



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro

Raphael e Silva Girão¹; Raúl Sanchez Vicens²; Julio Cesar Horta de Almeida¹; Pedro José Farias Fernandes²

¹Laboratório de Estudos Tectônicos (LET-TEKTOS) - Faculdade de Geologia – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã, Rio de Janeiro – RJ. CEP: 20550-900. E-mail: raphaelgirao@hotmail.com; jchalmeida@gmail.com

²Laboratório de Geografia Física (LAGEF) - Departamento de Geografia - Universidade Federal Fluminense - Av. Litorânea s/n - Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem, Niterói - RJ, Brasil. CEP: 24030-346. E-mail: rvicens@gmail.com; pjf_fernandes@yahoo.com.br

Artigo recebido em 02/06/2021 e aceito em 09/02/2022

RESUMO

O objetivo do presente estudo é apresentar um novo mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro na escala 1:250.000, mapa este elaborado a partir de uma abordagem metodológica fundamentada em um sistema de interpretação baseada em conhecimento e técnicas de descoberta de conhecimento em banco de dados, no intuito de automatizar, simular e parametrizar computacionalmente as capacidades de interpretação humana. O mapeamento realizado permitiu a identificação de duas unidades morfoestruturais, onze unidades morfoesculturais e vinte unidades de relevo. As unidades de relevo com maior abrangência espacial na área de estudo são, em ordem decrescente, o Domínio de Morros e Colinas Dissecadas, as Planícies Aluvias, as Escarpas Serranas e o Domínio Montanhoso. As demais unidades de relevo registraram uma abrangência espacial menos significativa. Este trabalho tem como grande contribuição um mapa geomorfológico elaborado a partir de uma metodologia, que ainda que seja semiautomatizada e parametrizada, o que facilita a sua reprodutibilidade, não negligencia informações qualitativas relevantes como o arcabouço litoestrutural e a morfogênese. Portanto, o resultado foi um mapa geomorfológico com uma classificação caracterizada por um mesmo nível de complexidade das classificações por interpretação visual, mas com um menor nível de subjetividade na execução dos procedimentos adotados.

Palavras-chave: Mapa Geomorfológico; Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro; Mapa do estado do Rio de Janeiro.

Geomorphological map of the state of Rio de Janeiro

ABSTRACT

The objective of the present study is to introduce a new geomorphological map of the Rio de Janeiro state in 1:250,000 scale. The map was elaborated by using a methodological approach based on a knowledge-based interpretation system and knowledge discovery techniques in databases to automate, simulate and computationally parameterize human interpretation capabilities. It was identified two morphostructural units, eleven morpho-sculptural units and twenty relief units. The relief units with greater spatial coverage in the study area are, in descending order, the Domain of Dissected Hills, the Alluvial Plains, the Mountainous Escarpment and the Mountainous Domain. The other relief units have less significant spatial coverage. This work has as a major contribution a geomorphological map elaborated from a semi-automated and parameterized methodology, which facilitates its reproducibility, does not neglect relevant qualitative information such as the lithostructural and morphogenesis information. Therefore, the result was a geomorphological map with a classification characterized by the same level of complexity as the visual interpretation classifications, but with a lower level of subjectivity in the execution of the adopted procedures.

Keywords: Geomorphological Map; State of Rio de Janeiro Geomorphology; State of Rio de Janeiro Map.

Introdução

A geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo e os processos que as modelam, tendo como objetivo principal a formulação de sua gênese e dinâmica através da descrição analítica e classificação das formas de relevo, como também pelo levantamento dos registros de diversos processos atuantes (Bloom, 1998). Sendo assim, a geomorfologia possui como alicerce a interação

entre eventos tectônicos, arcabouço litoestrutural e ação do clima na modelagem da superfície terrestre.

Os estudos geomorfológicos são fundamentais na interpretação das relações entre a configuração da superfície terrestre, a distribuição espacial das populações e os diferentes tipos de uso do solo (Santos, 2004). Dentre os produtos oriundos da geomorfologia, os mapas geomorfológicos assumem grande importância e utilidade para a humanidade, sendo

imprescindíveis em estudos e práticas como planejamento territorial, planejamento ambiental, estudos de impacto ambiental, obras de engenharia, entre outros (Argento, 2011). De acordo com Cooke e Doornkamp (1990), os mapas geomorfológicos oferecem relevantes informações para a avaliação do terreno, se destacando como um documento apropriado para subsidiar engenheiros, planejadores e outros profissionais que atuam no manejo e uso do solo, principalmente quando envolve questões ambientais.

Segundo Bishop et al. (2012), o mapeamento geomorfológico consiste no particionamento da superfície terrestre com base em diversos parâmetros específicos relacionados com o relevo, como gênese, cronologia, substrato geológico, dinâmica, morfometria e morfologia. Portanto, a cartografia geomorfológica é uma tarefa complexa em função da necessidade de representar tais aspectos (Ross, 1990), o que resulta, ainda hoje, em inúmeros trabalhos com metodologias e abordagens distintas para o mapeamento geomorfológico.

Nas últimas décadas, o rápido avanço de tecnologias geoespaciais as tornaram comuns nas investigações em ciências da terra (Hengl e Reuter, 2009). Bishop et al. (2012) destaca os avanços em geodésia, fotogrametria, geofísica, ciência da computação, geoestatística, sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG), que abriram um amplo leque de possibilidades para a cartografia geomorfológica. Contudo, ainda de acordo com Bishop et al. (2012), a interpretação humana continua a representar a abordagem mais sofisticada para produzir mapas geomorfológicos complexos em múltiplas escalas, embora as questões de subjetividade e reprodutibilidade sejam gargalos relevantes em tal abordagem. Portanto, os maiores avanços metodológicos em mapeamento geomorfológico consistem nas tentativas de automatizar, simular e parametrizar computacionalmente as capacidades de interpretação humana. Nesse contexto, os sistemas de interpretação baseada em conhecimento associadas às técnicas de descoberta de conhecimento em banco de dados (*Knowledge Discovery in Databases - KDD*) possuem grande potencial para avanços metodológicos (Girão, 2020).

Na literatura, uma série de trabalhos de mapeamento geomorfológico foram desenvolvidos a partir da utilização sistemas de interpretação baseada em conhecimento: Dragut e Blaschke (2006), Anders et al (2011), Verhagen e Dragut (2012), Dragut e Eisank (2012), Girão et al. (2016), Dekavalla e Argialas (2017), Chattaraj et al. (2017);

Fernandes e Girão (2018); Xiong et al. (2018); e Metelka et al. (2018).

Recentemente, as técnicas de descoberta de conhecimento em banco de dados também foram amplamente utilizadas por diversos autores em estudos geomorfológicos: Latifovic et al. (2018); Gevaert et al. (2018); Schlögel et al. (2018); Zhao et al. (2019); Ma et al. (2019); Dou et al. (2019a); Dou et al. (2019b); Zhang et al. (2019); Merghadi et al. (2020); Sun et al. (2020).

No estado do Rio de Janeiro, destaca-se dois trabalhos de mapeamento geomorfológico regional. O primeiro trabalho é o de Dantas (2001), que ao aplicar uma abordagem baseada na interpretação visual, apresenta uma classificação do relevo demasiadamente subjetiva e de difícil reprodutibilidade. O segundo é o de Silva (2002), que ao se fundamentar numa abordagem geomorfométrica, apresenta uma classificação geomorfológica que negligencia o arcabouço litoestrutural e a morfogênese do relevo.

Diante disso, Girão et al. (2021) apresenta uma abordagem metodológica fundamentada em um sistema de interpretação baseada em conhecimento e técnicas de KDD no intuito de automatizar, simular e parametrizar computacionalmente as capacidades de interpretação humana. Tal abordagem metodológica possibilitou a minimização da subjetividade inerente a atividade de mapeamento geomorfológico, a combinação de diferentes dados quantitativos e qualitativos; e a utilização de procedimento semiautomatizados de mapeamento.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é apresentar a proposta de um novo mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro na escala 1:250.000, mapa este elaborado a partir da abordagem metodológica apresentada em Girão et al. (2021).

Material e métodos

Área de Estudo

O estado do Rio de Janeiro está inserido na região sudeste do Brasil, sendo limitado pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo, e pelo oceano Atlântico (Figura 1). O estado possui regiões com cotas altimétricas próximas às do nível do mar, principalmente nas áreas litorâneas, e regiões com altitudes superiores a 2.000 metros, inseridas nas serras do Mar e da Mantiqueira.

