



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

Adison Ribeiro Soares Filho

**CONTRIBUIÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO PARA A AVALIAÇÃO
QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE: PARQUE ESTADUAL DA
PEDRA BRANCA (RJ)**

Trabalho Final de Curso

UFRJ
Rio de Janeiro
Julho de 2019

Adison Ribeiro Soares Filho

**CONTRIBUIÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO PARA A
AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE:
PARQUE ESTADUAL DA PEDRA BRANCA (RJ)**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de grau em Geologia.

Orientador: Prof. *Dsc.* José Carlos Sícoli Seoane - Depto. de Geologia/UFRJ

Orientador: *Msc.* Jhone Caetano de Araujo – Depto. de Geologia/UFRJ

UFRJ

Rio de Janeiro

Julho de 2019

Adison Ribeiro Soares Filho

Contribuições do Geoprocessamento para a Avaliação Quantitativa da Geodiversidade: Parque Estadual da Pedra Branca / Adison Ribeiro Soares Filho – Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, 2019.

xi, 70 p.

Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2019.

Orientadores: José Carlos Sícoli Seoane e Jhone Caetano de Araujo.

1. Avaliação Quantitativa da Geodiversidade 2. Geoprocessamento 3. Geoconservação

Adison Ribeiro Soares Filho

**CONTRIBUIÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO PARA A AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA
GEODIVERSIDADE: PARQUE ESTADUAL DA PEDRA BRANCA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para
obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

José Carlos Sicoli Seoane (UFRJ)

Jhone Caetano de Araujo (PPGL/UFRJ)

Por:

Orientador: José Carlos Sícoli Seoane (DGEO/UFRJ)

Orientador: Jhone Caetano de Araujo (PPGL/UFRJ)

Renato Rodriguez Cabral Ramos (DGP – Museu Nacional/UFRJ)

Daniel Souza dos Santos (PPGL/UFRJ)

Rio de Janeiro

Julho 2019

“Ninguém nasce feito, ninguém nasce marcado para ser isso ou aquilo. Pelo contrário, nos tornamos isso ou aquilo. Somos programados, mas, para aprender.”

(Paulo Freire)

In memoriam de Adison Ribeiro Soares,
Meu professor e
maior incentivador dos meus estudos.

Agradecimentos

Como cientistas, nós aprendemos um pouco sobre as primeiras formas de vida na Terra, a fragilidade das espécies quanto aos ambientes que a Terra (n)os impõe e a grande improbabilidade matemática que através da evolução das espécies nos leva à este momento. Agradeço, primeiramente, a ter esta oportunidade de estudar em uma Universidade pública e gratuita neste país, e isto devo a todos que lutaram pela educação e pela ciência nele.

A pessoa que eu mais devo agradecer nesta vida é minha mãe, muito obrigado por nossa amizade e pelo amor emanado todos os dias. Obrigado por ter sido minha primeira e eterna professora do viver.

Muito obrigado aos meus grandes amigos: Rafael Rangel Reis e Matheus Leite da Silva. A amizade de vocês é para a vida inteira. Tenho muita sorte em ter vocês ao meu lado. Obrigado por todo carinho e apoio nas horas mais difíceis. Vocês dois sempre estiveram e sempre estão para absolutamente tudo. Muito obrigado!

Muito obrigado também Adriana Amorim, minha namorada maravilhosa. Muito obrigado por ser minha companheira para todo e qualquer momento. É na festa, é no choro, é no carnaval e na varanda conversando... Você sempre está comigo.

Aos meus mestres, Cainho e Jhone, vocês me auxiliaram da melhor forma possível, seus conhecimentos e auxílios foram essenciais para a realização deste trabalho. Obrigado pelas risadas, ensinamentos e por todo apoio na vida acadêmica.

Quero agradecer à toda minha família e novamente à probabilidade, né? Que sorte de ter nascido em famílias tão boas! Agradeço muito à vocês: Vó Iraci, Márcio, Raphael, Marina, Lela, Cynthia, Nessa, Tia Tânia, Tia Juçara.

E aqui, óbvio, que eu não poderia deixar de fazer uma menção especial ao meu irmão e primo, Felipe Gil. Você é meu melhor amigo desde que nasci!

E à minha melhor amiga desde o nascimento, Camillinha, muito obrigado e desculpa não ter te dado parabéns à alguns dias atrás, eu estava escrevendo este TCC e pensei em te presentear desta forma: Te amo, prima!

Agradeço também aos meus parceiros de turma, destacando-se os companheiros de Roteiro 3: Chico, Marquins, Guidin, Drico, Fernandinha, Gabizinha, Calvinito, Giovas, Amandinha, Neves. Em meio aos relatórios e dias de campo fizemos tantas músicas e compartilhamos tantas histórias de Campo I à Metamórfica.

Em especial, muito obrigado a Marcos e Adriano, por terem sido grandes amigos, conselheiros e ouvidos nas épocas mais difíceis .

Quero agradecer também aos companheiros de DAGEO: Mariah Vianna, Caio Gimenez, Elisinha, Santelli, Julinha, Dani Mozart, Leth, Roux, Pedrin, Smedo, Biro Biro, LP, P2, JC, Tainá, Naruto e Carlton. Obrigado por tantas canções e histórias que compartilhamos! Amo vocês! (Saíam da minha vila!)

Gostaria de agradecer aos professores do Departamento de Geologia: Kátia Mansur e Ciro Ávila por terem aberto às portas de seus laboratórios e me orientado. E aos membros da banca por seus muitos ensinamentos.

Gostaria de agradecer também ao meus camarada que estudou comigo no CEFET Química e até hoje cultivamos uma grande amizade, muito obrigado, Vovô.

Por fim, gostaria de agradecer à todos meus amigos mais próximos: Mitt, Dani Holopainen, Dudu, Cabeça, Pepeu, Mussa, Ilídio, Dani Gadret, Calvin, Diegão e Mari. Vocês são pessoas incríveis e me sinto honrado em ter tido grandes momentos com vocês.

Resumo

O conceito de geodiversidade foi cunhado pela primeira vez em meados dos anos de 1940, mas apenas a partir da década de 1990, após a Conferência Rio 92 sobre o clima global, que esse termo se tornou tema de estudo e, de fato, hoje representa um importante conceito para aqueles que estudam e trabalham pela preservação do patrimônio geológico. Mais recentes do que o conceito de geodiversidade são as pesquisas acerca de sua quantificação em escala de paisagem, estes estudos começaram a ser desenvolvidos ao final da última década, e por conta disto, um dos grandes desafios para o ramo é a consolidação de metodologias em diferentes escalas e variados parâmetros. Uma das metodologias para quantificar a geodiversidade em escala de paisagem que foi aplicada tanto no Brasil quanto em Portugal, foi a estimativa de densidade de Kernel (KDE). O método KDE consiste em três operações: sobreposição de mapas temáticos (*overlay*), geração de centróides (*feature to points*) e a análise de Kernel (*kernel analysis*). Este projeto tem como objetivo fornecer uma ferramenta (*toolbox*) através do software ESRI ArcGis© para a automatização do método de estimativa de densidade de Kernel (KDE). Foi realizada a avaliação quantitativa da geodiversidade do Parque Estadual da Pedra Branca (RJ), e para testar esta ferramenta foram analisados os mapas gerados variando diferentes parâmetros da análise de Kernel (tamanho das células e raio de pesquisa). Para tal, foram realizadas nove operações de KDE através desta ferramenta, todas geradas num período de um dia. Paralelamente, foi criada também outra ferramenta (*toolbox*) para a geração de dados morfométricos a partir de um modelo digital de elevação (MDE), estes produtos podem ser também utilizados em outros métodos para quantificação de geodiversidade. Para testar a aplicabilidade da ferramenta foram analisados três setores do Parque Estadual da Pedra Branca, nos quais são e foram realizados diversos projetos para a Geoconservação como levantamento de lugares de interesse geológico e construção de georrotas e rotas geoturísticas. Foram utilizados como parâmetros: litoestratigrafia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e estruturas geológicas; tamanho de célula = 15m e raio de pesquisa = 1500m. Esta metodologia se mostrou coerente para o Parque Estadual da Pedra Branca, e o desenvolvimento desta pesquisa teve como objetivo também contribuir para o desenvolvimento do Grupo de Estudos em Patrimônio Geológico – GEPG/UFRJ, apresentando ferramentas para otimização e distribuição de dados e processos através da Internet.

Palavras-chave: Geoconservação, Geoprocessamento, estimativa de densidade de Kernel, Parque Estadual da Pedra Branca, Avaliação Quantitativa da Geodiversidade

Abstract

The concept of geodiversity was first coined in the mid-1940s, but it was not until the 1990s, after the Rio 92 Conference on Global Climate, that this term became a subject of study and, in fact, today represents an important concept for those who study and work for the preservation of geological heritage. More recent than the concept of geodiversity is research on its quantification in country scale, these studies began to be developed at the end of the last decade, and because of this, one of the major challenges for the branch is the consolidation of methodologies in different scales and various parameters. One of the methodologies for quantifying landscape scale geodiversity that has been applied in both Brazil and Portugal was the Kernel Density Estimation (KDE). The KDE method consists of three operations: overlaying thematic maps, feature to points generation, and kernel analysis. This project aims to provide a toolbox using the ESRI ArcGis © software to automate the kernel density estimation method (KDE). A quantitative evaluation of the geodiversity of the Pedra Branca State Park (RJ) was performed. To test this tool, the data were analyzed for different parameters of the kernel analysis (cell size and search radius). For this, nine KDE operations were performed using this tool, all maps were generated within a period of one day. At the same time, another toolbox has been created for the generation of morphometric data from a digital elevation model (DEM). These products can also be used in other methods for geodiversity quantification. To test the applicability of the tool, three sectors of the Pedra Branca State Park were analyzed, in which various Geoconservation projects are carried out and carried out, such as surveying places of geological interest and the construction of geotourists and geotourism routes. The following parameters were used: lithostratigraphy, geomorphology, pedology, hydrography and geological structures; cell size = 15m and search radius = 1500m. This methodology proved to be coherent for the Pedra Branca State Park, and the development of this research also aimed to contribute to the development of the Geological Heritage Study Group - GEPG / UFRJ, presenting tools for data and process optimization and distribution through Internet.

Keywords: Geoconserving, Geoprocessing, Kernel density, estimation, Pedra Branca State Park, Quantitative assessment of geodiversity

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização do PEPB (Iwama et al., 2014).....	9
Figura 2: Localização da Província Mantiqueira no Contexto da Aglutinação do Supercontinente Gondwana. (Alkmin, 2004)	11
Figura 3: Compartimentação tectônica da Região SE brasileira	11
Figura 4: Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012, Arona, 2017)	12
Figura 5: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Kinzigito a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017).....	14
Figura 6: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Sillimanita-granada gnaisse a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017).....	15
Figura 7: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Complexo Rio Negro a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017).....	16
Figura 8: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Suíte Rosília a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017).....	17
Figura 9: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Suíte Suruí a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017).....	18
Figura 10: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Enxame de Diques da Serra do Mar a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017)	19
Figura 11: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Coberturas Sedimentares Cenozoicas a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano <i>et al.</i> , 2012; Arona, 2017)	20
Figura 12: Mapa Geomorfológico elaborado a partir de CPRM (2016)	21
Figura 13: Mapa Pedológico elaborado a partir de Embrapa (2004).....	23
Figura 14: Mapa Hidrológico a partir dos dados cedidos pelo LAGEPRO-UERJ	24
Figura 15: Localização dos trechos da Trilha Transcarioca no Parque Estadual da Pedra Branca (Fonte: www.trilhitranscarioca.com.br).....	25
Figura 16: Paisagem do Açude do Camomim (www.inea.rj.gov.br – Acesso em 09/07/2019)	26
Figura 17: Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) para o PEPB.....	30
Figura 18: Ilustração para demonstrar o funcionamento da ferramenta PRODUTOS MDE.....	31
Figura 19: Ilustração da operação de <i>overlay (union)</i>	33
Figura 20: Ilustração da operação de geração de centroides (<i>feature to points</i>).....	33
Figura 21: Equação da estimativa de densidade de Kernel (K é a Função de kernel, h é o raio de busca, u é a posição do centro de cada célula, ui é a posição da i-ésima amostra e n é o número total de eventos) .	34
Figura 22: Mapa Índice de Geodiversidade a partir do método KDE (cell: 15m e search radius: 1500)	34
Figura 23: Ferramenta Model Builder KERNEL-MAPA INDICE DE GEODIVERSIDADE	35
Figura 24: Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos Atrativos do PEPB selecionados para a análise do método KDE.	41
Figura 25: Agrupamento dos mapas temáticos com o Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos atrativos do setor nordeste do PEPB	42
Figura 26: Agrupamento dos mapas temáticos com o Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos atrativos do setor Leste - Centro-Leste do PEPB	43
Figura 27: Agrupamento dos mapas temáticos com o Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos atrativos do setor Sul do PEPB.....	44

Índice de Tabelas

Tabela 1: Resumo da Metodologia.....	
Tabela 2: Acervo digital para a Geodiversidade do PEPB.....	
Tabela 3: Análises realizadas com o parâmetro <i>search radius</i> fixado em 1500m.....	40
Tabela 4: Análises realizadas com os parâmetros <i>cell</i> 5m e 15m.....	41

Índice de Siglas

PEPB – Parque Estadual da Pedra Branca

UC – Unidade de Conservação

INEA (RJ) – Instituto Estadual do Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SMAC (RJ) – Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Rio de Janeiro

CPRM – Serviço Geológico Brasileiro

GIS ou SIG – *Geographical Information System* ou Sistema de Informação Geográfica

KDE – *Kernel Density Estimative* (Estimativa de Densidade de Kernel)

EDSM – Enxame de Diques da Serra do Mar

MDE ou DEM – Modelo Digital de Elevalcao (ou *Digital Elevation Model*)

TT – Trilha Transcarioca

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1 A Geoconservação e a Evolução do Conceito de Geodiversidade	4
3.2 Os Métodos de Avaliação da Geodiversidade e Justificativa do Estudo	6
4. ÁREA DE ESTUDO	9
4.1 Geologia Regional.....	9
4.2 A Geodiversidade do Parque Estadual da Pedra Branca.....	12
4.3 Atrativos do Parque Estadual da Pedra Branca	26
5. METODOLOGIA	27
5.1 Compilação da Base de Dados	28
5.2 Processamento dos Dados.....	29
5.2.1 Geração de Produtos do MDE	29
5.2.2 Geração do Mapa Índice de Geodiversidade.....	32
5.2.3 Ferramenta KERNEL – MAPA ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
7. CONCLUSÃO	45
REFERENCIAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

A Geoconservação tem como objetivo a preservação da diversidade natural (ou geodiversidade) de significativos aspectos e processos geológicos (substrato), geomorfológicos (formas de paisagem) e de solo, mantendo a evolução natural (velocidade e intensidade) desses aspectos e processos (Sharples, 2002). Brilha (2005) sugere que a geoconservação não pode ser definida fundamentalmente por conta da manutenção da biodiversidade, mas porque a geodiversidade, por si só, apresenta diversos valores, onde o autor destaca o valor intrínseco, na qual o valor da geodiversidade deve ser avaliado mesmo que esta não se encontre diretamente associada a qualquer forma de vida.

