitória, 2006. 125 p., il. Disponível em: [http://www.mundogeomatica.com.br/Atlas\\_Areas\\_Potencial\\_RiscoS\\_Estado\\_Espirito\\_Santo\\_ARES.htm](http://www.mundogeomatica.com.br/Atlas_Areas_Potencial_RiscoS_Estado_Espirito_Santo_ARES.htm). Acesso em: 10 mar. 2021.
- FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F. de; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Voçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/pvWn7XWNNztGdcYRXsLsXsm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 08 out. 2021.
- GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 339 p., il.
- IBGE. **Censo 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 08 jan. 2020.
- INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: impacts, adaptation and vulnerability: part A: global and sectoral aspects: Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 2014. v. 1, xiii, 1132 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf). Acesso em: 11 out. 2021.
- IWASA, O. Y.; FENDRICH, R. Controle da erosão urbana. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 271-281.
- LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (ed.). **Soil erosion research methods**. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.
- LAL, R. (ed.). **Soil erosion research methods**. 2nd ed. Delray Beach, Fla.: St. Lucie Press; Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society, c1994. xi, 340 p., il.
- LEPSCH, I. F. Degradação e conservação dos solos. In: LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. p. 407-438.
- LLOPIS TRILLO, G. Control de la erosión y obras de desagüe. In: LÓPEZ JIMENO, C. **Manual de estabilización y revegetación de taludes**. Madrid: Gráfica Árias Montano S.A., 1999. Cap. 5.
- LOPES, J. A. U. **Encostas: evolução, equilíbrio e condições de ocupação**. Porto Alegre: Alcance, 2017. 342 p.
- LOURENÇO, L.; NUNES, A. (coord.). **Catástrofes mistas: uma perspectiva ambiental**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2019. 362 p., il. DOI: <https://doi.org/10.14195/978-989-26-1901-9>. Disponível em: <https://www.riscos.pt/publicacoes/src/volume-ix-catastrofes-mistas/>. Acesso em: 11 out. 2021.
- MARQUES, V. S. **Erosão hídrica em microbacia utilizando geotecnologias**. 2013. xvii, 160 f., il. Tese (Doutorado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013. Disponível em: <https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/jspui/3693>. Acesso em: 11 out. 2021.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; ARCHANJO, J. D. Coastal quaternary formations of the southern part of the state of Espírito Santo (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n 3, p. 389-404, 1996.
- MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. de S.; GONÇALVES, R. M.; QUEIROZ, H. A. de A. O uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira na praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá-PE, Brasil). **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 250-259, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/38597/21155>. Acesso em: 11 out. 2021.

- MERRIT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v. 18, n. 8/9, p. 761-799, Oct./Nov. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1).
- MICHETTE, Jussara Ferreira. **Modelos de previsão de erosão pluvial utilizando SIG**: estudo na bacia hidrográfica da Represa do Lobo (BROA), SP. 2015. 273 f., il. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-29022016-104742/en.php>. Acesso em: 11 out. 2021.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. Essex, UK: Longman Scientific & Technical; New York, NY: Wiley, 1986. ix, 298 p., il.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3rd ed. Malden, MA: Blackwell Pub., 2005. x, 304 p., il.
- MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaiss. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [Voçosa, MG], v. 28, n. 6, p. 1055-1062, dez. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-6832004000600014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KJvqTLWPtnfSQ3CNfDcFHsP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 out. 2021.
- MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Avaliação da suscetibilidade de solos gnaissicos à erosão subsuperficial. **Sociedade & Natureza**, [Uberlândia], v. 19, n. 2, p. 233-241, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132007000200015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/h5qM4KJspnrrSsCR9q9gPzf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 out. 2021.
- MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 4, n. 7, p. 97-110, jan./jul. 2005. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113>. Acesso em 11 out. 2021.
- NGEZAHAYO, E.; BURROW, M. P. N.; GHATAORA, G. S. The advances in understanding erodibility of soils in unpaved roads. **International Journal of Civil Infrastructure**, [Orléans, ON, Canada], v. 2, p. 18-29, 2019. DOI: 10.11159/ijci.2019.002. Disponível em: <https://ijci.avestia.com/2019/002.html>. Acesso em: 11 out. 2021.
- NICHOLS, G. **Sedimentology and stratigraphy**. 2nd ed. Chichester, UK; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2009. x, 419 p., il.
- OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999. p. 57-100.
- OLIVEIRA, M. A. T. de; MEIS, M. R. M. de. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). **Geociências**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 87-99, 1985.
- O'NEILL JUNIOR., C. R. **A guide to coastal erosion processes**. New York: Media Services at Cornell University, 1985. (Information bulletin 199). Disponível em: <https://www.seagrant.sunysb.edu/glcoastal/pdfs/guidetoerosionprocesses.pdf>. Acesso em 22 set. 2021.
- PENNOCK, D. J. **Soil erosion**: the greatest challenge for sustainable soil management. Rome: FAO, 2019. ix, 89 p., il. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.
- PINESE JÚNIOR, J. F.; CRUZ, L. M.; RODRIGUES, S. C. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia - MG. **Sociedade & Natureza**, [Uberlândia], v. 20, n. 2, p. 157-175, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132008000200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/fLDmBYjq5txkkMdxZY4WNq/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 out. 2021.
- PINHEIRO, C. A. K.; VALE, C. C. do; COELHO, A. L. N. Inundação e erosão potencial da APA de Conceição da Barra, Conceição da Barra, Espírito Santo. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. XXV, n.1, p. 82-94, jan./dez. 2021. Disponível em: [https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXV\\_1/agb\\_xxv\\_1\\_web/agb\\_xxv\\_1-06.pdf](https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXV_1/agb_xxv_1_web/agb_xxv_1-06.pdf). Acesso em: 11 out. 2021.
- PRASAD, D. H.; KUMAR, N. D. Coastal erosion studies: a review. **International Journal of Geosciences**, Irvine, CA, v. 5, n. 3, p. 341-345, Mar. 2014. DOI: 10.4236/ijg.2014.53033. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinfocitation.aspx?paperid=44235>. Acesso em: 11 out. 2021.
- RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCKOOL, D. K.; YODER, D. C. (coord.). **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington, DC: US Government Printing Office, 1997. xix, 384 p., il. (United States Department of Agriculture Handbook, 703). Disponível em: [https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah\\_703.pdf](https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah_703.pdf). Acesso em: 11 out. 2021.
- RIOS, M. L. **Vulnerabilidade à erosão nos compartimentos morfopedológicos da microbacia do córrego do Coxo/Jacobina – BA**. 2011. 158 f., il. Dissertação (Mestrado em geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-8GKFXD>. Acesso em: 13 out. 2021.
- SALOMÃO, F. X. de T.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, v. 2, n. 2,