A área de estudo está localizada no extremo leste do Rift Continental do Sudeste do Brasil - RCSB (Riccomini, 1989; Riccomini, 1995),

se estendendo da região de serras e de depressões interplanálticas correspondente ao vale do rio Paraíba do Sul à região dos maciços litorâneos, colinas e terrenos quaternários da Baía de Guanabara, de Jacarepaguá, de Sepetiba, da Região dos Lagos e da planície costeira de Campos. Sua geomorfologia é caracterizada por um contraste significativo das formas de relevo, produto da complexa evolução geológica-geomorfológica meso-cenozóica do sudeste brasileiro e, ainda, do processo acentuado de alteração da paisagem resultante das condições do regime climático tropical úmido (Silva, 2002).

A geologia do estado do Rio de Janeiro é composta, em sua maior parte, por um conjunto de rochas metamórficas de alto grau associadas a corpos graníticos intrusivos, que constituem parte integrante de um sistema orogênico conhecido como Faixa Ribeira (Almeida et al., 1977; Almeida et al., 1981). A evolução da Faixa Ribeira caracteriza-se por sucessivas convergências litosféricas que atuaram desde o Neoproterozoico até o Ordoviciano Inferior (Almeida et al., 1977; Almeida et al., 1981; Heilbron et al., 2016). A geomorfologia do estado do Rio de Janeiro é sustentada, em grande parte, pelas rochas originadas por tais processos.

A partir do Mesozoico até o Cenozoico, um período de instabilidade tectônica (evento Sul-Atlântico - Schobbenhaus et al., 1984; Reativação Wealdeniana - Almeida, 1967), referente ao mecanismo de separação das placas tectônicas Sul-Americana e Africana, resultou na formação do Oceano Atlântico e na geração de um episódio de rifteamento, produzindo o RCSB (Riccomini, 1989;

Riccomini, 1995), originando depressões tectônicas, como da Guanabara e Paraíba do Sul; e terrenos elevados, como a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar. Nesse período, também ocorreu um magmatismo alcalino, que resultou em uma série de maciços alcalinos presentes atualmente na paisagem fluminense.

No RCSB, especificamente na porção do território fluminense, estão presentes importantes bacias sedimentares paleogênicas, as bacias de Resende e Volta Redonda, que compõem o denominado Segmento Central do RCSB, e as bacias de São José de Itaboraí e Macacu, localizadas no Segmento Oriental do RCSB (Heilbron et al., 2016).

Por fim, a configuração geológica-geomorfológica da área de estudo é complementada por depósitos neogênicos e quaternários, originados e retrabalhados em um clima predominantemente tropical, mas com inúmeras variações paleoclimáticas (umidificação e aridez), resultando, por exemplo, nas colinas suavemente onduladas que caracterizam a morfologia de “mar de morros” do Planalto Sudeste do Brasil (Silva, 2002). Na região da depressão da Baía da Guanabara e da área costeira no Norte Fluminense e Região dos Lagos, as variações dos paleoníveis marinhos, combinadas com o aporte de materiais provindos da região serrana adjacente, resultaram em um entulhamento generalizado da paisagem, originando as extensas planícies flúvio-marinhas, além das morfologias de terraços marinhos, restingas e lagunas costeiras (Silva, 2002).

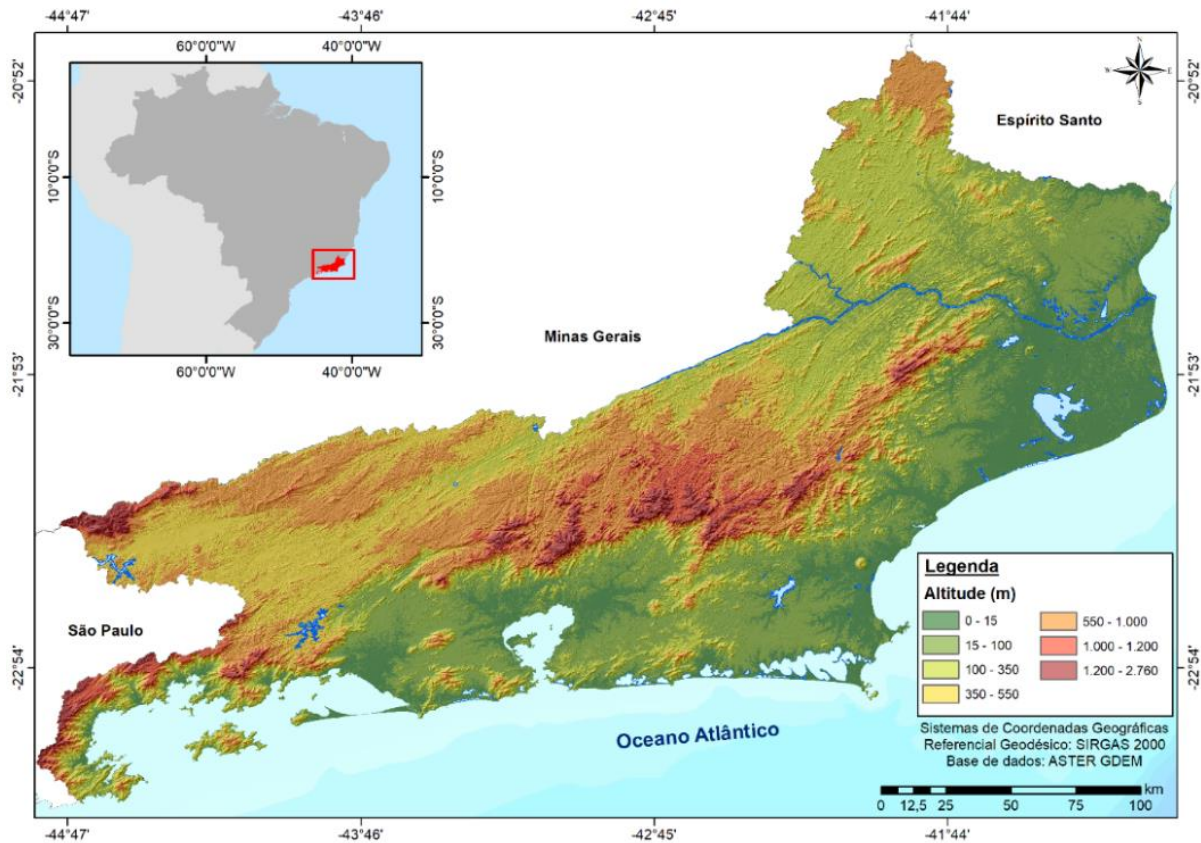


Figura 1. Mapa hipsométrico do estado do Rio de Janeiro.

Métodos

Para o presente estudo, foram utilizados os seguintes materiais: MDE ASTER GDEM, com resolução espacial de 1 arco-segundo, no formato GeoTIF; e o Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (Heilbron et al., 2016), em formato shape (shp).

A primeira etapa metodológica consistiu na obtenção dos planos de informação (PIs) utilizados na classificação geomorfológica. A partir MDE ASTER GDEM foram obtidos os seguintes PIs: altimetria, relevo sombreado, declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal, módulo da curvatura vertical, módulo da curvatura horizontal, índice de posição topográfica local (Weis, 2001; Silveira e Silveira, 2017), índice de posição topográfica regional (Weis, 2001; Silveira e Silveira, 2017), índice de concentração de rugosidade (Sampaio, 2008) e geomorphons (Jesiewicz e Stepinski, 2013) (Tabela 1). Além destes, o Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (Heilbron et al., 2016) também integrou o conjunto de PIs, após passar por um processo de simplificação de sua legenda pelo agrupamento de classes com litologias semelhantes.

Tabela 1. PIs obtidos a partir do MDE.

Planos de Informação (PIs)	Unidade
Altimetria	m
Declividade	°
Curvatura vertical	°/m
Curvatura horizontal	°/m
Módulo da curvatura vertical	°/m
Módulo de curvatura horizontal	°/m
Relevo sombreado	-
Índice de Posição Topográfica Local	-
Índice de Posição Topográfica Regional	-
Índice de Concentração de Rugosidade	-
Geomorphons	-

O mapeamento geomorfológico foi desenvolvido tendo como base teórica os trabalhos de Poçano et al. (1979) e de Ross (1990), de forma que foi empregada uma hierarquia taxonômica com três níveis:

1º) **Unidades Morfoestruturais** - se referem à influência da estrutura geológica na gênese do relevo (Ross, 1990), consistindo assim em megaestruturas;

2º) **Unidades Morfoesculturais** - vinculadas à ação do clima atual e pretérito no modelamento das formas do relevo (Ross, 1990);

3º) **Unidades de Relevo** - que seguiu a concepção de sistemas de relevo de Poçano et al. (1979), se referindo às formas simples, que ocorrem sobre um tipo de rocha ou depósito superficial.