Embora o termo “geodiversidades” tenha sido cunhado pela primeira vez na década de 1940 pelo geógrafo argentino Federico Alberto Dias, os conceitos para a geodiversidade na forma que entende-se hoje nasceram na década de 1990, após a Cúpula da Terra, durante a Conferência Rio 92 (Rojas, 2005; Serrano & Ruiz-Flaño, 2007a,b), e esta hoje é definida por diversos autores (Forte, 2014; Santos *et al.*, 2017; Forte *et al.*, 2018) como uma ferramenta para a gestão territorial de áreas protegidas, sendo um termo a ser utilizado em complemento à biodiversidade compondo a diversidade natural.

Muitas das primeiras definições para a geodiversidade (Sharples, 1995; Johansson *et al.*, 1999; Nieto (2001); Australian Heritage Commission, 2002), de certa forma, limitavam este termo à variedade (diversidade) geológica, destacando os processos, estruturas e materiais geológicos. Definições mais amplas (Eberhart, 1997) foram desenvolvidas em paralelo às mais limitantes, mas foi a partir do conceito de geodiversidade proposto por Gray (2004) que o conceito de geodiversidade se tornou amplo, integrador e aplicável, sendo um importante passo para a consolidação das bases conceituais deste termo. Neste sentido, surgiram novas propostas para definição da geodiversidade ainda mais amplas que incluíam na geodiversidade as contribuições (negativas ou positivas) da atividade humana (Kozłowski, 2004; Rojas-Lopez, 2005; Serrano & Ruiz-Flaño, 2007a,b). Em contraponto à estas concepções alguns autores destacam que a inclusão das atividades humanas no conceito da geodiversidade poderiam ser prejudiciais à aplicação prática do conceito (Carcavilla *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2013; Santos, 2016), enquanto outros veem que a inclusão da atividade humana seria indevida, pois as principais ameaças à própria geodiversidade originam-se da atividade humana, direta ou indiretamente (Brilha, 2005). Este trabalho utiliza a definição de Gray (2013) para a geodiversidade, na qual esta é definida como “a variedade natural (diversidade) de características geológicas (rochas, minerais e fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, topografia, processos físicos), pedológicas e hidrológicas. Incluindo suas assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para a paisagem”.

Lucchesi & Giardino (2012) destacam a avaliação da geodiversidade como uma ferramenta que pode vir a ser muito relevante para o aumento da conscientização sobre o papel da geodiversidade no desenvolvimento humano e em estudos ecológicos, territoriais e de

paisagem. Entretanto, enquanto o conceito de geodiversidade, apesar de recente, já apresenta base conceitual sólida (Gray, 2008), os trabalhos acerca dos métodos para a quantificação da geodiversidade ainda estão em processo de desenvolvimento desde o final da década passada (Serrano & Ruiz-Flaño, 2007; Hjort & Luoto, 2010; Pereira *et al.* 2013). Um dos maiores desafios é a dificuldade na criação de modelos capazes de serem implementados em diferentes áreas. Santos *et al.*, 2017 destacam que a maioria das propostas metodológicas são, em sua realidade, adaptações de outros métodos utilizados em áreas específicas. Os autores também destacam que métodos quantitativos como Forte (2014), que utiliza o método de estimativa de densidade de Kernel para gerar mapas índices de geodiversidade, se apresentam como metodologias que podem ser replicadas em diferentes áreas.

Por conta disto, este trabalho tem como objetivo fornecer uma ferramenta para o software ESRI ArcGis© versão 10.4.1, criada através do Model Builder®, para a otimização na geração de mapas de índice de geodiversidade através da estimativa de densidade de Kernel (KDE) (Forte, 2014; Forte *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2019). Com base nesta ferramenta foram elaborados nove diferentes mapas de índice de geodiversidade, a geração de cada mapa através desta ferramenta demanda poucos minutos. A facilidade na geração destes mapas ocorre pois o Model Builder® permite a construção de uma ferramenta com layout inteligente, na qual as operações com os mapas temáticos e os parâmetros para a operação do método KDE (tamanho da célula e raio de pesquisa) são visualizados em uma única janela sendo realizado um único processo. Através desta ferramenta deixa-se de gerar dois sub-produtos (mapa de sobreposição de polígonos e mapa de centróides).

A construção de ferramentas que facilitam a visualização dos dados em ambiente GIS apresenta-se como uma potencial contribuição do geoprocessamento para a avaliação quantitativa da geodiversidade pois permite que em um único processo, testar a relação de escala dos mapas temáticos com os parâmetros do KDE. Além disso, foi construída e utilizada para a elaboração dos mapas de índice de geodiversidade e mapas de áreas de estudo uma outra ferramenta, também através do Model Builder®, que através de modelo digital de elevação, em uma operação geram-se os parâmetros morfométricos: aspecto, relevo sombreado, declividade e curvatura.

2. OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo geral a construção de uma ferramenta (*toolbox*) para o software ESRI ArcGis© versão 10.4.1 através do Model Builder® capaz de otimizar os processos necessários para a geração de mapas de índice de geodiversidade através da estimativa de densidade de Kernel (KDE) no Parque Estadual da Pedra Branca (RJ).

De forma complementar foram considerados objetivos específicos:

- i) compilação de um acervo digital com uma base de dados de geodiversidade do PEPB em SIG;
- ii) construção de uma *toolbox*, também através do Model Builder®, para a extração de atributos topográficos (aspecto, relevo sombreado, declividade, curvatura) através de um modelo digital de elevação (MDE), cujos produtos podem ser utilizados em métodos quantitativos para a geodiversidade indiretos;
- iii) testar a funcionalidade da ferramenta através da geração de quinze mapas índices de geodiversidade através do método KDE, analisando o tamanho dos mapas (em gigabytes) e a qualidade gráfica relativa entre os mapas gerados;
- iv) avaliação da geodiversidade em três setores do PEPB através da sobreposição de pontos referentes a locais de interesse geológico (Araujo *et al.*, 2017; Arona, 2017) com um dos mapas índices gerados

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A Geoconservação e a Evolução do Conceito de Geodiversidade

Nos anos de 1940, o geógrafo argentino Federico Alberto Daus utilizou o termo "Geodiversidades" para representar um mosaico de paisagens e diversidades em determinados locais, na qual o termo se referia à diversidade geográfica dos lugares, municípios e regiões, com especificidade em habitats humanos. (Rojas, 2005).

O conceito de geodiversidade como o componente abiótico da diversidade natural se origina após a conferência Rio 92 (Serrano & Ruiz Flaño, 2007 a,b). Uma das primeiras definições para o conceito de geodiversidade foi de Eberhard (1997), onde o autor define o termo como “a diversidade natural entre aspectos geológicos, do relevo e dos solos”.

Ainda assim, algumas das primeiras concepções sobre o termo trazem a geodiversidade para designar a diversidade geológica. Sharples (1995), Johansson et al. (1999), Nieto (2001) e a Australian Heritage Commission (2002) definem o termo conforme abaixo:

- **Sharples (1995)** – “a variedade (ou diversidade) de características geológicas (bedrocks), geomorfológicas (formas de relevo) e solos, assembleias, sistemas e processos”.
- **Johansson et al. (1999)** – “variedade do substrato rochoso, depósitos, formas do terreno, e processos geológicos que formam as paisagens”.
- **Nieto (2001)** – “o número e a variedade de estruturas e materiais geológicos, que constituem o substrato físico natural de uma região, na qual se estabelece a atividade orgânica, incluindo a antrópica”.
- **Australian Heritage Commission (2002)** – embora seja parecida com a definição de Sharples (1995), esta definição além de incorporar os fósseis, esta adiciona à geodiversidade a ideia que o ambiente no qual as rochas estão submetidas deva ser abrangido pela definição. Neste conceito a Geodiversidade é definida como “a variedade natural (diversidade) de características geológicas (“bedrock”), geomorfológicas (formas de relevo) e solos, assembleias, sistemas e processos. Inclui evidência do passado, ecossistemas e ambientes da história da Terra assim como uma variedade de processos atmosféricos, hidrológicos e biológicos agindo atualmente sobre as rochas, relevo e solos”.

De acordo com CPRM (2008), o conceito de geodiversidade no Brasil foi desenvolvido de forma simultânea a outros países, porém, ressaltando-se, aqui, um caráter mais aplicado ao planejamento territorial, ainda que os estudos voltados para a geoconservação não sejam desconsiderados. Xavier da Silva *et al.*, (2001) definem geodiversidade a partir da “variabilidade das características ambientais de uma determinada área geográfica”, cabendo ao pesquisador, com base em um estudo sistemático de enorme massa de dados ambientais disponíveis em base de dados georreferenciada, a seleção das variáveis que melhor determinam a geodiversidade em cada local”. Veiga (1999), por sua vez, enfatiza o estudo das águas superficiais e subterrâneas nos estudos de geodiversidade. Para o autor, a geodiversidade “expressa as particularidades do meio físico, compreendendo as rochas, o relevo, o clima, os solos e as águas, subterrâneas e superficiais, e condiciona a morfologia da paisagem e a diversidade biológica e cultural”. O estudo da geodiversidade é, em sua opinião, uma ferramenta imprescindível de gestão ambiental e norteador das atividades econômicas.

Gray (2004) apresenta o conceito numa visão mais ampla e integrada, incluindo características além das geológicas, geomorfológicas e pedológicas. As definições de Brilha (2005), reconhecida pela *Royal Society for Nature Conservation* e do Serviço Geológico Brasileiro – CPRM (2006) seguem este ponto de vista mais amplo:

- **Gray (2004)** – em uma definição mais ampla e integrada, o autor define a Geodiversidade como: "o alcance natural da diversidade de características geológicas (rochas, minerais e fósseis), características geomorfológicas (formas terrestres e processos) e solos, incluindo suas relações, propriedades, interpretações e sistemas".
- **Brilha (2005)** – de maneira geral, esta definição amplifica a importância da geodiversidade, tratando-a como suporte da biodiversidade. Esta definição se apresenta interessante para o desenvolvimento de estudos sobre a diversidade natural. A geodiversidade é definida como a “variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são suporte para a vida na Terra”
- **Serviço Geológico do Brasil (2006)** – define a geodiversidade como “o estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo

e o turístico”.

As definições de Kozłowski (2004) e Serrano & Ruiz Flaño (2007a,b) e Rojas-López (2005) também seguem este ponto de vista:

- **Kozłowski (2004)** – "a variedade natural da superfície terrestre, referente a aspectos geológicos e geomorfológicos, solos, águas superficiais, bem como outros sistemas criados como resultado dos processos naturais (exógenos e endógenos) e da atividade humana".
- **Rojas-López (2005)** – “diversidade que vem da própria natureza (meio fisiogeográfico) e o que vem de processos sociais, como produção, liquidação e circulação (homem e suas atividades)”.
- **Serrano & Ruiz Flaño (2007a,b)** – apresentam geodiversidade como a “variabilidade da natureza abiótica, incluindo elementos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, topográficos e processos físicos na superfície terrestre e nos mares e oceanos, juntamente com sistemas gerados por processos naturais, endógenos e exógenos, e humanos, que abrangem a diversidade de partículas, elementos e lugares”.

Santos *et al.*, (2017) destaca que a definição de Gray (2013), ao não incluir a influência antrópica; e restringindo-a à variedade natural, facilita a aplicação em estudos práticos e também a compreensão do termo.

- **Gray (2013)** – define geodiversidade como a “variedade natural (diversidade) de características geológicas (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicas (formas de relevo, topografia, processos físicos), pedológicas e hidrológicas. Inclui suas assembleias, estruturas, sistemas e contribuições para paisagens”.

3.2 Os Metodos de Avaliação da Geodiversidade e Justificativa do Estudo

O desenvolvimento de uma metodologia de quantificação que considere os vários elementos da geodiversidade e sua variabilidade espacial ainda está em processo de implementação (Pereira *et al.* 2013), na qual o desenvolvimento de métodos para avaliar a geodiversidade pode aumentar a conscientização acerca da importância da geodiversidade para a sociedade e em estudos ecológicos, territoriais e de paisagem. (Lucchesi & Giardino, 2012). Nesta perspectiva, as técnicas de indexação e mapeamento da geodiversidade podem

desempenhar um importante papel para o turismo, gestão de áreas protegidas e proteção do patrimônio geológico (Zwolinsky *et al.*, 2018)

Os índices tem como objetivo representar a intensidade de uma determinada característica (ou componente) ou um conjunto de características de um ambiente natural. O objetivo principal do uso de índices é reduzir a quantidade de dados e aumentar a comparabilidade dos resultados para áreas de pesquisa tipológica semelhantes. Dentre os mapas de índices mais utilizados, destaca-se o mapa de índices de geodiversidade (Macias e Bródka, 2014 apud Zwolinsky *et al.*, 2018).

Embora trabalhos como Xavier-da-Silva *et al.*, (2001) tenham sido realizados antes de 2007, este ano é considerado o marco inicial dos estudos para a definição de metodologias quantificação da geodiversidade (Forte, 2014). Isto se deu após o desenvolvimento da fórmula proposta por Serrano & Ruiz-Flaño, (2007a,b):

$$Gd = Eg * R / \ln (S),$$

Onde: Gd = Índice de Geodiversidade; Eg = Número dos diferentes elementos físicos das unidades (geologia, geomorfologia, pedologia, hidrografia, paleontologia, mineralogia etc); R = Coeficiente de rugosidade da unidade; S = Área superficial da unidade (km²).