p. 39-56, 2012. Disponível em: [https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE\\_Exemplo\\_de\\_aplicacao.pdf](https://www.abge.org.br/downloads/revistas/RevistaABGE_Exemplo_de_aplicacao.pdf). Acesso em: 13 out. 2021.

SANTOS, F. S. M. dos. **Avaliação de processos erosivos a partir da análise integrada do meio físico na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Quirinópolis (GO)**. 2013. 134 f., il. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102950>. Acesso em: 13 out. 2021.

SATHLER, R.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T.; BARROSO, E. V. Caracterização de voçorocas na ilha do Maranhão. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 32, n.1, p. 34-45, 2009. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/5386>. Acesso em: 13 out. 2021.

SATHLER, R. **Evolução de voçorocas na ilha do Maranhão**: uma abordagem pedogeotécnica. 2010. xvii, 400 f., il. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, C. R. de G. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [S.l.], v.9, n.1, p.17-37, maio 2009. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rgci/rgci147.html>. Acesso em: 13 out. 2021.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. UFSC; Curitiba: Ed. UFPR, 1990. 183 p., il.

SUGUIO, K. Ambientes de sedimentação e fácies sedimentares. In: SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Ed. E. Blücher, 2003. p. 205-288.

THORNE, C. R.; TOVEY, N. K. Stability of composite river banks. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, UK, v. 6, n. 5, p. 469-484, Sep./Oct. 1981. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3290060507>.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2000. 943 p., il. (Coleção ABRH de recursos hídricos, 4).

UNITED NATIONS. Department of Humanitarian Affairs. **United Nations Digital Library**: glosario multilingüe de términos convenidos internacionalmente relativos a la gestión de desastres. Geneva, 1992. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/793886>. Acesso em: 02 ago. 2021.

UNITED NATIONS. Office for Disaster Risk Reduction. Living with risk: focus on disaster risk reduction. In: UNITED NATIONS. Office for Disaster Risk Reduction. **Living with risk**: a global review of disaster reduction initiatives. New York, 2004. v. 1, cap. 1, p. 1-33. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/living-risk-global-review-disaster-reduction-initiatives>. Acesso em: 25 ago. 2021.

VAN RIJN, L. C. **Principles of coastal morphology**. Amsterdam: Aqua Publications, 1998.

VAN WESTEN, C. J.; VAN ASCH, T. W. J.; SOETERS, R. Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult? **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, Berlin, v. 65, p. 167-184, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>.

VITTE, A. C. O litoral brasileiro: a valorização do espaço e os riscos socioambientais. **Territorium**, [S.l.], v. 10, p. 61-67, 2003. DOI: [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_10\\_4](https://doi.org/10.14195/1647-7723_10_4). Disponível em: [https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723\\_10\\_4](https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_10_4). Acesso em: 15 out. 2021.

Sede Brasília  
Setor Bancário Norte - SBN  
Quadra 02, Asa Norte  
Bloco H - Edifício Central Brasília  
Brasília - DF - CEP: 70040-904  
Tel.: (61) 2108-8400

Escritório Rio de Janeiro – ERJ  
Av. Pasteur, 404 – Urca  
Rio de Janeiro – CEP: 22290-255  
Tel.: (21) 2295-0032

Diretoria de Hidrologia e Gestão  
Territorial  
Tel.: (21) 2295-8248  
(21) 2546-0214

Departamento de Gestão  
Territorial  
Tel.: (21) 2295-6147  
(21) 2546-0419

Divisão de Geologia Aplicada  
Tel.: (31) 3878-0304

Divisão de Gestão Territorial  
Tel.: (71) 3878-0304

Ouvidoria  
Tel.: 21 2295-4697  
ouvidoria@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento  
ao Usuário – SEUS  
Tel.: 21 2295-5997  
seus@cprm.gov.br

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

2021



SECRETARIA DE  
GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DA  
ECONOMIA