Dessa forma, em cada nível taxonômico foram utilizados índices diagnósticos para a sua classificação. No primeiro táxon, as unidades morfoestruturais foram diferenciadas pelos processos e eventos geológicos de escala regional que a originaram. No segundo táxon, as unidades morfoesculturais foram diferenciadas pelos processos que participaram de sua modelagem, ponderando que essa modelagem é influenciada pelas características pré-concebidas pelos eventos geológicos atuantes área de estudo, principalmente,

tectonismo e magmatismo. No terceiro táxon, as unidades de relevo foram diferenciadas pela sua morfologia, morfometria e seu substrato geológico. De forma geral, o mapeamento geomorfológico da área de estudo para cada táxon seguiu as etapas do fluxograma apresentado na Figura 2.

Os PIs foram implementados em um sistema de interpretação baseado em conhecimento, mais especificamente em um sistema de análise de imagens baseado em objetos geográficos (GEOBIA). Para cada táxon foi feito uma segmentação da área de estudo com base nos PIs, foram coletados então os segmentos/amostras de cada classe a ser mapeada. Esses segmentos/amostras (e seus atributos) foram exportados para um sistema de KDD, que definiu os melhores parâmetros para a diferenciação das classes a serem mapeadas. Tais parâmetros foram implementados no sistema GEOBIA para classificar toda a área de estudo. Por fim, correções e edições foram realizadas para a conclusão do mapeamento. Vale destacar que esse procedimento foi repetido para todos os três táxons.

Maiores detalhes sobre a metodologia e procedimentos adotados para a elaboração do mapa geomorfológico apresentado no presente estudo são descritos em Girão et al. (2021).

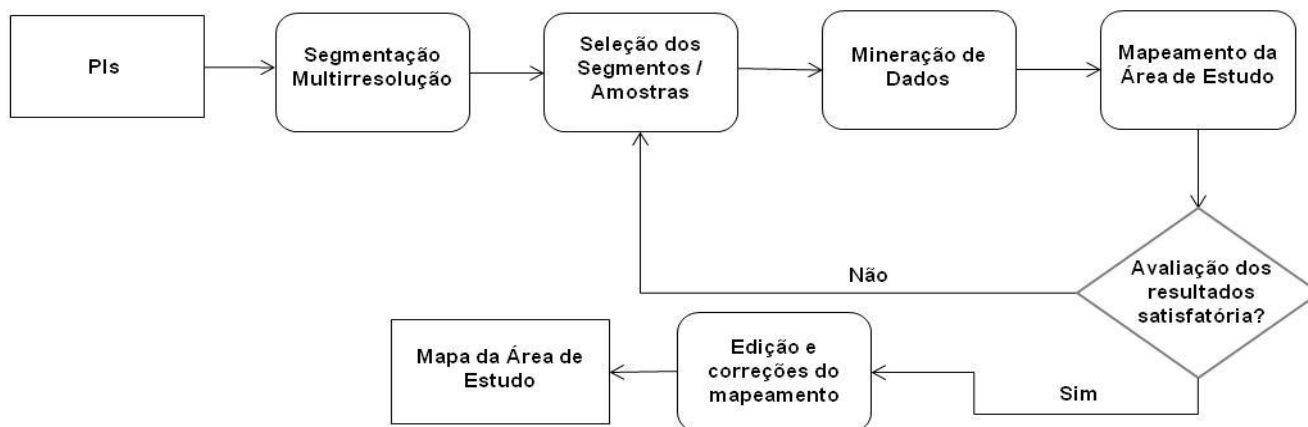


Figura 2. Fluxograma da classificação geomorfológica para cada táxon.

Resultados

O mapeamento geomorfológico apresentada parte de premissas teóricas semelhantes às de Dantas (2001), que também utilizou como base as propostas de Poçano et al. (1979) e de Ross (1990) na identificação de classes de relevo. Portanto, muitas classes identificadas nesse estudo se assemelham as classes presentes

em Dantas (2001), contudo, vale reforçar que há diferenças relevantes na legenda, nomenclatura e na organização taxonômica.

Foram identificadas duas unidades morfoestruturais (1º táxon), onze unidades morfoesculturais (2º táxon) e vinte unidades de relevo (3º táxon) (Tabela 2 e Figura 3).

Tabela 2. Síntese das características geomorfométricas e de distribuição espacial das classes de relevo mapeadas.

Unidades Morfoestruturais	Unidades Morfoesculturais	Unidades de Relevo	ÁREA		ALTIMETRIA			DECLIV. Média	
			KM ²	%	Mín.	Máx.	Amplitude	Méd.	
Cinturão Orogênico do Atlântico	Escarpos Estruturo-Denudativas	Escarpos Serranas	4854,81	11,27	0	2100	2100	450	21,5
		Escarpos em Degrau Estrutural	830,24	1,93	150	1200	1050	570	18,5
		Domínio Montanhoso	4681,06	10,87	300	2000	1700	900	20,0
	Planalto de Reverso Estruturo-Denudativo	Cadeias Serranas Paralelas	641,69	1,49	100	1750	1650	690	23,0
		Vales Intramontanos	443,99	1,03	500	1400	900	790	10,5
		Maciços Serranos	1173,73	2,73	0	1000	1000	200	18,5
	Maciços Estruturo-Denudativos	Maciços Pré-Montanhosos	1177,89	2,73	0	350	350	100	15,5
		Pontões Graníticos	392,88	0,91	700	2250	1550	1250	26,5
		Maciços Intrusivos-Denudativos	634,99	1,47	0	2750	2750	840	19,5
	Depressão Estruturo-Denudativa	Intrusivos Alcalinos							
		Serras Isoladas Residuais	3590,48	8,34	100	1280	1180	470	18,5
		Domínio de Morros e Colinas	10866,49	25,23	30	700	670	360	13,5
	Superfícies Colinosas Residuais	Dissecadas							
		Domínio Colinoso	2596,11	6,03	0	250	250	45	9,0
		Domínio Suave Colinoso	2002,65	4,65	0	150	150	30	4,5
	Tabuleiros Sedimentares	Tabuleiros Costeiros	1198,64	2,78	0	60	60	30	3,0
		Tabuleiros Continentais	262,44	0,61	0	350	350	250	5,0
		Planícies Aluviais	5150,21	11,96	0	50	50	40	2,0
Planícies e Baixadas Sedimentares Cenozoicas	Planícies Costeiras	Planícies Aluviais	1332,00	3,09	0	20	20	5	1,0
		Planícies de Pântanos e Mangues	717,21	1,67	0	20	20	5	1,0
		Fluviomarinhas e Fluviolagunares	484,21	1,12	0	20	20	5	2,0
	Planícies Antropogênicas	Planícies Antropogênicas	37,37	0,09	0	20	20	5	2,0