Hjort & Luoto (2010) utilizaram a fórmula de Serrano & Ruiz-Flaño para o cálculo da geodiversidade em conjunto com um sistema de quadriculas (“Grid”). O uso de quadriculas possibilita o estudo de unidades em uma mesma dimensão e a utilização de variáveis matemáticas ao invés de variáveis espaciais.

Pereira *et al.* (2013), desenvolveram um mapa de Índice de Geodiversidade para o Estado do Paraná utilizando os seguintes elementos como parâmetros: Geologia, Geomorfologia, Paleontologia, Pedologia e Ocorrências minerais. Nesta metodologia, para cada parâmetro é calculado um sub-índice de geodiversidade e o mapa de Índices é gerado através da soma destes sub-índices. O mapa Índice de Geodiversidade, segundo o autor, é importante para a gestão territorial (manejo, uso e ocupação) ao indicar as áreas com alta geodiversidade considerando diferentes elementos do meio físico.

Pellitero *et al.* (2014) classificam os métodos de quantificação da geodiversidade em duas classes: métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos são aqueles nos quais os cálculos são gerados partir de mapas temáticos, cujos parâmetros são elementos da geodiversidade (padrões de relevo, litologia, tipos de solo etc.). A vantagem dos métodos diretos vem pela

simplicidade nos cálculos e exatidão dos resultados; e como desvantagem, estes métodos exigem mais trabalho para distinguir as classes, desta forma, estes métodos não são indicados para áreas muito extensas. As metodologias indiretas são aquelas utilizadas para avaliar a geodiversidade de áreas muito extensas (como parte de um país ou continente). Seu cálculo é mais complexo e requer maior capacidade de computação. E além disto, qualquer polarização nos dados originais, por exemplo, um modelo de elevação digital (DEM) indevidamente referenciado ou uma cobertura cuja escala não é coerente com o resto dos dados pode levar a resultados anormais.

Forte (2014) e Forte *et al.*,(2018) abordam o método de estimativa de densidade de Kernel (KDE) para a quantificação da geodiversidade nos municípios de Mafra (Portugal) e Morro do Chapéu (BA), segundo os autores este método possibilita o uso de mapas índices de geodiversidade na gestão territorial em escala municipal, sendo um método direto de avaliação da geodiversidade que possibilita o uso de inúmeras variáveis como variedade de minerais, fósseis, rochas, formas de relevo e solos para uma determinada área.

Os Sistemas de Informação Geográfica (GIS ou SIG) potencializaram as formas de analisar e processar os dados com maior diversidade e volume de informação (Xavier-da-Silva *et al.*, 2001), e neste sentido, a escolha dos critérios a serem avaliados (mapas temáticos) e as escalas constituem-se como os principais desafios na definição de uma metodologia de avaliação da geodiversidade (Forte, 2014; Pellitero *et al.*,2014).

Neste trabalho foram desenvolvidas ferramentas que podem ser utilizadas tanto para métodos indiretos quanto diretos, visando otimizar o processo de geração de mapas índices de geodiversidade através do método de estimativa de densidade de Kernel (KDE) descrito por Forte *et al.*,(2018) contribuindo para este processo de desenvolvimento de metodologias.

4. ÁREA DE ESTUDO

O Parque Estadual da Pedra Branca é uma Unidade de Conservação (UC) situada na Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro. O Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB), criado pela Lei Estadual nº 2.377, de 28 de junho de 1974 e abrange todas as áreas situadas acima da cota de 100 metros do Maciço da Pedra Branca. Nele encontra-se o ponto culminante do município do Rio de Janeiro, o Pico da Pedra Branca, com 1.024 metros de altitude. O PEPB integralmente localizado na cidade do Rio de Janeiro (Figura 1) ocupando cerca de 12.400 hectares, o que lhe garante o título de maior unidade de conservação do município (SMAC, 2009).

Neste capítulo será abordada brevemente o contexto geológico na qual o município do Rio de Janeiro está inserido e serão apresentadas as unidades litoestratigráficas e demais mapas temáticos (geomorfológico, pedológico e hidrográfico) elaborados para a avaliação quantitativa da geodiversidade.

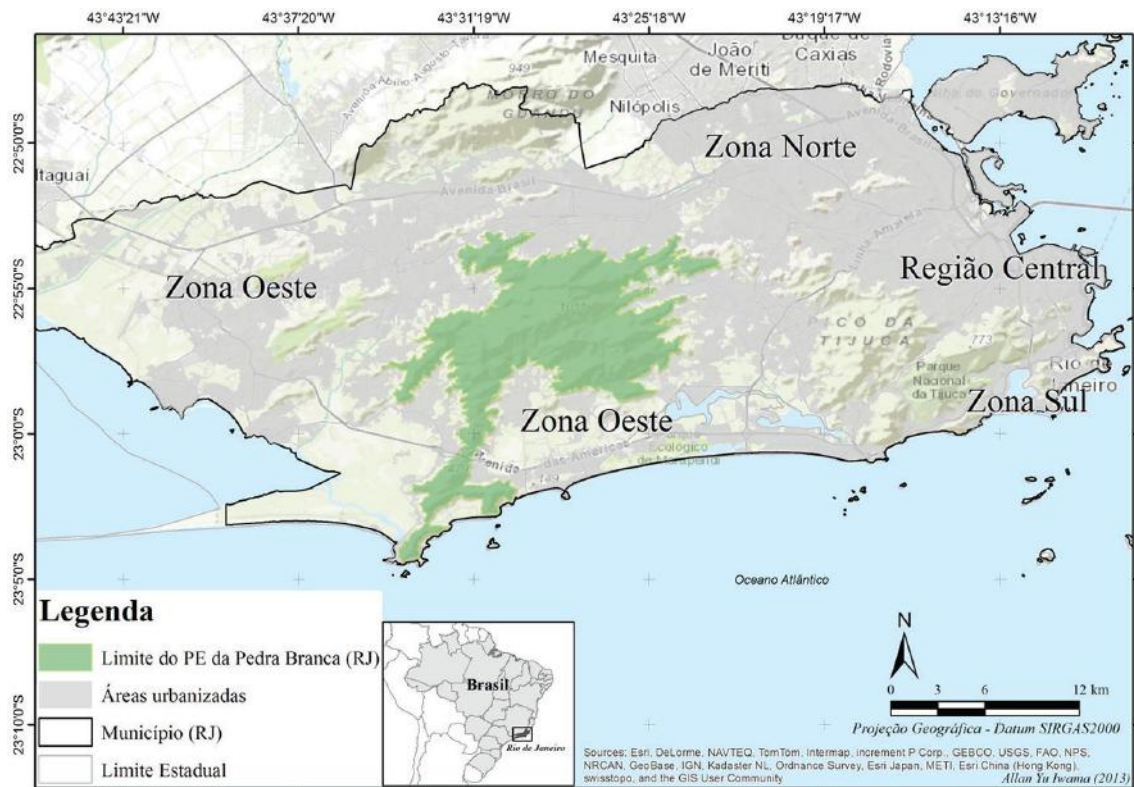


Figura 1: Mapa de Localização do PEPB (Iwama et al., 2014)

4.1 Geologia Regional

A cidade do Rio de Janeiro está inserida no Terreno Oriental da Faixa Ribeira, porção central da Província Mantiqueira (Figura 2). A Província Mantiqueira é um sistema orogênico com direção NE ao longo da costa S-SE do Brasil cuja subdivisão tectono-estratigráfica de Província segue: a) rochas do Embasamento mais antigas que 1.7 G.a., b) sucessões intracrâtonicas paleoproterozoicas a mesoproterozóicas, c) sucessões de margem passiva neoproterozóicas, d) arcos magmáticos associados a configurações de margem continental intraoceânica e ativa (790 M.a. a 585 M.a.), e) granitóides sin-colisionais relacionados a diferentes episódios colisionais, f) sucessões sedimentares orogênicas tardias e magmatismo bimodal relacionado. Na região central da Província Mantiqueira está situado o cinturão orogênico denominado faixa Ribeira (Valeriano *et al.*, 2012).

A faixa Ribeira está compartimentada em seis domínios estruturais distintos: Domínio Andrelândia autóctone, Domínio Andrelândia alóctone, Domínio Juiz de Fora, Klippe Paraíba do Sul/Embu, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio. O Terreno Oriental aflora na porção mais leste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 3), em geral, este domínio apresenta sucessões metavulcano-sedimentares com grau de metamorfização variando entre anfíbolito alto e granulito, e também diversas gerações de intrusões granitoides como as do Complexo Rio Negro, cujas rochas são pertencentes ao chamado Arco Magmático Rio Negro. Não são encontradas nessa área litologias do embasamento, sendo a unidade basal, mais antiga, considerada, os Gnaisses Kinzigíticos da Unidade São Fidélis (Valeriano *et al.*, 2012).

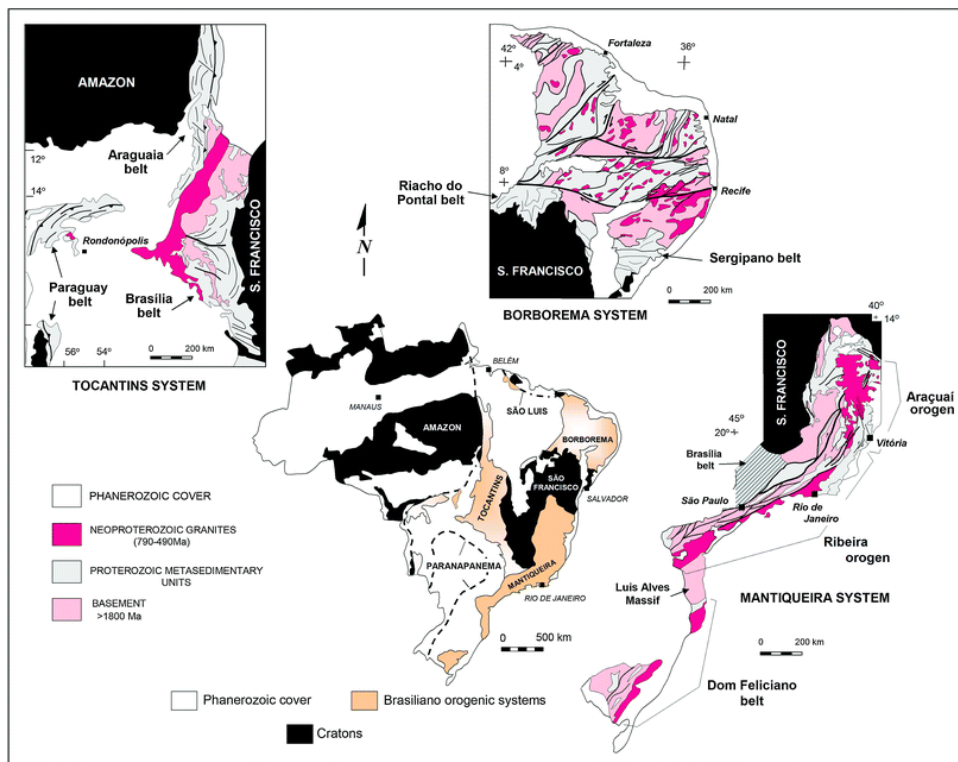


Figura 2: Localização da Província Mantiqueira no Contexto da Aglutinação do Supercontinente Gondwana. (Alkmin, 2004)

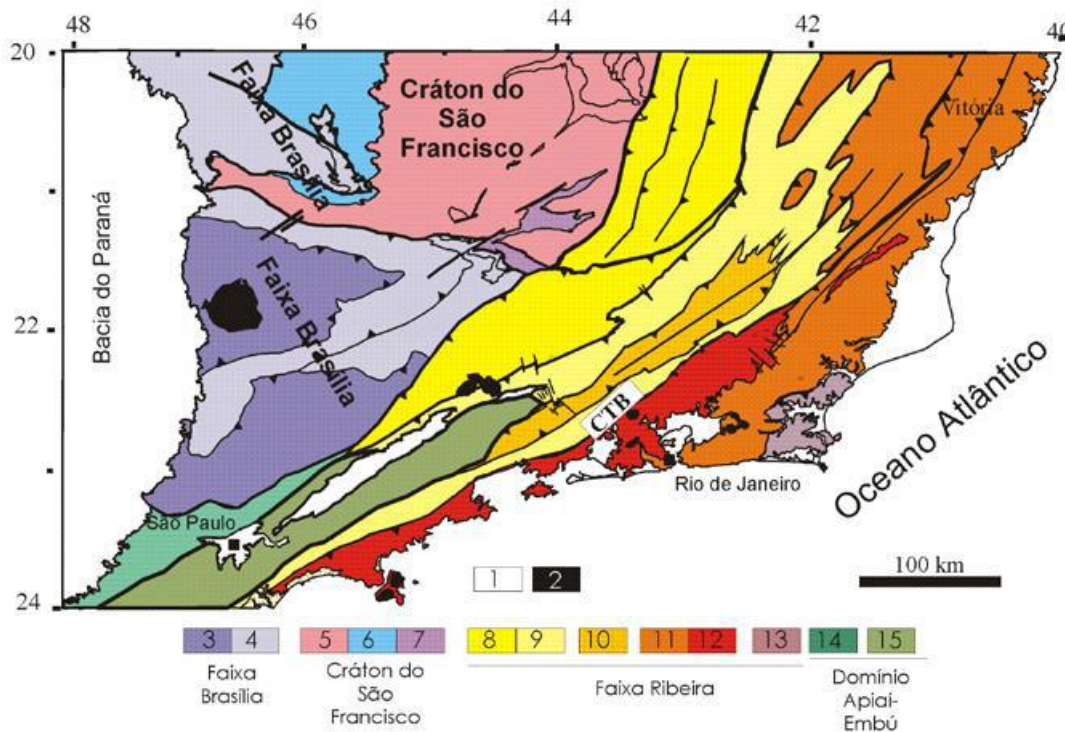


Figura 3: Compartimentação tectônica da Região SE brasileira

Legenda para os terrenos da Faixa Ribeira: 8 e 9 – Domínios Andrelândia e Juiz de Fora do Terreno Ocidental;

10- Terreno Paraíba do Sul; 11 e 12 – Terreno Oriental, com o Arco Magmático Rio Negro discriminado (11);

13 – Terreno Cabo Frio (Heilbron et al., 2004)

4.2 A Geodiversidade do Parque Estadual da Pedra Branca

4.2.1 Geologia do PEPB

O PEPB está em sua maioria contido na carta geológica Baía de Guanabara (Figura 4), que foi mapeada em escala 1:50.000 e distribuída pela CPRM em escala 1:100.000 (Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017).