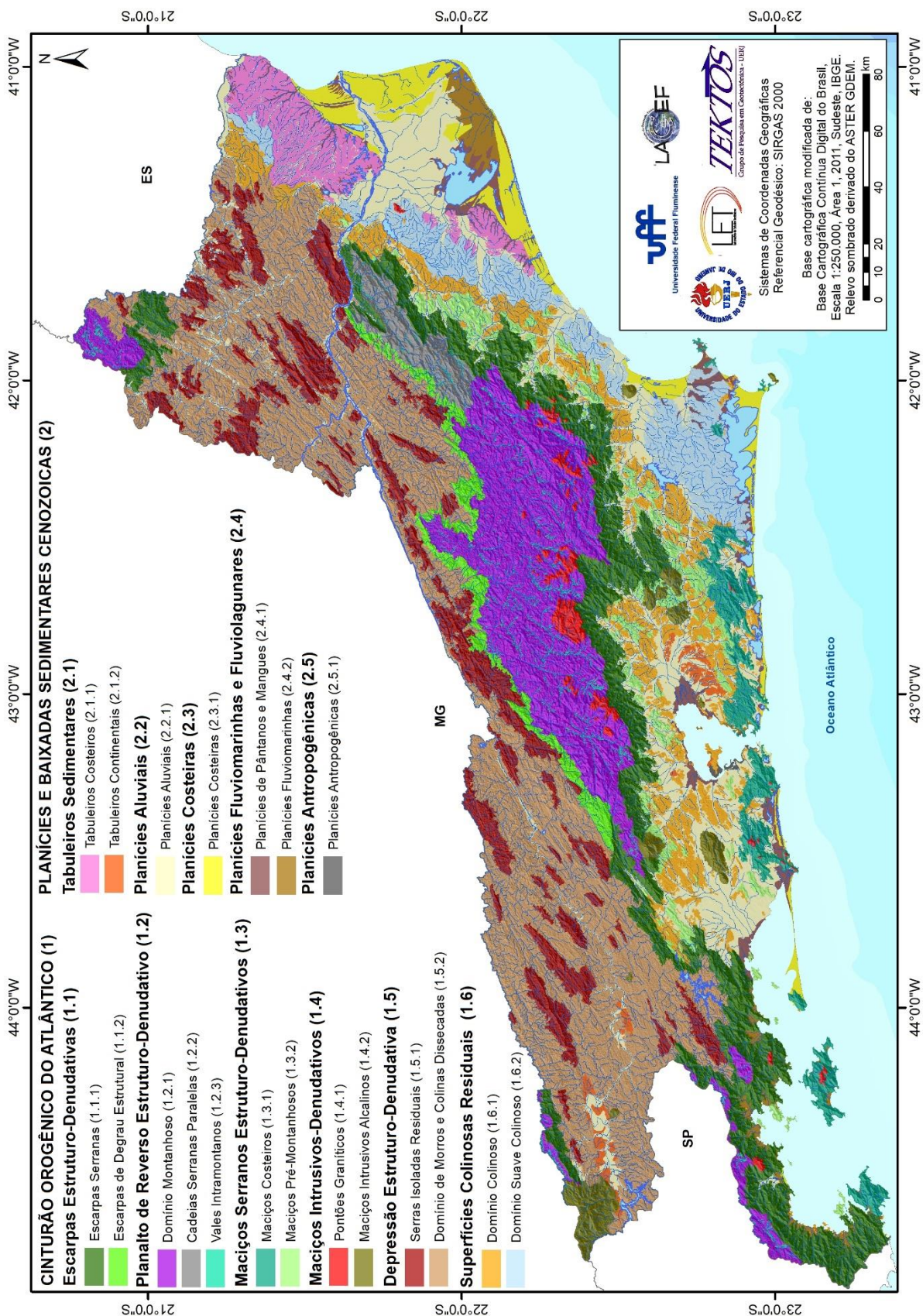


Figura 3. Mapa Geomorfológico do estado do Rio de Janeiro

1. Cinturão Orogênico do Atlântico

O Cinturão Orogênico do Atlântico compreende um conjunto de relevos sustentados por rochas metamórficas e ígneas com idades desde o Pré-Cambriano até o Eoceno. A maior parte dessas rochas é fruto de metamorfismo e intrusões graníticas características da Faixa Ribeira (Heilbron et al., 2016).

Uma parcela dessas rochas, do Cambro-Ordoviciano, está associada a um magmatismo referente ao estágio pós-tectônico do orógeno do Brasiliano, resultando em granitoides que sustentam diversos maciços graníticos presentes na paisagem estado do Rio de Janeiro, frutos da erosão diferencial.

Todas essas rochas passaram por um período de instabilidade tectônica a partir do Mesozoico até o Cenozoico, evento Sul-Atlântico (Schobbenhaus et al., 1984) e Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967), relacionado à separação das placas tectônicas Sul-Americana e Africana, o que resultou na formação do oceano Atlântico e na geração de um episódio de rifteamento, produzindo o RCSB, originando depressões tectônicas, como da Guanabara e do Vale do Paraíba do Sul; e terrenos elevados, como a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar.

As rochas mais recentes englobadas nessa unidade morfoestrutural consistem nas rochas alcalinas oriundas de um magmatismo mesozoico-cenozoico, que sustentam uma série de maciços presentes no território fluminense, como o Mendanha e o Morro de São João.

Sendo assim, essa unidade morfoestrutural compreende uma série de relevos montanhosos, escarpas, alinhamentos serranos, morros, maciços e superfícies dissecadas em diferentes patamares hipsométricos, tendo como característica principal um relevante controle litoestrutural oriundo dos processos supracitados.

A unidade morfoestrutural Cinturão Orogênico do Atlântico derivou seis unidades morfoesculturais: Escarpas Estruturo-Denudativas; Planalto de Reverso Estruturo-Denudativo; Maciços Serranos Estruturo-Denudativos; Maciços Intrusivos-Denudativos; Depressão Estruturo-Denudativa; e Superfícies Colinosas Residuais.

1.1. Escarpas Estruturo-Denudativas

A unidade morfoescultural Escarpas Estruturo-Denudativas compreende um conjunto de escarpas associadas às áreas de transição entre os relevos mais rebaixados, baixadas e depressões, e as áreas mais elevadas da Serra do Mar e da Serra

da Mantiqueira. Segundo Dantas (2001), essa unidade de relevo possui uma diversidade morfológica muito grande, por conta dos condicionantes litoestruturais, de forma, que há tanto a ocorrência de muralhas montanhosas imponentes como também de degraus escarpados mais degradados.

A unidade morfoescultural Escarpas Estruturo-Denudativas originou duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Escarpas Serranas** (Figuras 4 e 5) compreende um conjunto de escarpas montanhosas festonadas com vertentes muito íngremes, côncavas a retilíneas e topos de cristas alinhadas e aguçadas. Nessa unidade de relevo, a declividade média é superior a 20° e as amplitudes altimétricas são elevadas a muito elevadas.

Essa unidade de relevo está associada a áreas de transição entre relevos mais rebaixados e áreas mais elevadas da Serra do Mar e da Serra da Mantiqueira, predominantemente localizada nas vertentes do limite sul das mesmas, onde ocorrem as grandes variações altimétricas abruptas, relacionadas com a tectônica cenozoica responsável pelo soerguimento e basculamento de blocos escalonados na direção WSW-ENE no território fluminense (Asmus e Ferrari, 1978).

De acordo com Almeida e Carneiro (1998), a ocorrência da unidade de relevo Escarpas Serranas associadas à Serra do Mar é resultado de um recuo erosivo de antigas escarpas de falha originadas no Paleoceno. Já a ocorrência dessa unidade de relevo na Serra da Mantiqueira não sofreu tanto recuo erosivo, estando ainda próximas aos planos de falha que as originaram.

A **unidade de relevo Escarpas em Degrau Estrutural** (Figura 6) é um conjunto de escarpas com amplitudes topográficas predominantes entre 300 e 500 metros, que ocorrem, principalmente, nas vertentes do limite norte da Serra do Mar, sendo uma feição transicional entre as áreas mais elevadas da Serra do Mar com as áreas mais baixas da depressão interplanáltica do vale do rio Paraíba do Sul. De forma, que essas diferenças altimétricas também estão relacionadas à tectônica cenozoica responsável pelo soerguimento e basculamento de blocos escalonados na direção WSW-ENE no território fluminense (Asmus e Ferrari, 1978).

São escarpas mais degradadas com vertentes mais suavizadas e topos arredondados. Nas áreas mais altas e com maior declividade, possuem solos rasos e ocorrem diversos afloramentos rochosos. Nas áreas mais baixas, os solos se tornam mais

espessos, diminuindo a ocorrência de afloramentos.

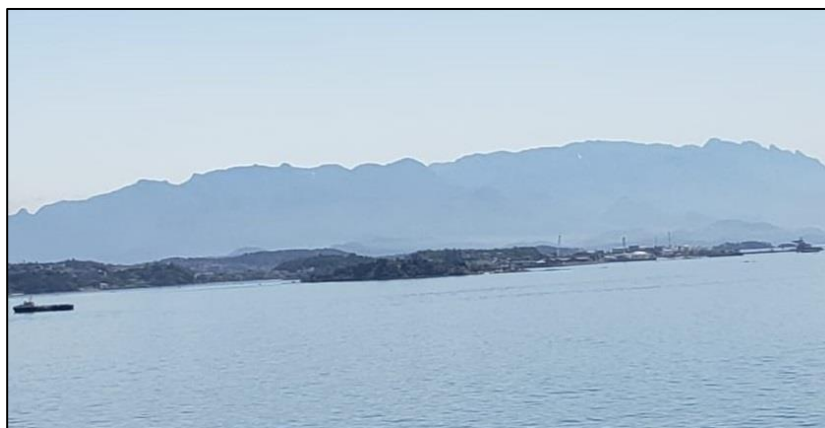


Figura 4. Escarpas Serranas ao fundo da Baía de Guanabara.