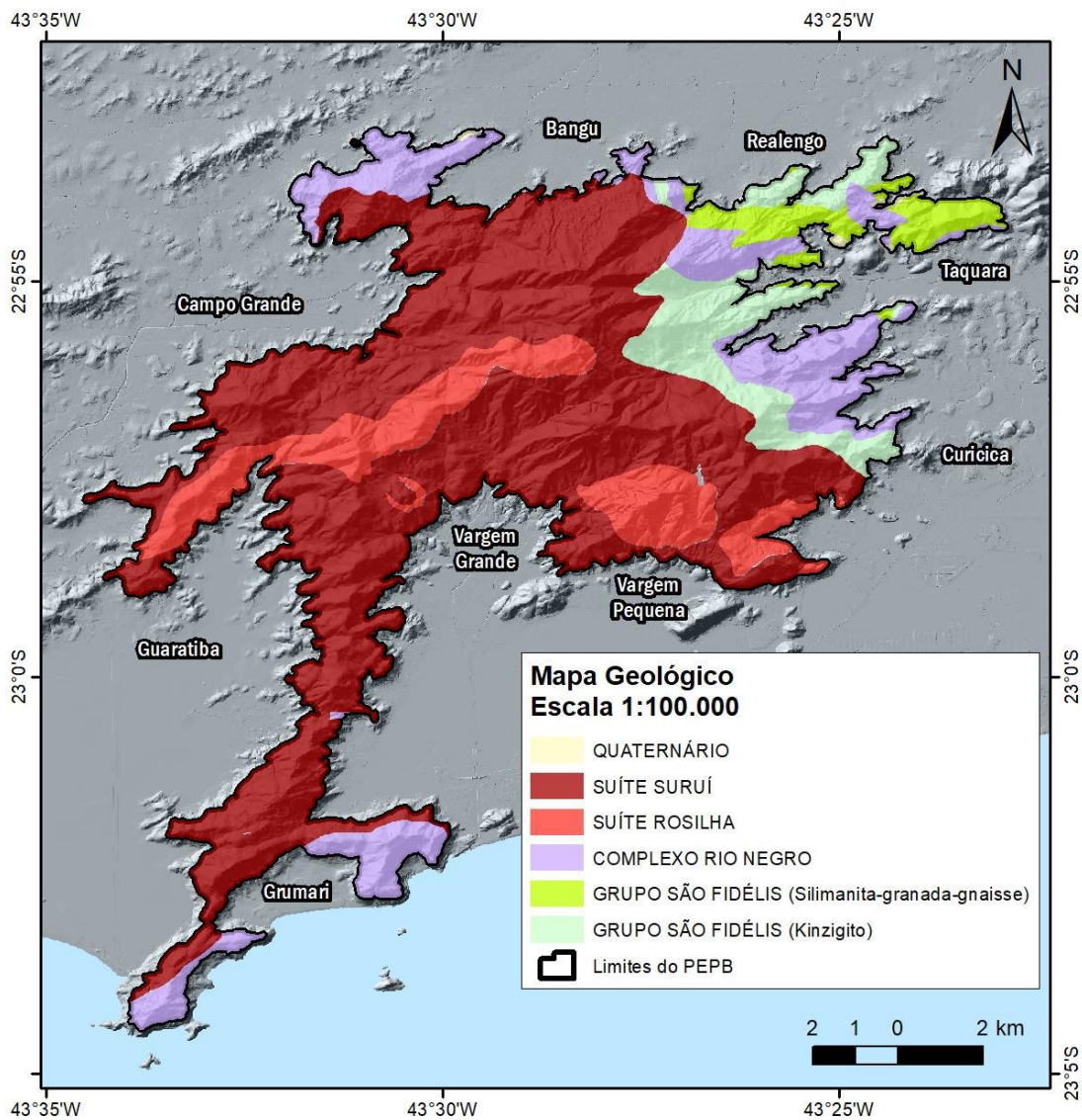


Figura 4: Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012, Arona, 2017)

A área apresenta as seguintes unidades litoestratigráficas: Grupo São Fidélis (kinzigito), Grupo São Fidélis (Sillimanita-granada gnaiss), Complexo Rio Negro, Suíte Rosilha, Suíte Suruí e Coberturas Sedimentares Cenozóicas (Quaternário).

4.2.1.1 Grupo São Fidélis

O Grupo São Fidélis compreende a sequência metassedimentar proterozoica (Valeriano *et al.*, 2012; Tupinamba *et al.*, 2012) um conjunto de gnaisses pré-colisionais amplamente migmatizados e bandados. Trata-se de rochas de origem sedimentar, especialmente pelítica, portadoras de granada e sillimanita, o que permitiu a correlação com outras unidades presentes no Terreno Oriental da faixa Ribeira. As rochas do grupo São Fidélis têm vasta ocorrência na porção meridional da folha, sendo percorridas na Trilha, em grande parte dos caminhos no PNT, estendendo-se em direção à zona oeste, nas bordas da Pedra Branca (PEPB). São consideradas as rochas mais antigas da área, com idade mínima de sedimentação em 660-631 M.a., marcada em paragnaisses. Foram intrudidas pelos magmatismos posteriores, do arco Rio Negro, os plutonismos granitoides colisionais da faixa Ribeira e o material toleítico final do Mesozoico, da abertura do Atlântico. A unidade é subdividida em áreas de predominância de kinzigito ou sillimanita granada biotita gnaisse.

4.2.1.1.1 Grupo São Fidelis (Kinzigito)

A literatura refere-se ao litotipo como kinzigito ou gnaisse kinzigítico (Figura 5). Trata-se de gnaisses homogêneos ou finamente estratificados de cor cinza-escuro-azulada, com regular presença de veios/bolsões lenticulares de material leucossomático rico em granada, cordierita e/ou sillimanita. Na Folha Baía de Guanabara, o conjunto possui breve ocorrência em trecho mapeado do PEPB, sem a identificação de boas exposições, no entanto (Arona, 2017)

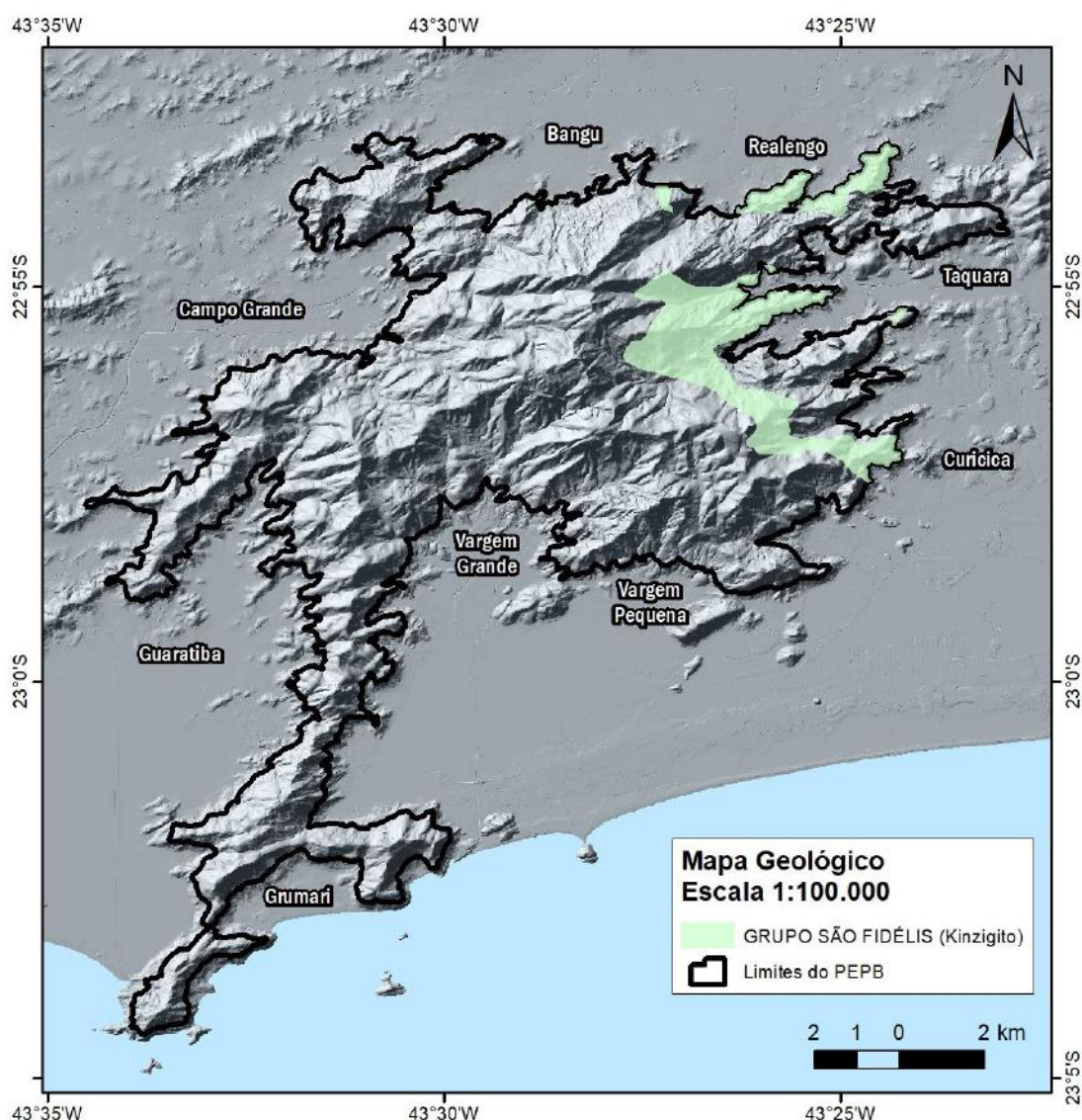


Figura 5: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Kinzigito a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.1.1.2 Grupo São Fidélis (Sillimanita-granada gnaiss)

Neste conjunto (Figura 6) predomina sillimanita granada biotita gnaisses quartzofeldspáticos, geralmente em bandas de concentração de biotita versus quartzo e feldspato. Texturas migmatíticas também são comuns. O paragnaisse exibe, caracteristicamente, camadas/lentes até métricas de quartzito feldspático (com biotita, muscovita e localmente grafita), passíveis de espessamento pelo dobramento sofrido. Outras lentes também são notáveis no território, como calcissilicáticas e anfibolito.

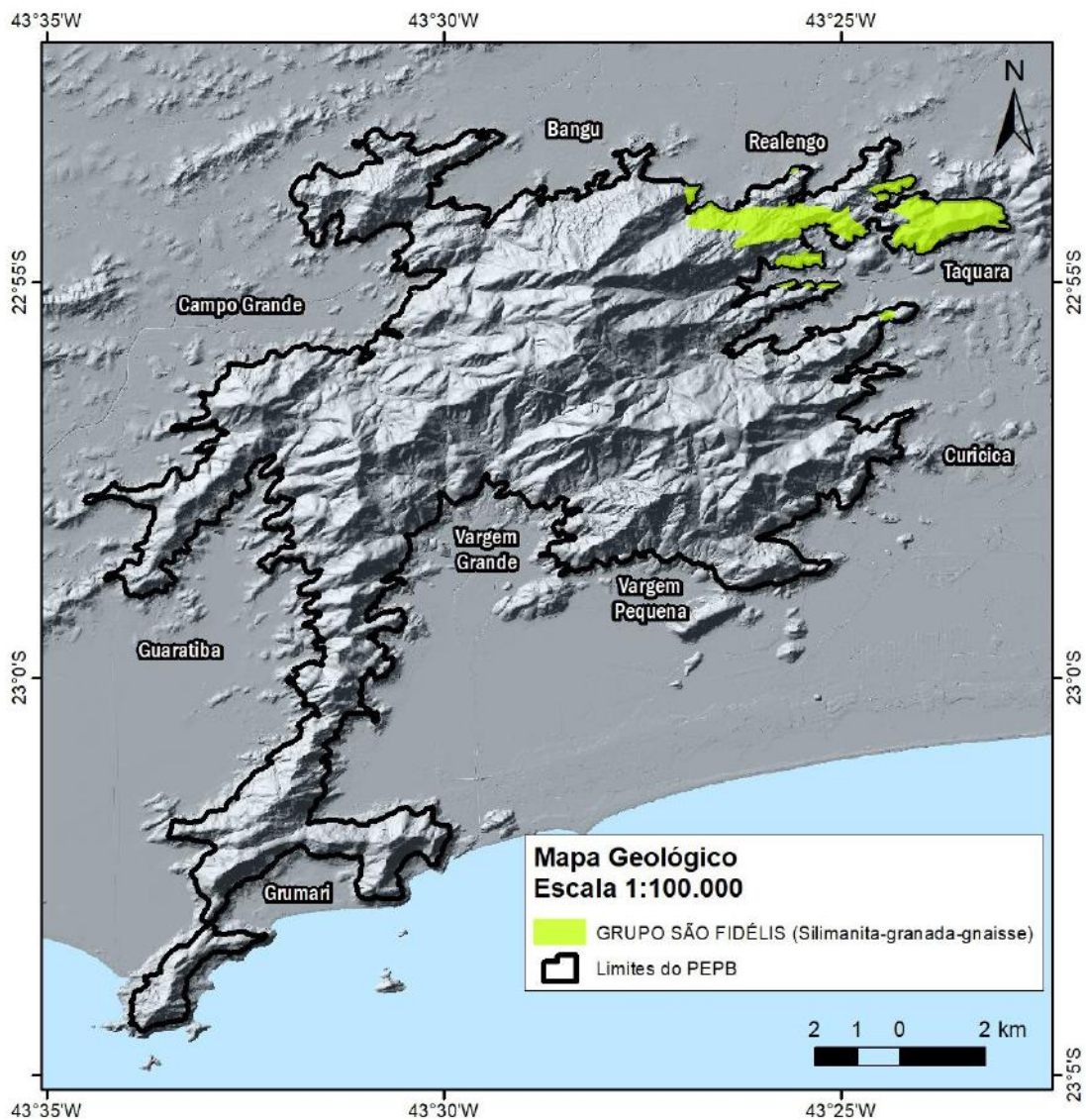


Figura 6: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Sillimanita-granada gnaiss a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.1.3 Complexo Rio Negro

Inicialmente definido como Unidade Rio Negro, o conjunto foi redesignado Complexo Rio Negro (Figura 7) como conjunto de gnaisses e granitoides (diorito, tonalito gnaiss, leucogranito e gnaiss porfiróide) cujo caráter magmático seria indubitável e compatível a um arco. Quando bandados atribui-se o fenômeno a segregação metamórfica. Fácies migmatizadas são frequentes e por vezes associam-se a rochas anfibolíticas, ora como melanossoma, ora intrusivas no migmatito (Valeriano *al.*,2012; Porto Jr., 2003). As rochas do Complexo Rio Negro apresentam evolução deformacional policíclica com complexa estruturação. Datações U-Pb em zircões (TIMS) realizadas em gnaisses tonalíticos a norte da Folha Baía de Guanabara

apontam para idades de 620 +/- 20 e 635 +/- 10 M.a. (VALERIANO *et al.*, 2012). O trabalho de Porto Jr. (2003) ainda indica que a confecção de mapas de detalhe permitiu estabelecer a relação hierárquica de seus litotipos e, por conseguinte, um enquadramento estratigráfico da unidade.

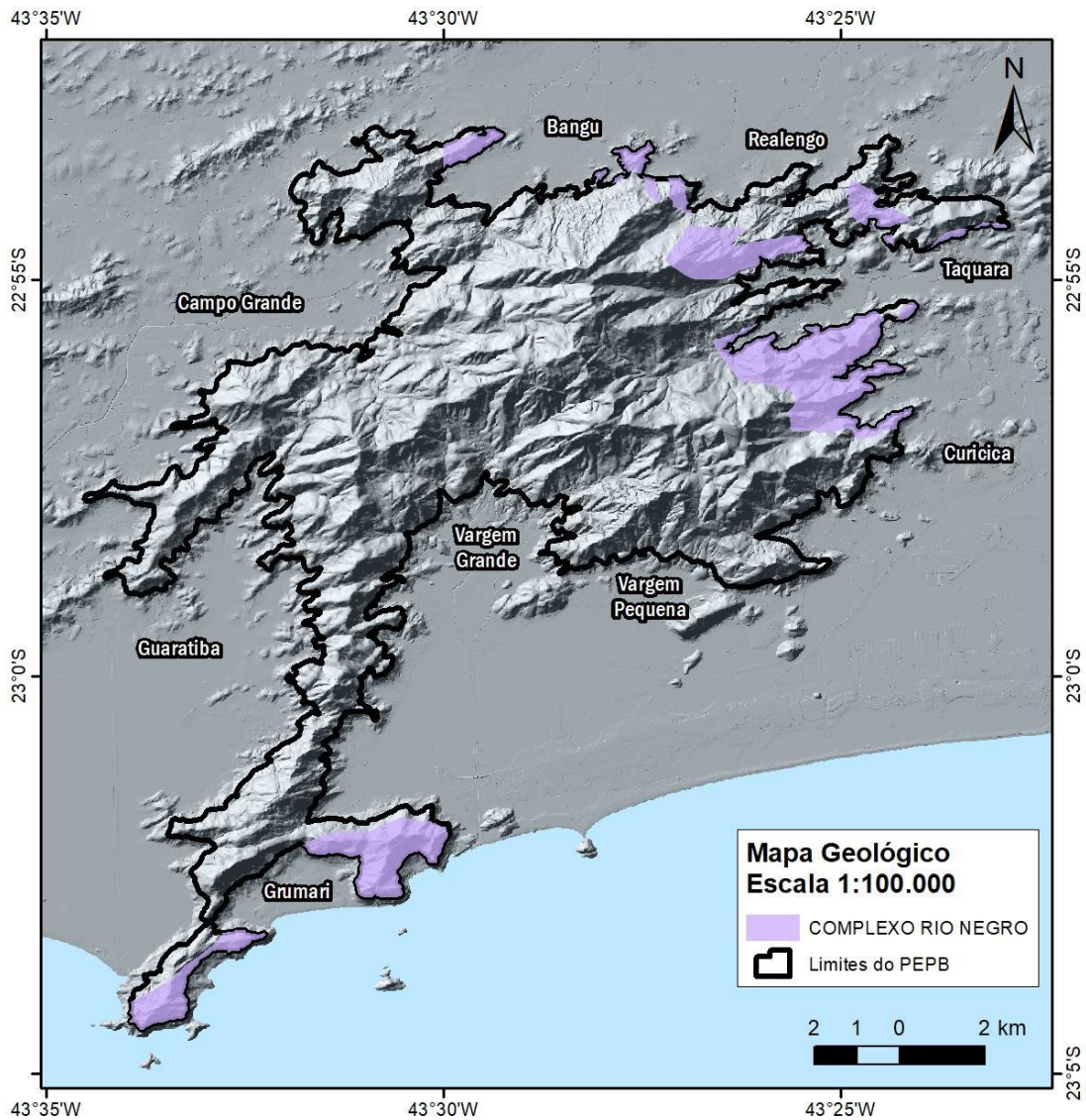


Figura 7: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Complexo Rio Negro a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.1.4 Suíte Rosília

A Suíte Rosília (Figura 8) é uma unidade litoestratigráfica descrita originalmente por Esteves (2004) como um conjunto de rochas granitóides de variação composicional expandida. Pode ser subdividida com base no reconhecimento de suas características mineralógicas, texturais e estruturais, aliadas às suas relações de contato com as rochas encaixantes (gnaisses

ortoderivados). São reconhecidos na Suíte Rosilha os seguintes litotipos: o Diorito Sulacap, o Tonalito Tachas e o Granodiorito Rosilha. (Valeriano *et al.*, 2012)

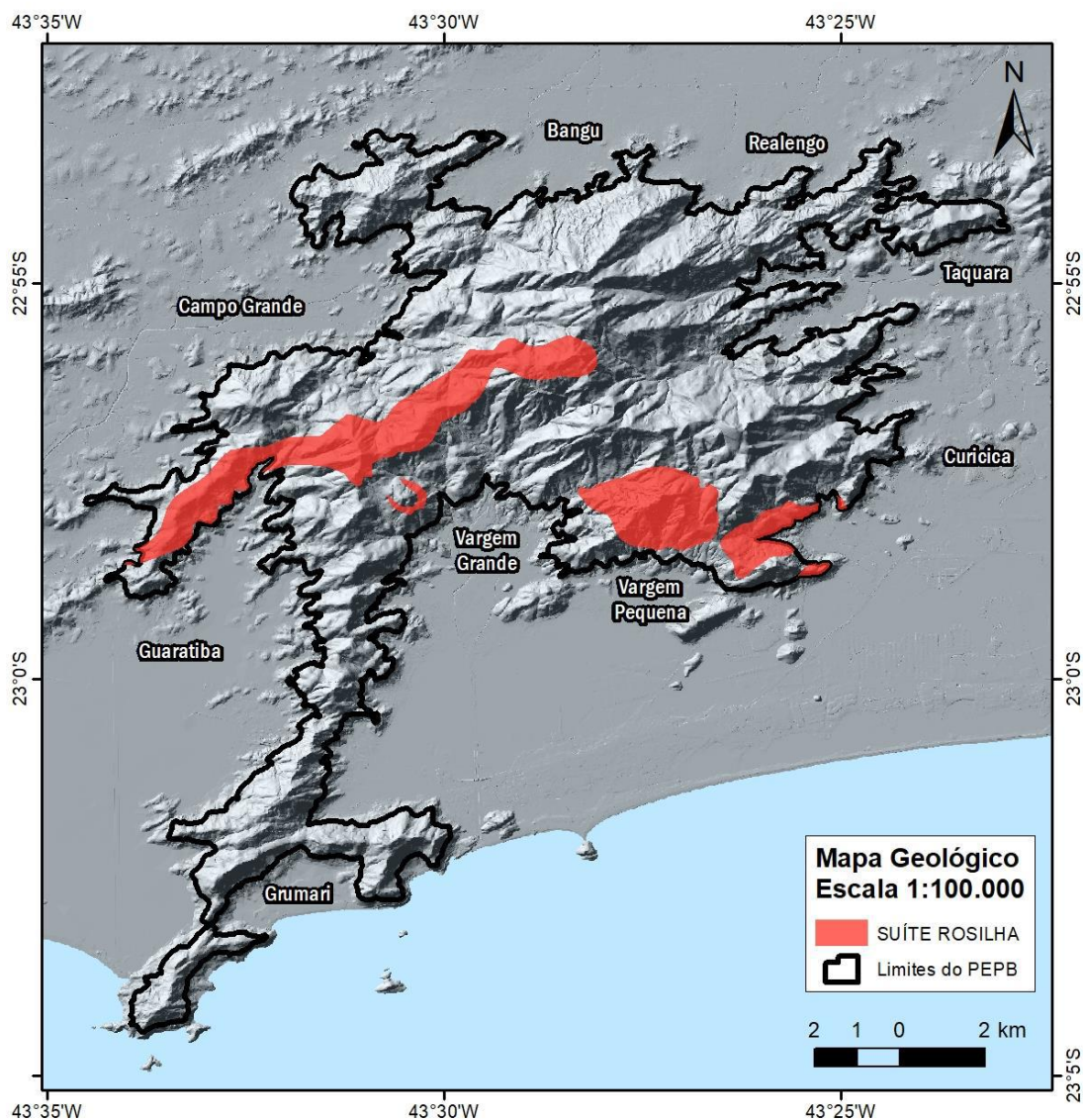


Figura 8: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Suíte Rosília a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.1.5 Suíte Suruí

A Suíte Suruí (Figura 9) compreende corpos graníticos intrusivos na Faixa Ribeira em estágio tardi a pós-colisão, de maneira caracteristicamente representada por rochas pouco ou não foliadas, do ponto de vista deformacional. No âmbito municipal os granitos tardi-colisionais da suíte atendem pela unidade Granito Pedra Branca, assim denominada por Porto Jr. (2003). Trata-se de um granito porfírico rico em megacristais de microclina pertítica (de até 5 cm) destacados em uma matriz de composição monzogranítica. Os fenocristais estão orientados de forma linear ou planar, interpretada como texturas primárias, oriundas do fluxo

magmático. Xenólitos dos gnaisses ortoderivados antecessores e até rochas tardi-colisionais, como a suíte Rosilha, são descritos na literatura. Também, enclaves com formas elipsoidais ou, mais raramente, contatos bruscos e angulosos. Diversas fácies são individualizadas, sendo todas de composição tipicamente granítica. No âmbito municipal, indicado nas Folhas Santa Cruz / Restinga da Marambaia, 1:50.000, de Hembold et al. (1965) e na já mencionada, Baía de Guanabara, o Granito Pedra Branca domina as exposições do maciço homônimo, exceção feita aos picos de maior altitude. Aparece também no Parque Natural Municipal do Grumari, início/fim do roteiro da Trilha Transcarioca. Datações pelo método U-Pb (LA-ICPMS) em zircão apontaram idades de aprox. 513 M.a. para o litotipo (Valeriano *et al.*, 2012).

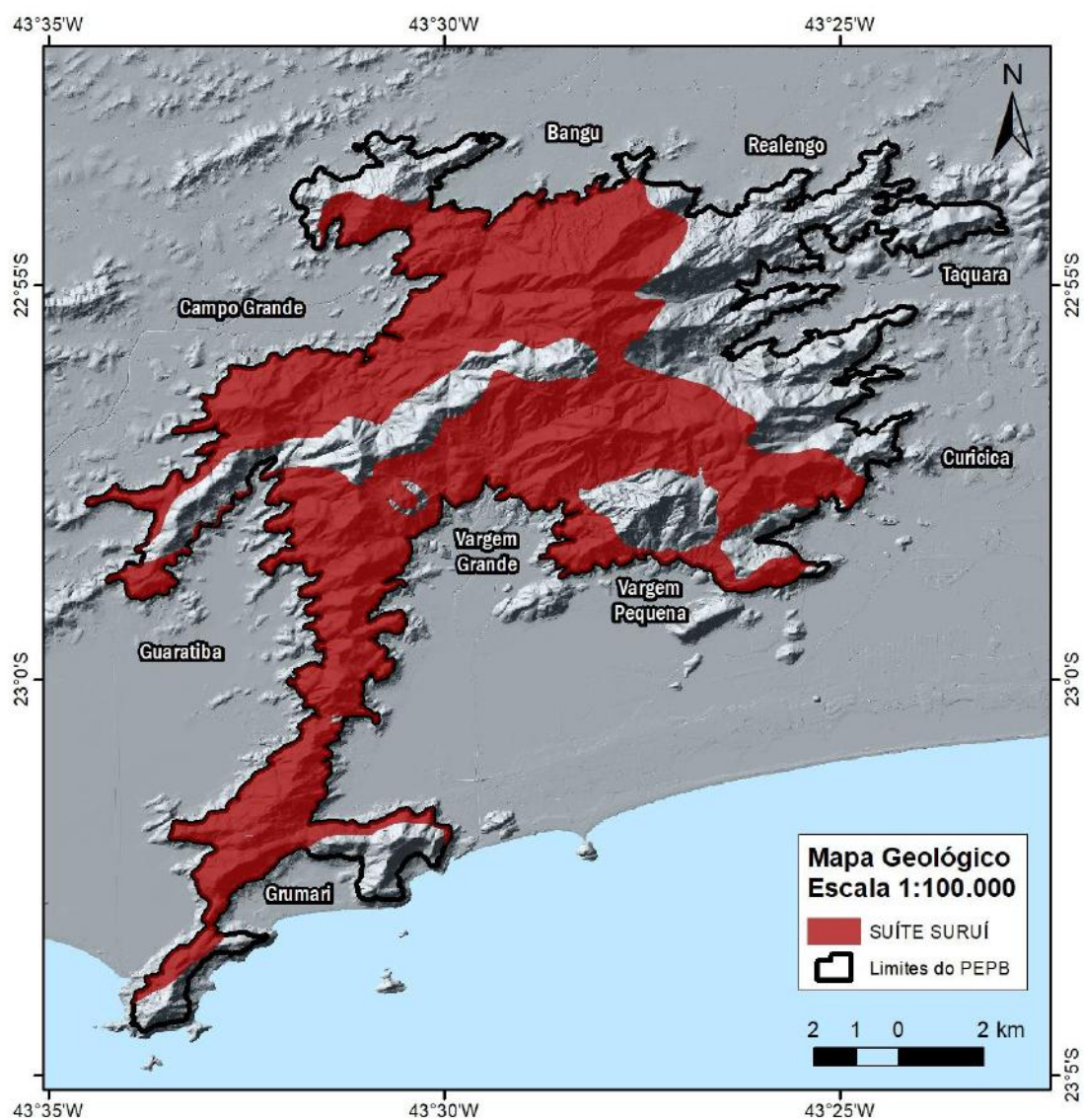


Figura 9: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Suíte Suruí a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.1.6 Enxame de Diques da Serra do Mar (EDSM)

O magmatismo toleítico do Cretáceo Inferior presente em várias localidades da folha Baía de Guanabara está representado por diabásios do EDSM (Figura 10). Os diques de diabásio intrudem os gnaisses e granitoides neoproterozóicos-ordovicianos da faixa Ribeira. Desta forma, os diques representam a justaposição espacial de dois momentos do passado geológico deste terreno: a formação do megacontinente Gondwana e a posterior fragmentação deste grande continente no Cretáceo Superior. São reconhecidos corpos verticais a sub -verticais com alguns metros de espessura e dezenas a centenas de quilômetros de comprimento alongados predominantemente segundo a direção N40°-50°E (Corval *et al.*, 2008; Valeriano *et al.*, 2012).