Figura 5. Escarpas Serranas, ao fundo, vista da Baixada Fluminense, RJ.



Figura 6. Escarpas em Degrau Estrutural, Miguel Pereira, RJ.

1.2. Planalto de Reverso Estruturo-Denudativo

A unidade morfoescultural Planalto de Reverso Estruturo-Denudativo consiste em um conjunto de feições localizadas no reverso das Escarpas Estruturo-Denudativas, relacionadas às Serras do Mar e da Mantiqueira. De acordo com Asmus e Ferrari (1978), tal unidade morfoescultural é resultado do soerguimento de blocos escalonados na direção predominante WSW-ENE durante o Cenozoico.

A partir da unidade morfoescultural Planalto de Reverso Estruturo-Denudativo originaram-se três unidades de relevo:

A **unidade de relevo Domínio**

Montanhoso (Figura 7) consiste em um relevo montanhoso, muito acidentado, com predominância de vertentes côncavas a retilíneas, densidade de drenagem alta, topos de cristas alinhadas aguçadas a suavemente arredondadas e amplitudes altimétricas superiores a 400 metros. Há também a ocorrência pontual de morros ou colinas em planaltos elevados.

De acordo com Dantas (2001), a unidade de Relevo Domínio Montanhoso compreende superfícies residuais, soerguidas por tectônica, que resistiram aos processos erosivos de aplainamento ativos durante o Cenozoico, sendo, dessa maneira, os terrenos mais elevados do estado do Rio de Janeiro. Essa unidade de relevo ocorre, em geral,

no reverso imediato das escarpas serranas.

A **unidade de relevo Cadeias Serras Paralelas** (Figura 8) são formadas por alinhamentos serranos paralelos na direção predominante WSW-ENE, caracterizadas por amplitudes altimétricas superiores a 400 metros, picos rochosos e cristas extensas. Essa unidade de relevo se localiza no extremo nordeste da Serra do Mar no território fluminense, também estando no reverso imediato das escarpas serranas.

As feições da unidade de relevo Cadeias Serras Paralelas estão associadas à ocorrência de granitóides sin-colisionais alongados também na

direção WSW-ENE, sugerindo que tais feições são resultantes de um forte controle litoestrutural.

A **unidade de relevo Vales Intramontanos** (Figura 9) consiste nos vales que ocorrem nos planaltos de reverso da Serra do Mar e da Mantiqueira. Há uma forte associação desses vales com os condicionantes estruturais, de forma que, por diversas vezes, os mesmos ocorrem em planos de falhas e fraturas. São vales que apresentam drenagem paralela e predominância de forma “V”, encaixados nas feições das unidades de relevo Domínio Montanhoso e Cadeias Serras Paralelas.



Figura 7. Domínio Montanhoso, Petrópolis, RJ.



Figura 8. Cadeias Serras Paralelas, Santa Maria Madalena, RJ.

Fonte: Letícia Lütke Riski



Figura 9. Vale Intramontano, distrito de Maringá, Itatiaia, RJ.

1.3. *Maciços Serranos Estruturo-Denudativos*

A unidade morfoescultural Maciços Serranos Estruturo-Denudativos compreende um conjunto de maciços e morros, localizados por toda baixada litorânea fluminense, ocorrendo próximo as escarpas da Serra do Mar como também nas regiões costeiras. De acordo com Asmus e Ferrari (1978), essa unidade morfoescultural também é resultado do soerguimento de blocos no Cenozoico.

A unidade morfoescultural Maciços Serranos Estruturo-Denudativos originou duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Maciços Costeiros** está relacionada a um conjunto de maciços alinhados sob a direção predominante de WSW-ENE, localizados por toda baixada litorânea fluminense, atingindo a linha de costa por meio de pontões rochosos (Figura 10 e Figura 11). Segundo Almeida e Carneiro (1998), essa unidade de relevo é um remanescente de uma antiga borda meridional

do graben da Guanabara, que foi intensamente erodida.

As feições que compõe os Maciços Costeiros são caracterizadas por vertentes íngremes e, muitas vezes, rochosas, gradientes muito elevados, topos aguçados e/ou arredondados ou cristas alinhadas e densidade de drenagens altas ou muito altas. Na maior parte das vezes, os Maciços Costeiros apresentam declives com rupturas abruptas em relação aos relevos adjacentes.

A **unidade de relevo Maciços Pré-Montanhosos** (Figura 12) consistem em um conjunto de pequenos maciços e morros com ocorrência por quase toda baixada litorânea do estado do Rio de Janeiro, exceto no extremo norte fluminense, de forma adjacente às escarpas serranas da Serra do Mar e aos maciços costeiros. Caracterizam-se, predominantemente, por amplitudes altimétricas entre 100 e 300 metros, vertentes retilíneas e topos convexos.



Figura 10. Maciços Costeiros, Niterói e Rio de Janeiro, RJ.



Figura 11. Maciços Costeiros, ao fundo, Saquarema, RJ.



Figura 12. Maciços Pré-Montanhosos, Campos dos Goytacazes, RJ.

1.4. Maciços Intrusivos-Denudativos

Essa unidade morfoescultural abrange uma série de maciços sustentados por rochas intrusivas, estas sendo granitos cambro-ordovicianos ou rochas alcalinas meso-cenozoicas. A unidade morfoescultural Maciços Intrusivos-Denudativos originou duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Pontões Graníticos** (Figura 13) possuem sua origem relacionada com o magmatismo pós-tectônico ocorrido entre o Cambriano e o Ordoviciano (Valeriano et al., 2011), que originou blocos graníticos, soerguidos durante o Cenozoico no processo de abertura do oceano Atlântico e rifteamento do RCSB e, posteriormente, expostos por erosão diferencial. Uma vez que são rochas mais resistentes do que as adjacentes, formou pontões, que ocorrem em altas altitudes da Serra do Mar e dos Maciços Costeiros. Caracteriza-

se, predominantemente, por vertentes escarpadas, topos aguçados e ocorrência de diversos afloramentos rochosos.

A **unidade de relevo Maciços Intrusivos Alcalinos** (Figuras 14 e 15) abrange uma série de maciços sustentados por rochas alcalinas oriundas de um magmatismo mesozoico-cenozoico relacionado à Reativação Wealdeniana. Esse magmatismo originou uma série de corpos alcalinos que intruiu o embasamento e, atualmente, formam maciços de diferentes altitudes e tamanhos, variando desde altas montanhas, como as Agulhas Negras, até elevações menores, como a Ilha de Cabo Frio.

De uma forma geral, os Maciços Alcalinos Intrusivos possuem uma forma dômica, alta densidade de drenagem, padrão de drenagem radial e centrífuga, vertentes íngremes e topos aguçados em cristas anelares.



Figura 13. Pontão Granítico, Nova Friburgo, RJ.

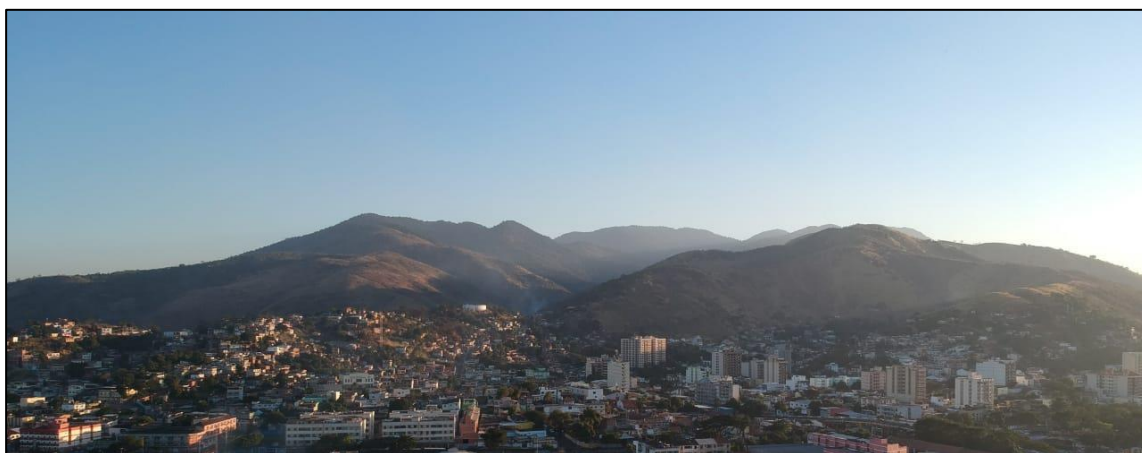


Figura 14. Maciço Intrusivo Alcalino do Mendanha, Nova Iguaçu, RJ.

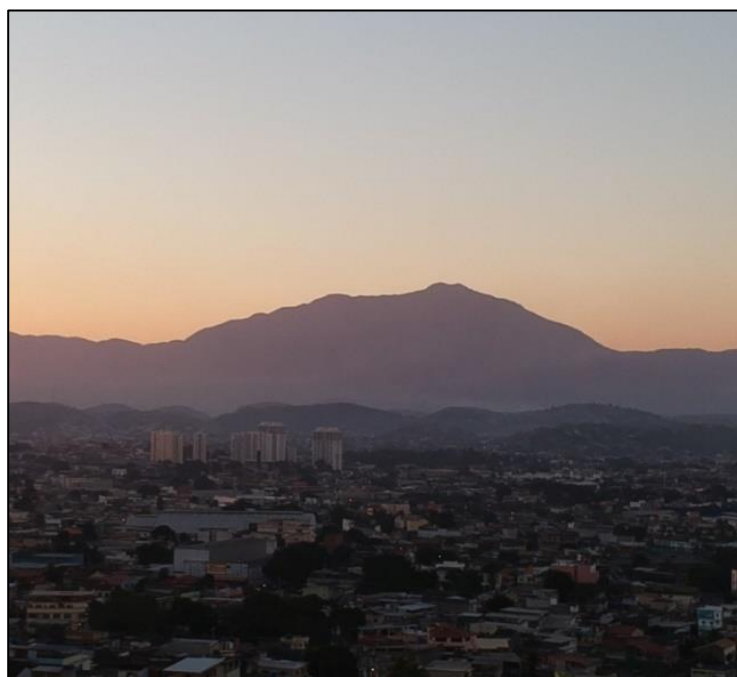


Figura 15. Maciço Intrusivo Alcalino do Tinguá, Nova Iguaçu, RJ.

1.5. Depressão Estruturo-Denudativa

A unidade morfoescultural Depressão Estruturo-Denudativa compreende as depressões interplanálticas entre a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira, onde se localizam os vales dos rios Paraíba do Sul, Pomba e Muriaé. A unidade morfoescultural Depressão Estruturo-Denudativa está relacionada ao rebaixamento de blocos no Cenozoico (Asmus e Ferrari, 1978).

A unidade morfoescultural Depressão Estruturo-Denudativa originou duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Serras Isoladas Residuais** (Figuras 16) compreende um conjunto de serras isoladas, alinhadas, predominantemente, na direção WSW-ENE, com amplitude topográfica de 300 a 700 metros e altitudes máximas superando os 1.000 metros. Tal unidade é caracterizada por vertentes retilíneas a côncavas, densidade de drenagem média e topos aguçados em cristas alinhadas a levemente arredondadas.

Essa unidade de relevo ocorre de forma isolada na depressão interplanáltica dos vales dos rios Paraíba do Sul, Pomba e Muriaé, se destacando do relevo ao entrono, composto por morros e colinas dissecadas. De acordo com Dantas (2001), essas feições consistem em relevos residuais associados a litologias mais resistentes e/ou a soerguimentos durante o evento tectônico extensional.

A **unidade de relevo Domínio de Morros e Colinas Dissecadas** (Figura 17) consiste em um conjunto de morros e colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas a retilíneas, topos arredondados a aguçados e amplitude altimétrica entre 100 e 300 metros.

Essa unidade de relevo é predominante por toda a depressão interplanáltica dos vales dos rios Paraíba do Sul, Pomba e Muriaé. No médio Paraíba do Sul, Ab`Saber (1966) caracterizou as áreas de ocorrência de tais feições como área-tipo do domínio morfoclimático dos mares de morros.



Figura 16. Serras Isoladas Residuais, Bom Jesus do Itabapoana, RJ.



Figura 17. Domínio de Morros e Colinas Dissecadas, Piraí, RJ.

1.6. Superfícies Colinosas Residuais

A unidade morfoescultural Superfícies Colinosas Residuais compreende um conjunto de

ambientes colinosos de baixa amplitude de relevo, presente em toda a baixada litorânea do estado do Rio de Janeiro. De acordo com Dantas (2001), essa unidade consiste em feições residuais associadas a processos de aplainamento. Tal unidade morfoescultural originou duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Domínio Colinoso** (Figura 18) compreende um conjunto de colinas de topos arredondados, vertentes convexo-côncavas pouco inclinadas e amplitude altimétrica, em média, inferiores a 100 metros. Essa unidade de relevo ocorre por toda a baixada litorânea do estado do

Rio de Janeiro e, principalmente, de forma adjacente às escarpas serranas e maciços.

A **unidade de relevo Domínio Suave Colinoso** (Figura 19) compreende um conjunto de colinas suaves, topos arredondados a alongados, vertentes convexas, amplitudes altimétricas, em média, inferiores a 50 metros, densidade de drenagem baixa e padrão de drenagem dendrítico. Essa unidade de relevo é distribuída pela baixada litorânea do estado do Rio de Janeiro, desde a baixada da Região dos Lagos até a baixada do norte fluminense.



Figura 18. Domínio Colinoso, Casimiro de Abreu, RJ.



Figura 19. Domínio Suave Colinoso, ao fundo, Araruama, RJ.

2. Planícies e Baixadas Sedimentares Cenozoicas

Essa unidade morfoestrutural também foi reconhecida no mapa geomorfológico de Dantas (2001) com a denominação Bacias Sedimentares Cenozoicas. Contudo, optou-se, para esse trabalho, pela substituição da nomenclatura utilizada, sobretudo porque tal classe não define somente bacias sedimentares em *stricto sensu*, mas também planícies com depósitos sedimentares recentes do Quaternário e tabuleiros costeiros de sedimentos datados do Neógeno.

A unidade morfoestrutura Planícies e

Baixas Sedimentares Cenozoicas possui feições planas e tabulares com substrato de rochas sedimentares pouco litificadas e/ou de depósitos sedimentares inconsolidados, ambos do Paleógeno e Neógeno, armazenados em bacias sedimentares continentais originadas pela tectônica extensional cenozoica ou em tabuleiros costeiros como o da Formação Barreiras no norte fluminense.

As Planícies e Baixadas Sedimentares Cenozoicas também englobam planícies formadas por sedimentos quaternários de origem continental e costeira. Muitas dessas planícies são caracterizadas por consistirem em ambientes de

transição entre sedimentação continental e marinha, onde há grande dificuldade de identificação da proveniência predominante dos sedimentos.

A unidade morfoestrutural Planícies e Baixadas Sedimentares Cenozoicas foi dividida em cinco unidades morfoesculturais: Tabuleiros Sedimentares; Planícies Aluviais; Planícies Costeiras; Planícies Fluviomarinhas e Fluviolagunares; e Planícies Antropogênicas.

2.1. Tabuleiros Sedimentares

A unidade morfoescultural Tabuleiros Sedimentares compreende um conjunto de tabuleiros e colinas tabulares presentes em bacias tafrogênicas continentais, que ocorrem no médio vale do rio Paraíba do Sul e no graben da Guanabara, e nos depósitos da Formação Barreiras, que ocorrem ao longo do litoral norte do estado do Rio de Janeiro. Tal unidade morfoescultural originou duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Tabuleiros Costeiros** (Figura 20) consistem em tabuleiros e colinas suaves com topos tabulares, com baixas amplitudes de relevo e baixas altitudes. Tal relevo é formado por sedimentos neógenos da Formação Barreiras, que no estado do Rio de Janeiro, são bem

caracterizados por Morais (2001) e Morais et al. (2006).

Essa unidade se estende pelas baixadas litorâneas do norte fluminense, desde Quissamã até a divisa com o estado do Espírito Santo, em alguns casos, está associada à formação de falésias. Frequentemente, a individualização da unidade morfoescultural Tabuleiros Sedimentares Costeiros não é fácil, uma vez que as colinas sustentadas por rochas cristalinas adjacentes possuem características morfológicas e morfométricas bem semelhantes.