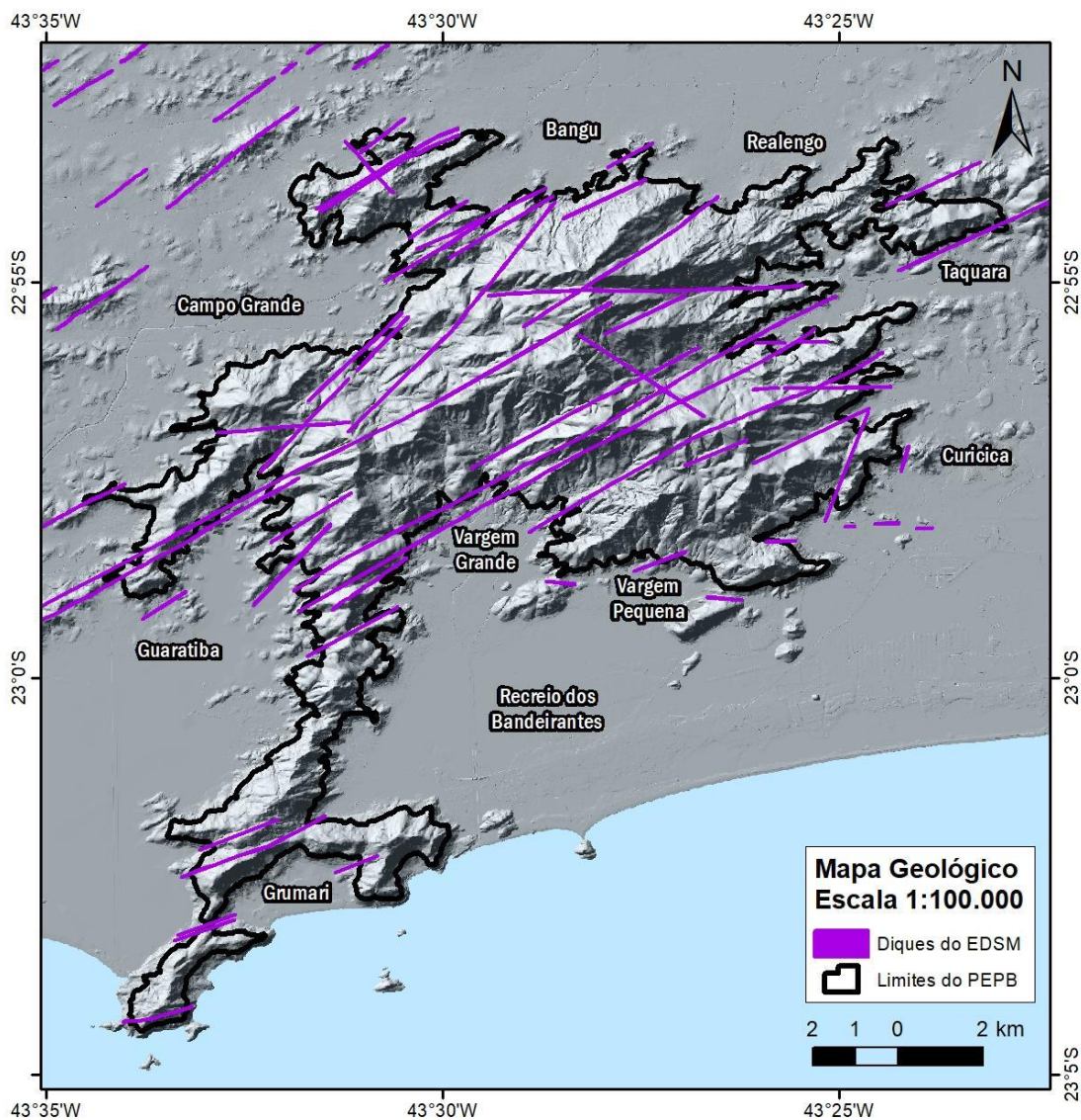


Figura 10: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Enxame de Diques da Serra do Mar a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.1.7 Coberturas Sedimentares Cenozoicas (Quaternário)

A cobertura sedimentar cenozoica (figura 11) no município do Rio de Janeiro é caracterizada por sedimentos marinhos e continentais associados a ambientes costeiros e fluviais, ocorrendo interdigitação entre estes; ocorre predomínio de sedimentos no tamanho areia, com silte e argila subordinados, e, raramente, cascalhos. (Valeriano *et al.*, 2012, Arona, 2017).

A área do PEPB é delimitada pelas áreas subjacentes ao Maciço da Pedra Branca nas cotas acima de 100 metros, portanto, nesta escala de mapeamento os dados acerca dos depósitos quaternários são escassos para esta representação cartográfica, de maneira diferente do que ocorre no mapa geomorfológico (Figura 12).

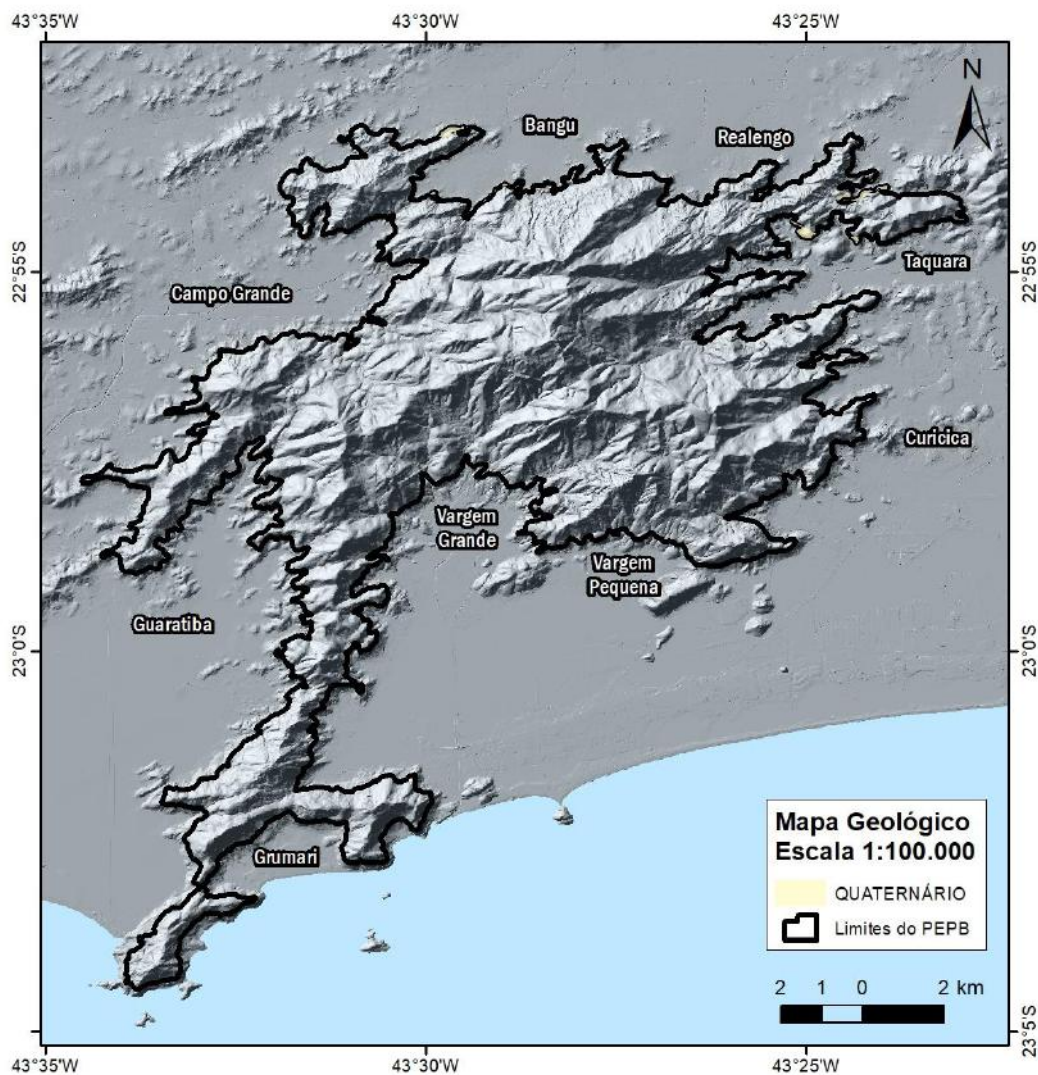


Figura 11: Destaque da Unidade Litoestratigráfica Coberturas Sedimentares Cenozoicas a partir do Mapa Geológico do PEPB (modificado de Valeriano *et al.*, 2012; Arona, 2017)

4.2.2.1 Geomorfologia, Pedologia e Rede Hidrográfica no PEPB

4.2.2.1 Geomorfologia

O Parque Estadual da Pedra Branca é um maciço costeiro do Cinturão Orogênico do Atlântico (CPRM, 2000), sendo enquadrada como uma unidade geomorfológica do município do Rio de Janeiro. Os maciços costeiros e interiores são uma unidade morfoescultural, e esta classificação compreende os maciços montanhosos alinhados sob direção WSW-ENE. Segundo Asmus & Ferrari (1978), os maciços costeiros consistem em blocos soerguidos paralelamente ao front escarpado das cadeias montanhosas das serras do Mar e da Mantiqueira durante o Cenozóico.

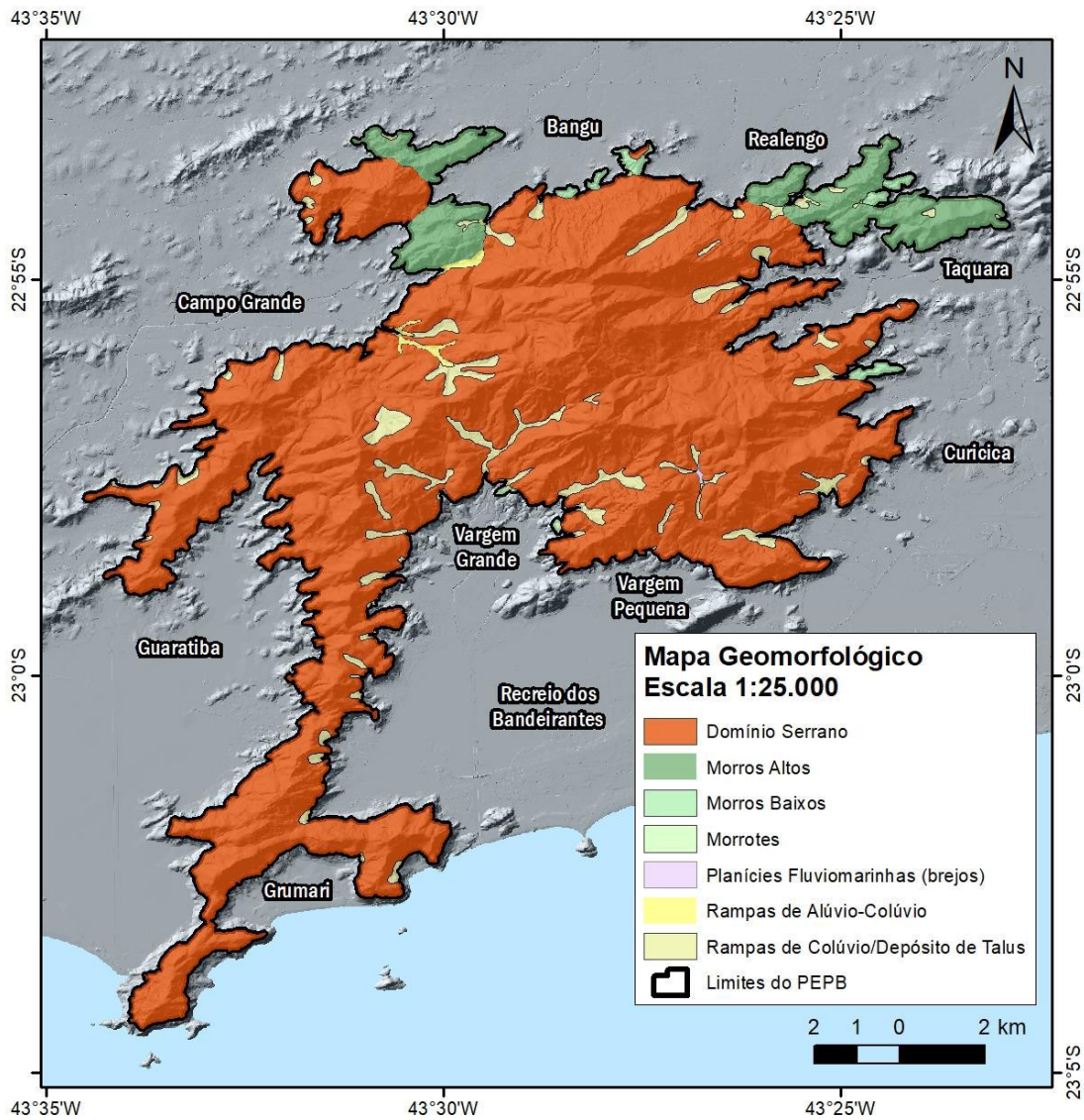


Figura 12: Mapa Geomorfológico elaborado a partir de CPRM (2016)

O mapa geomorfológico (Figura 12) foi elaborado a partir dos dados da Biblioteca de Padrões de Relevo do Programa Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação em escala de semi-detalle (1:25000). O padrão de relevo em destaque na área do PEPB é a unidade Domínio Serrano (CPRM, 2016). Esta classificação é definida como um relevo de degradação de aspecto montanho, muito acidentado com amplitude de relevo maior que 300m, inclinações nas vertentes de 20° a 45° com a ocorrência de paredões rochosos subverticais de 60° a 90°. Destaca-se também a unidade Rampas de Colúvio/Depósito de Talus que representam a cobertura sedimentar cenozoica neste mapa.