A **unidade de relevo Tabuleiros Continentais** (Figura 21) consiste em tabuleiros e colinas suaves e tabulares, com baixas amplitudes de relevo e baixas altitudes, presentes nas bacias sedimentares tafrogênicas de Resende, Volta Redonda e Macacu. Tal relevo é formado, predominantemente, por sedimentos neógenos, da Formação Floriano, e sedimentos paleógenos, das Formações Resende e Macacu.

A origem dessas bacias está relacionada ao processo de abertura do oceano Atlântico e reativação de zonas de cisalhamentos proterozoicas de direção ENE-WSW, o que formou hemigrabens, resultando em tais bacias sedimentares (Almeida, 1976; Asmus e Ferrari, 1978; Melo et al., 1985; Riccomini, 1989; Heilbron et al., 2016).



Figura 20. Tabuleiros Costeiros, Quissamã, RJ.



Figura 21. Tabuleiros Continentais na Bacia de Resende, Resende, RJ.

2.2. Planícies Aluviais

A unidade morfoescultural Planícies

Aluviais (Figuras 22 e 23), que originou uma única unidade de relevo com o mesmo nome, consiste em feições planas acumulativas continentais, incluindo

planícies de inundação, terraços fluviais, leques aluviais, entre outros. Caracteriza-se por declividades e amplitudes altimétricas muito baixas.

Essa unidade morfoescultural engloba tanto depósitos aluviais quaternários antigos,

pleistocênicos, ao longo, principalmente, do médio vale do Paraíba do Sul, como também depósitos quaternários mais recentes nas margens, fundos de canal e planícies dos principais rios do estado do Rio de Janeiro.



Figura 22. Planície Aluvial, Rio Bonito, RJ.



Figura 23. Planície Aluvial do rio Paraíba do Sul, Resende, RJ.

2.3. Planícies Costeiras

A unidade morfoescultural Planícies Costeiras (Figura 24), que originou uma única unidade de relevo com o mesmo nome, compreende superfícies subhorizontais com amplitudes altimétricas inferiores a 20 metros e microrrelevo ondulado. A mesma é resultado de processos de sedimentação quaternária, predominantemente, marinha, com ocorrências pontuais de processos de sedimentação eólica em áreas costeiras (Figura 25).

O conjunto de feições dessa unidade abrange tanto as feições costeiras regressivas como as transgressivas e está presente ao longo de toda zona costeira do estado do Rio de Janeiro, de forma, que sua extensão varia em função da configuração geomorfológica do litoral. Portanto, as ocorrências da unidade morfoescultural Planícies Costeiras podem ser em pequenas extensões, de dezenas de metros, ou em grandes extensões, de vários quilômetros, principalmente próximo às grandes desembocaduras fluviais.



Figura 24. Planície Costeira, Saquarema, RJ.



Figura 25. Planície Costeira, Dunas do Perú, Cabo Frio, RJ.

2.4. Planícies Fluviomarinhas e Fluviolagunares

A unidade morfoescultural Planícies Fluviomarinhas e Fluviolagunares consiste em planícies com depósitos de interdigitações de materiais fluviais e marinhos, principalmente, em ambientes de planícies de maré e estuarino, sendo feições com estreita ligação com os processos de variação do nível relativo do mar no Quaternário (Martin e Suguio, 1989; Martin et al., 1997).

A partir da unidade morfoescultural Planícies Fluviomarinhas e Fluviolagunares originaram-se duas unidades de relevo:

A **unidade de relevo Planícies de Pântanos e Mangues** (Figura 26) consiste em superfícies subhorizontais com amplitudes

altimétricas inferiores a 20 metros, associados aos sistemas lagunares e estuarinos, como nos fundos das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande. Ambientes esses onde, frequentemente, ocorrem planícies de maré em desembocaduras de rios.

Essa unidade é formada por sedimentos sílticos e/ou areno-argilosos, com grande quantidade de matéria orgânica.

A **unidade de relevo Planícies de Fluviomarinhas** (Figura 27) consiste em superfícies subhorizontais com amplitudes altimétricas inferiores a 20 metros, associados as planícies de interdigitações de materiais fluviais e marinhos holocênicos, em ambientes de planícies de maré e progradação de litoral, em regime estuarino. A distinção entre os sedimentos fluviais

e marinhos, muitas das vezes, é extremamente difícil nessa feição.

Essa unidade é formada por sedimentos

finos, siltico-argilosos ou argilo-silticos, com grande presença de material orgânico.



Figura 26. Planície de Pântanos e Mangues, Barra de Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ.



Figura 27. Planície Fluvio-marinha, Fazenda Grataú, Angra dos Reis, RJ.

2.5. Planícies Antropogênicas

A unidade morfoescultural Planícies Antropogênicas (Figura 28), que originou uma única unidade de relevo com o mesmo nome, consiste em superfícies subhorizontais com amplitudes altimétricas inferiores a 20 metros. Trata-se de depósitos sedimentares produzidos pela

ação do homem, que ocorrem, principalmente, nos municípios do Rio de Janeiro e Niterói, onde aconteceu uma série de projetos de aterros urbanísticos a partir do início do século XX, como os aterros do Flamengo, da Zona Portuária, das regiões centrais de ambos os municípios e da Ilha do Governador.



Figura 28. Planície Antropogênica, aeroporto do Galeão, Rio de Janeiro, RJ.

Conclusão

O mapa geomorfológico apresentado neste estudo possui uma forte abordagem morfogenética e morfolítica, de forma, que fica evidente que a legenda aplicada foi a principal responsável por refletir tal característica. Na cartografia geomorfológica, as legendas utilizadas estão diretamente associadas às escolhas do agente mapeador sobre o que o mesmo julga ser mais relevante para a representação do relevo em cada área de estudo. Portanto, no presente estudo, a morfogênese e a morfolitologia foram elencadas como fundamentais para a compreensão do relevo do estado do Rio de Janeiro, que é fortemente influenciado por uma complexa evolução geológica e geotectônica.

O mapeamento realizado permitiu a identificação de duas unidades morfoestruturais, onze unidades morfoesculturais e vinte unidades de relevo. As unidades de relevo com maior abrangência espacial são, em ordem decrescente, o Domínio de Morros e Colinas Dissecadas, as Planícies Aluviais, as Escarpas Serranas e o Domínio Montanhoso. As demais unidades de relevo registraram uma abrangência espacial menos significativa.

Em comparação aos trabalhos anteriores, este trabalho tem como grande contribuição um mapa geomorfológico elaborado a partir de uma metodologia, que ainda que seja semiautomatizada e parametrizada, o que facilita a sua reprodutibilidade, não negligencia informações qualitativas relevantes como o arcabouço litoestrutural e a morfogênese. Portanto, o resultado foi um mapa geomorfológico com uma classificação caracterizada por um mesmo nível de complexidade das classificações por interpretação visual, mas com um menor nível de subjetividade

na execução dos procedimentos adotados.

Além disso, o mapa geomorfológico resultante contribui como relevante subsídio para a tarefa de planejamento e ordenamento territorial e ambiental do estado do Rio de Janeiro. As cartas, nas escalas 1:250.000 e 1:400.000, e os dados vetoriais (1:250.000) resultantes do mapeamento desenvolvido no presente estudo podem ser adquiridos por meio de download no seguinte endereço eletrônico:

https://drive.google.com/drive/folders/1KmyyyRMoELIbCOOjwfcJHsQL3KFw8gs-?usp=s_haring

Referências

- Ab'Saber, A.N. 1966 O domínio dos mares de morros no Brasil. São Paulo: USP. Geomorfologia. São Paulo -SP: USP
- Almeida, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma continental brasileira. Boletim [da] Div. de Geologia e Mineralogia, 241.1-36
- Almeida, F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Anais da Academia Brasileira Ciências, 48, 15-26
- Almeida, F.F.M., Carneiro, C.D.R. 1998. Origem e evolução da serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, v. 28(2), 135-150
- Almeida, F.F.M., Hasui Y., Brito Neves, B.B de, Fuck, R.A. 1977. As províncias estruturais do Brasil. In: SBG, Simp. Geol. Nordeste, 8, Bol. Esp., 12 p
- Almeida, F.F.M., Hasui Y., Brito Neves, B.B de, Fuck, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. Earth Sciences Rev., 7817 1-29
- Anders, N. S., Seijmonsbergen, A. C., Boutten, W. Segmentation optimization and stratified object-based analysis for semi-automated geomorphological mapping. Remote Sensing of