4.2.2.2 Pedologia

O mapa pedológico (Figura 13) foi elaborado através dos dados do mapa semidetalhado (1:75000) de solos do município do Rio de Janeiro (Lumbreras & Gomes, 2004) disponibilizados em formato digital através do link:

http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Asolos_municipio_rj_75000_2004_lat_long_wgs84_1/metadata_read

(Ribeiro, 2012) apresenta definições para as unidades pedológicas, dentre estas estão presentes no mapa as seguintes unidades: Afloramento de Rocha; Argissolo vermelho-amarelo; Chernossolo argilúvico; Latossolo vermelho-amarelo; Neossolo flúvico; Planossolo háplico. Observa-se que as três ordens de solos espacialmente predominantes na área do PEPB são: Latossolos vermelho-amarelo; Argissolos vermelho-amarelo e Chernossolo argilúvico, estas ordens estão incluídas nas classes de alta (Argissolos e muito alta vulnerabilidade, caracterizando-se pela elevada susceptibilidade à erosão e altos índices de precipitação que incidem sobre a área.

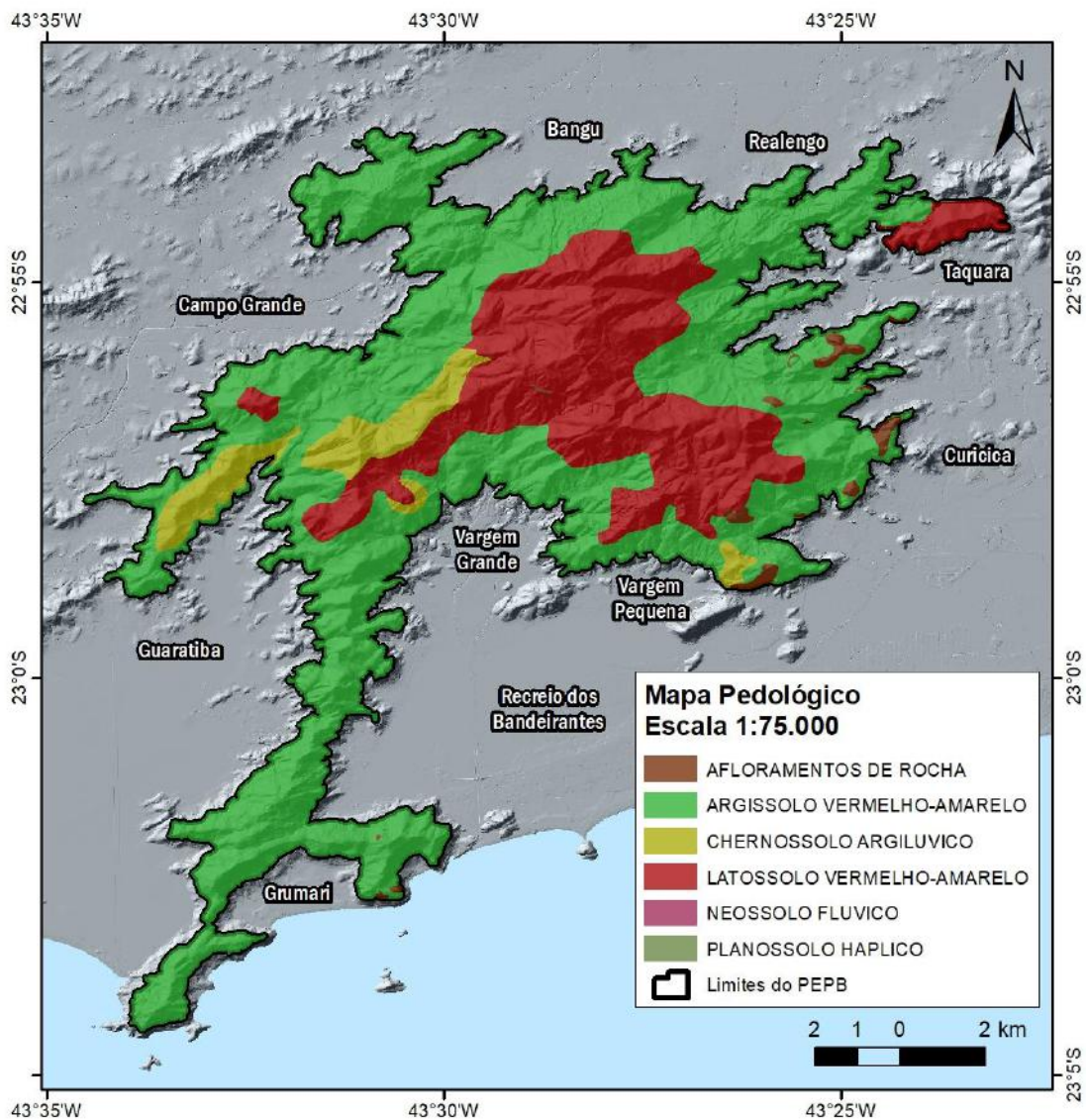


Figura 13: Mapa Pedológico elaborado a partir de Embrapa (2004)

4.2.2.3 Rede Hidrográfica

O mapa de hidrografia (Figura 14) foi elaborado através dos dados cedidos pelo LAGEPRO-UERJ. Segundo Costa (2006), o maciço da Pedra Branca apresenta uma rede hidrográfica extensa (figura 22), e seus rios têm grande importância para o abastecimento de água das regiões de baixada adjacentes, entretanto, algumas represas instaladas no PEPB já foram desativadas por conta de problemas com poluição e desmatamento.

Costa (2002) apud Costa (2006) apresenta que na localidade do Parque ocorrem 13 bacias principais e 70 microbacias. Aquelas nas quais seus vertedouros nascem no maciço e correm em direção às baixadas litorâneas, como as baixadas de Jacarepaguá e Sepetiba, por

exemplo, deseguem no Oceano Atlântico, enquanto os rios que correm em direção à baixada interior (fluminense) desaguam na Baía de Guanabara.

Costa, 2006 indica a ocorrência de um sistema de fraturamentos e lineamentos em direção predominante N50°-60°E associados à diques de diabásio determinantes para a configuração morfológica das encostas e vales, a rede hidrográfica se ajusta a esse sistema de faturamento regional.

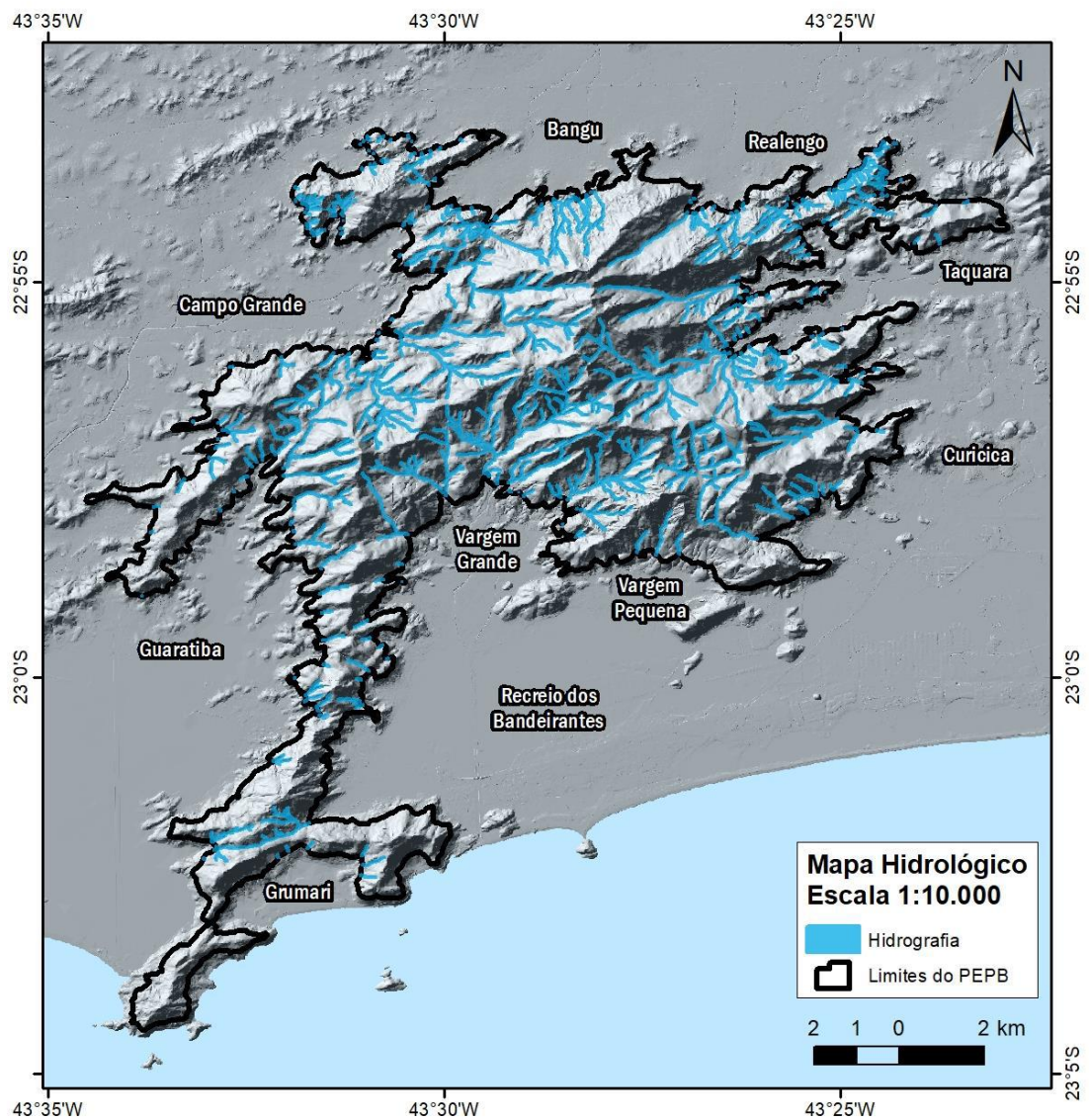


Figura 14: Mapa Hidrológico a partir dos dados cedidos pelo LAGEPRO-UERJ

4.3 Atrativos do Parque Estadual da Pedra Branca

O PEPB é Unidade de Conservação (UC) que mais recebe trechos da Trilha Transcarioca (Figura 15), sendo os trechos 03 – Grota Funda x Cabungui; 04 – Cabungui x Rio da Prata; 05 – Rio da Prata x Casa Amarela; 06 – Casa Amarela x Pau-da-Fome; 07 – Pau-da-Fome x Piraquara; 08 – Piraquara x Estrada das Teixeira e 09 – Estrada das Teixeira x Aqueduto do Catonho. O ponto culminante do Município do Rio de Janeiro é o pico da Pedra Branca, que se encontra em 1024m de altitude, além do PEPB abrigar a maior floresta urbana do Mundo. Dentre as trilhas em destaque no PEPB têm-se a Trilha do Pico da Pedra Branca, Trilha do Quilombo, Trilha da Represa do Rio Grande e a Travessia Pau-da-Fome x Camorim.

O PEPB apresenta também a capacidade de fornecer seu espaço para recreação e educação ambiental como um importante serviço ecossistêmico por conta da quantidade de cachoeiras estruturalmente encaixadas no encontro da hidrografia com a sucessão de diques do Sistema de Riftes da Serra do Mar, além da presença de grutas, *boulders* e abrigos.



Figura 15: Localização dos trechos da Trilha Transcarioca no Parque Estadual da Pedra Branca (Fonte: www.trilhattrascarioca.com.br)

O PEPB é administrado pelo Órgão Estadual responsável pelo Meio Ambiente (INEA) e dispõe de infraestrutura adequada para a realização de trabalhos voltados à divulgação científica, educação ambiental e alojamentos para pesquisadores. O Parque possui 3 núcleos administrativos. O maior se encontra no Núcleo Pau-da-Fome, nele está localizado a sede e o centro de visitantes, com exposição permanente. A sede é dotada de anfiteatro e áreas de lazer com tratamento paisagístico e sinalização direcional e a entrada se dá pela Taquara. No Núcleo Piraquara conta-se com brinquedos para crianças, poços refrescantes e acesso às vias de escaladas, além da Cachoeira do Barata, a única cachoeira do PEPB disponível para banho, sua entrada deve ser por Realengo. O Núcleo Camorim conta com uma trilha de aproximadamente 4 km com belas paisagens até o açude do Camorim (Figura 16), no alto do parque, a entrada pela Estrada do Camorim (INEA, 2019).



Figura 16: Paisagem do Açude do Camomim (www.inea.rj.gov.br – Acesso em 09/07/2019)

5. METODOLOGIA

O processo de automação do método de Forte *et al.*, (2018) para a geração dos mapas de índices de geodiversidade a partir da estimativa de densidade de Kernel (KDE) consiste de duas etapas: Compilação da Base de Dados e Processamento dos Dados (tabela 1). Ao fim da primeira etapa foi levantado um acervo para a geodiversidade do PEPB que consiste de uma série de dados georreferenciados, na qual alguns foram selecionados para serem processados na etapa seguinte. A segunda etapa foi o Processamento de Dados, sendo dividida em duas sub-etapas: Geração de Produtos do MDE (etapa alternativa); Geração do Mapa Índice de Geodiversidade (etapa principal).