- Environment, 115, 2976-2985, 2011
- Argento, M.S. 2011. Mapeamento Geomorfológico. In: Guerra, A.J.T. e Cunha, S.B. (Eds.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 365-391
- Asmus, H.E., Ferrari, A.L. 1978. Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região Sudeste do Brasil. In: PETROBRAS. Aspectos Estruturais da Margem Continental Leste e Sudeste do Brasil (Série Projeto REMAC, 4), Rio de Janeiro, 75-88
- Bishop, M.P., James, L.A., Shroder, J.F., Walsh, S. J. 2012. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. *Geomorphology*, 137, 5-26
- Bloom, A.L. 1998. Geomorphology. A systematic analysis of late Cenozoic landforms. New Jersey. Prentice Hall, 482 p
- Cooke, R.U., Doornkamp, J.C. 1990. Geomorphology in environmental management: a new introduction. 2. ed. New York: Oxford University Press, 410 p
- Dantas, M.E. 2001. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. In: CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto Rio de Janeiro. Brasília: CPRM. p. 95-195
- Dou, J., Yunus, A.P., Bui, D.T., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., Chen, C.-W., Han, Z., Pham, B.T., 2019a. Improved landslide assessment using support vector machine with bagging, boosting, and stacking ensemble machine learning framework in a mountainous watershed, Japan. *Landslides* 17 (3), 641–658
- Dou, J., Yunus, A.P., Tien Bui, D., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., Chen, C.W., Khosravi, K., Yang, Y., Pham, B.T., 2019b. Assessment of advanced random forest and decision tree algorithms for modeling rainfall-induced landslide susceptibility in the Izu-Oshima Volcanic Island, Japan. *Sci. Total Environ.* 662, 332–346
- Dragut, L., Blaschke, T. 2006. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, 81, 330-344
- Dragut, L., Eisank, C. 2012. Automated object-based classification of topography from SRTM data. *Geomorphology*, 141-142, 21-33
- Fernandes, P. J. F., Girão, R. S. 2018. Refinamento Semiautomático do Mapa Geomorfológico do RADAMBRASIL por Recuperação e Modelagem do Conhecimento. *Revista Tamoios*, 14, 117-141
- Gevaert, C., Persello, C., Nex, F., Vosselman, G., 2018. A deep learning approach to DTM extraction from imagery using rule-based training labels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 142, 106-123
- Girão, R. S., Mello, C. L., Fernandes, P. J. F. 2016. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do rio São João por Análise de Imagens Orientada a Objeto e Mineração de Dados. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 17, 3-21
- Girão, R. S. 2020. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro por Modelagem do Conhecimento. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense. 188
- Girão, R., Vicens, R. S., Almeida, J. C. H., Fernandes, P. J. F. 2021. Mapeamento Geomorfológico Regional Semiautomatizado por Descoberta e Modelagem do Conhecimento. *REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA*, 22, 1-28, 2021
- Heilbron, M., Eirado, L.G.; Almeida, J. (Org) 2016. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Escala 1:400.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Mapas Geológicos Estaduais. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte
- Hengl, T., Reuter, H.I. (Eds.). 2009. *Geomorphometry: Concepts, Software, and Applications: Developments in Soil Science*
- Latifovic, R., Pouliot, D., Campbell, J. 2018. Assessment of convolution neural networks for surficial geology mapping in the South Rae geological region, Northwest Territories, Canada. *Remote Sensing* 10(2), 307
- Jasiewicz, J., Stepinski, T.F. 2013. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. *Geomorphology*, 182. 147–156
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., Johnson, B. A. 2019. Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS journal of photogrammetry and remotesensing* 152, 166-177.
- Martin, L., Suguio, K. 1989. Excursion route along the Brazilian coast between Santos (SP) and Campos (RJ). In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY*. São Paulo. Publicação Especial, 2, IG-USP
- Martin, L., Suguio, K., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M. 1997. Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito

- Santo. Belo Horizonte : CPRM, 112
- Melo, M.S. 1985. Estruturas da área da Bacia de Resende (RJ) e os modelos tectônicos regionais. In: 5º Simpósio Regional de Geologia, Anais, 1, 323-336
- Merghadi, A., Yunus, A.P., Dou, J., Whiteley, J., ThaiPham, B., Bui, D.T., Avtar, R., Abderrahmane, B. 2020. Machine learning methods for landslide susceptibility studies: a comparative overview of algorithm performance. *Earth Sci. Rev.* 207
- Metelka, V., Baratoux, L., Jessell, M. W., Barth, A., Ježek, J., Naba, S. 2018. Automated regolith landform mapping using airborne geophysics and remote sensing data, Burkina Faso, West Africa. *Remote Sensing of Environment* 204, 964-978
- Morais, R.M.O. 2001. Estudo faciológico da Formação Barreiras na região entre Marica e Barra de Itapapoana, estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 113 p
- Morais, R.M.O., Mello, C.L., Costa, F.O., Santos, P.F. 2006. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro. *Geologia USP (Série Científica)*, 6, 2.
- Ponçano, W.L., Carneiro, C. D. R., Almeida, M. A., Pires Neto, A.G., Almeida, F.F.M. 1979. O conceito de sistemas de relevo aplicado ao mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo. *SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL*, 2, Atas, Rio Claro, p. 253-262
- Riccomini, C. 1989. O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese (Doutorado em Geologia) - Depto Geologia, IG/USP. 256 p
- Riccomini, C. 1995. Tectonismo gerador e reformador dos depósitos sedimentares Pós-Gondwânicos da porção centro-ocidental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. (Tese de Livre Docência, Depto Geologia, IG/USP). 198 p
- Ross, J.L.S. 1990. Geomorfologia, ambiente e planejamento. São Paulo: Ed. Contexto
- Sampaio, T.V.M. 2008. Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem – uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES. Tese (Doutorado). IGC/UFGM. Belo Horizonte, 147
- Santos, R.F. 2004. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 184 p
- Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Derze, G.R., Asmus, H.E. 1984. Geologia do Brasil. Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo Depósitos Minerais. Brasília, DNPM-MME, escala 1:2.500.000, 501
- Schlögel, R., Marchesini, I., Alvioli, M., Reichenbach, P., Rossi, M., Malet, J. P. 2018. Optimizing landslide susceptibility zonation: Effects of DEM spatial resolution and slope unit delineation on logistic regression models. *Geomorphology* 301, 10–20
- Silva, T.M. 2002. A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro
- Silveira, C.T., Silveira, R.M.P. 2017. Índice de Posição Topográfica (IPT) para a Classificação Geomorfométrica das Formas de Relevo no Estado do Paraná – Brasil. *Revista Ra'e Ga.* 41, 98-130
- Sun, D., Wen, H., Wang, D., Xu, J. 2020. A randomforestmodel of landslide susceptibility mapping based on hyperparameter optimization using Bayes algorithm. *Geomorphology* 362
- Valeriano, C.M., Tupinambá, M., Simonetti, A., Heilbron, M., Almeida, J.C H., Eirado, L. G. 2011. U-Pb LA-MC-ICPMS geochronology of Cambro-Ordovician post-collisional granites of the Ribeira belt, southeast Brazil: terminal Brasileiro magmatism in central Gondwana supercontinent. *Journal of South American Earth Sciences*, 32, 416-428
- Verhagen, P., Dragut, L. 2012. Object-based landform delineation and classification from DEMs for archaeological predictive mapping. *Journal of Archaeological Science*, 39, 608-703
- Weiss, A. 2001. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA
- Xiong, L., Zhu, A., Zhang, L., Tang, G., 2018. Drainage basin object-based method for regional-scale landform classification: a case study of loess area in China. *Physical Geography* 39(6), 523-541
- Zhang, T.Y., Han, L., Zhang, H., Zhao, Y.H., Li, X.A., Zhao, L., 2019. GIS-based landslide susceptibility mapping using hybrid integration approaches of fractal dimension with index of entropy and support vector machine. *J. Mt. Sci.* 16 (6), 1275–1288
- Zhao, Y., Wang, R., Jiang, Y., Liu, H., Wei, Z., 2019. GIS-based logistic regression for rainfallinduced landslide susceptibility mapping under different grid sizes in Yueqing, Southeastern China. *Engineering Geology*, 259.