Tabela 1: Resumo da Metodologia

RESUMO DA METODOLOGIA			
Etapas	Compilação de Dados	Processamento dos Dados	
Sub-Etapas	-----	Geração de Produtos do MDE	Geração do Mapa Índice de Geodiversidade do PEPB
Principais Resultados	Acervo para a Geodiversidade do PEPB	Dados morfométricos (relevo sombreado, declividade etc)	15 Mapas de índice de geodiversidade para o PEPB

5.1 Compilação da Base de Dados

A primeira etapa realizada foi a Compilação da Base de Dados, onde realizou-se o levantamento e os elementos da base de dados foram georeferenciados para a projeção SIRGAS 2000.

Foram adquiridos também os dados de localização de interesse espeleológico cedidos pelo colaborador da EspeleoRio, MSc. Luís Henrique Sapiensa, e da base de dados hidrológicos e das trilhas do PEPB cedidas pela Dra. Vivian Castillo (LAGEPRO – UERJ) na escala 1:10000. Ao fim desta etapa foi compilado um acervo georeferenciado em SIRGAS 2000 (tabela 2) que está disponível e compactado em formato .mpk. Neste acervo foram escolhidos os dados mais relevantes para a Geodiversidade do Parque da Pedra Branca, seguindo os conceitos de geodiversidade de Brilha (2016) e Grey (2013) e os mapas temáticos utilizados para a avaliação da geodiversidade a partir do método KDE. Estes dados podem ser utilizados, portanto, em outros métodos para a quantificação da geodiversidade. Alguns destes dados foram selecionados e utilizados na etapa de Processamento de Dados.

Tabela 2: Acervo digital para a Geodiversidade do PEPB

ACERVO PARA A GEODIVERSIDADE DO PEPB:	
DATA (DADOS)	FONTE
Modelo Digital de Elevação com resolução de 30m	ASTER via Earth Explorer (USGS) https://earthexplorer.usgs.gov
Polígono do Parque Estadual da Pedra Branca	Base de dados on-line do INEA www.inea.gov.br
Mapa Geológico	Folha Baía da Guanabara 1:100.000 – Valeriano <i>et al.</i> , 2012 modificado por Arona (2017) e pelo autor
Mapa Geomorfológico	Mapa Geomorfológico da Cidade do Rio de Janeiro 1:25000 – CPRM (2016)

Mapa Pedológico	Mapa de Solos do Município do Rio de Janeiro 1:75000 – Embrapa (2007)
Rede Hidrográfica do PEPB	LAGEPRO – UERJ
Base de dados da Trilha Transcarioca	Mesquita, 2016. Dados cedidos por Jhone Araujo
Base de dados do Roteiro Geoturístico do PEPB	LAGEPRO – UERJ
Base de dados espeleológicos do PEPB	EspeleoRio

5.2 Processamento de Dados

As duas sub-etapas seguintes se referem ao Processamento dos Dados. Estas sub-etapas foram realizadas em ambiente SIG utilizando o software ArcGis 10.4.1 (Licença do Laboratório de Geoprocessamento – UFRJ).

A primeira sub-etapa foi a geração de dados morfométricos a partir do modelo digital de elevação. Nesta etapa foi utilizada a ferramenta (*toolbox*) desenvolvida através do *Model Builder*®: PRODUTOS MDE.

A segunda sub-etapa foi a Geração do Mapa Índice de Geodiversidade. Nesta etapa utilizou-se a ferramenta (*toolbox*) desenvolvida através do *Model Builder*® KERNEL - ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE, e partir desta foram desenvolvidos nove mapas índices de geodiversidade.

5.2.1 Geração dos Produtos do MDE

Para a realização da primeira sub-etapa foram utilizados duas cenas (S23W044 e S24W044) do Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model – DEM* ou MDE) que foram obtidas em setembro de 2018 do ASTER em formato .tiff . Estas cenas foram obtidas através do site Earth Explorer, sendo disponibilizadas pela NASA com resolução de 1 arcseg. Foi utilizado o *shapefile* de polígono referente aos limites do Parque Estadual da Pedra Branca, obtido através da base de dados do INEA. A primeira operação realizada foi a transformação de duas cenas em uma imagem, para que estas cenas sejam representadas em um único *raster*. Para isso utilizou-se a ferramenta “mosaic to new raster”. A partir deste *raster* de entrada, que

representa os dois MDEs, aplicou-se a ferramenta “clip to raster” junto ao polígono do PEPB. Como resultado tem-se o Modelo Digital de Elevação do PEPB (figura 17).

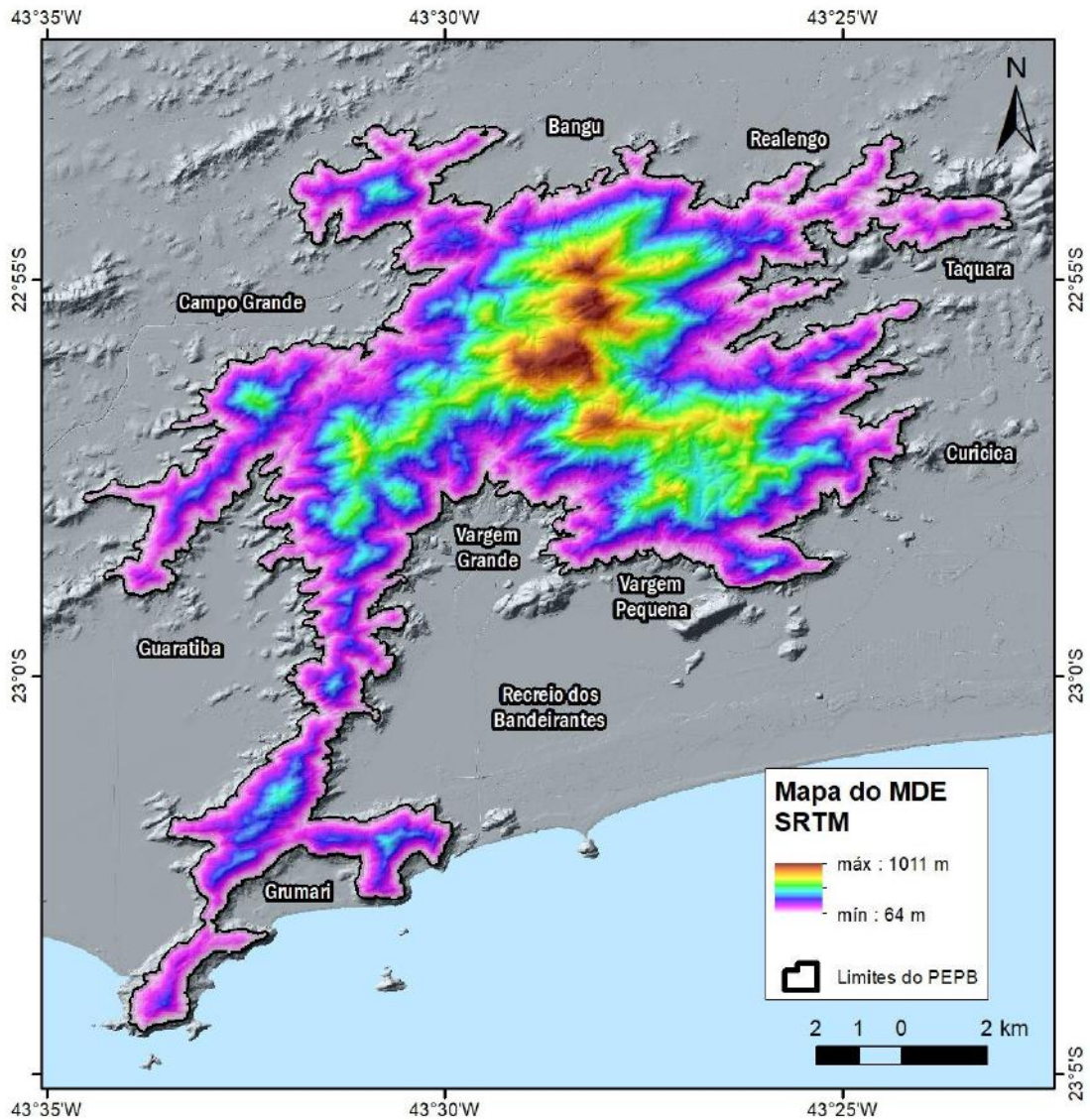


Figura 17: Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) para o PEPB.

Para a Geração dos Produtos do MDE foram realizadas oito operações, nas quais todas podem ser realizadas através do caminho: *ArcToolbox* → *Special Analyst Tools* → *Surface*

Essas operações foram otimizadas através da ferramenta construída a partir do *Model Builder* intitulada PRODUTOS MDE (figura 18), que possibilita a realização de todas as operações em poucos segundos. Para utilização desta ferramenta necessita-se apenas da inserção de um *raster* de entrada, neste caso utilizou-se o Modelo Digital de Elevação com resolução de 1 arcseg, onde este será o Parâmetro (P) único desta ferramenta. Esta operação é

capaz de reproduzir as oito operações do *Data Management Tools* em segundos com todos os valores de entrada (*Z factor*, azimutes e altitudes) padronizados – que ficam destacados na cor azul e permite o uso de *layers* para a padronização de cores dos mapas e legendas, % da transparência e as demais propriedades de cada produto.

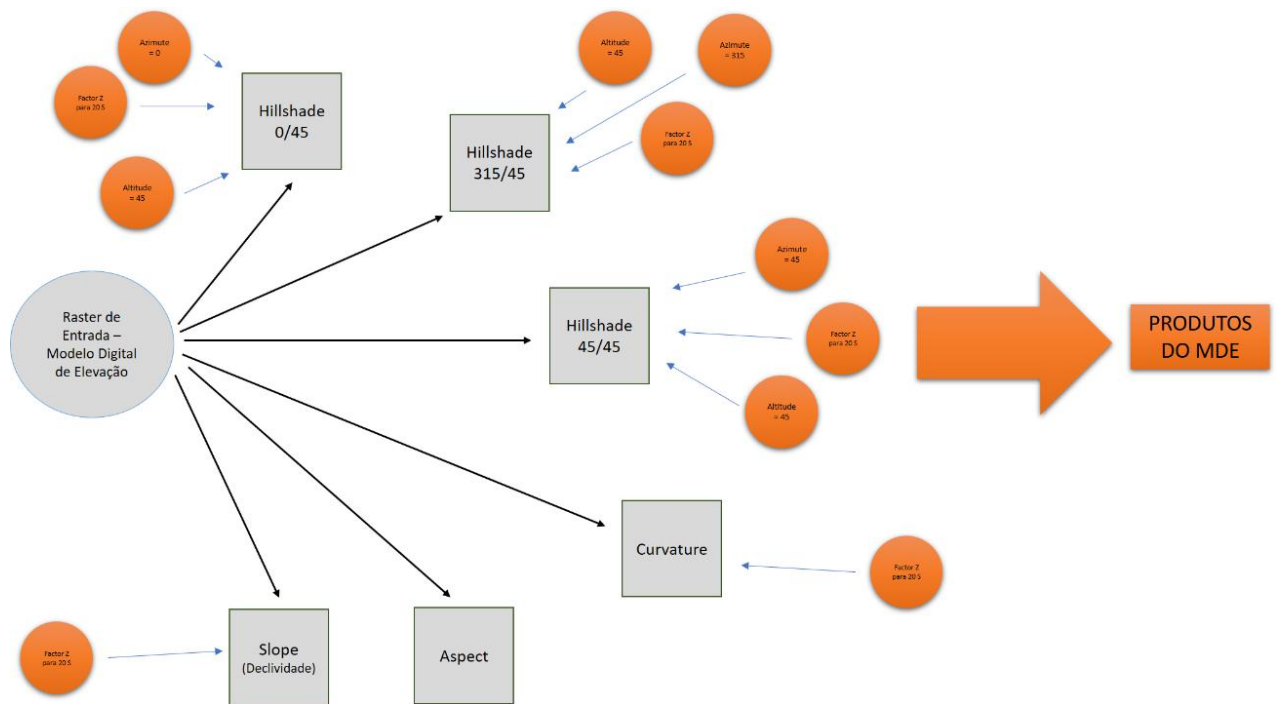


Figura 18: Ilustração para demonstrar o funcionamento da ferramenta PRODUTOS MDE

5.2.2 Geração do Mapa Índice de Geodiversidade

Para gerar os mapas índices de geodiversidade foram utilizados como mapas temáticos: Geológico, Geomorfológico, Pedológico, Hidrográfico e Diques do EDSM. Decidiu-se pelo uso dos dados relacionados aos diques do EDSM por conta de sua relevância no controle estrutural das drenagens e nos tipos de solo. Assim como na operação anterior todos os dados devem ser de natureza matricial, desta forma, para utilizarmos a rede hidrográfica e os diques foi realizada uma operação de *buffer* nestas duas unidades. Nos diques foi feito um *buffer* de 3m e na rede hidrográfica, 2m. Estes cinco dados (Litoestratigrafia, Estruturas, Formas de Relevo, Tipo de Solo e Drenagem) foram considerados os mais relevantes para o cálculo do Índice de Geodiversidade, sendo agregados dentro de uma categoria denominada “Mapas Temáticos”.

A primeira ação realizada foi o tratamento da base de dados, que consistiu na agrupação dos polígonos referentes a cada atributo para evitar que diferentes polígonos de um mesmo atributo fossem contabilizados mais de uma vez. Esta ação também pode ser realizada através da ferramenta *Multiparts to Singleparts* logo após a etapa de *overlay*.

São realizadas 3 operações:

- 1) Operação de *overlay (union)* → Mapa de Polígonos de Sobreposição de Atributos
- 2) Operação de Geração dos Centróides (*feature to points*) → Mapa de Centróides
- 3) Operação da análise de Kernel (*kernel analysis*) → Mapa Índice de Geodiversidade

Prosseguiu-se com uma operação de superposição de atributos (*overlay*), para esta operação foi utilizada a ferramenta “*union*” e como resultado foram gerados polígonos de sobreposição de atributos.

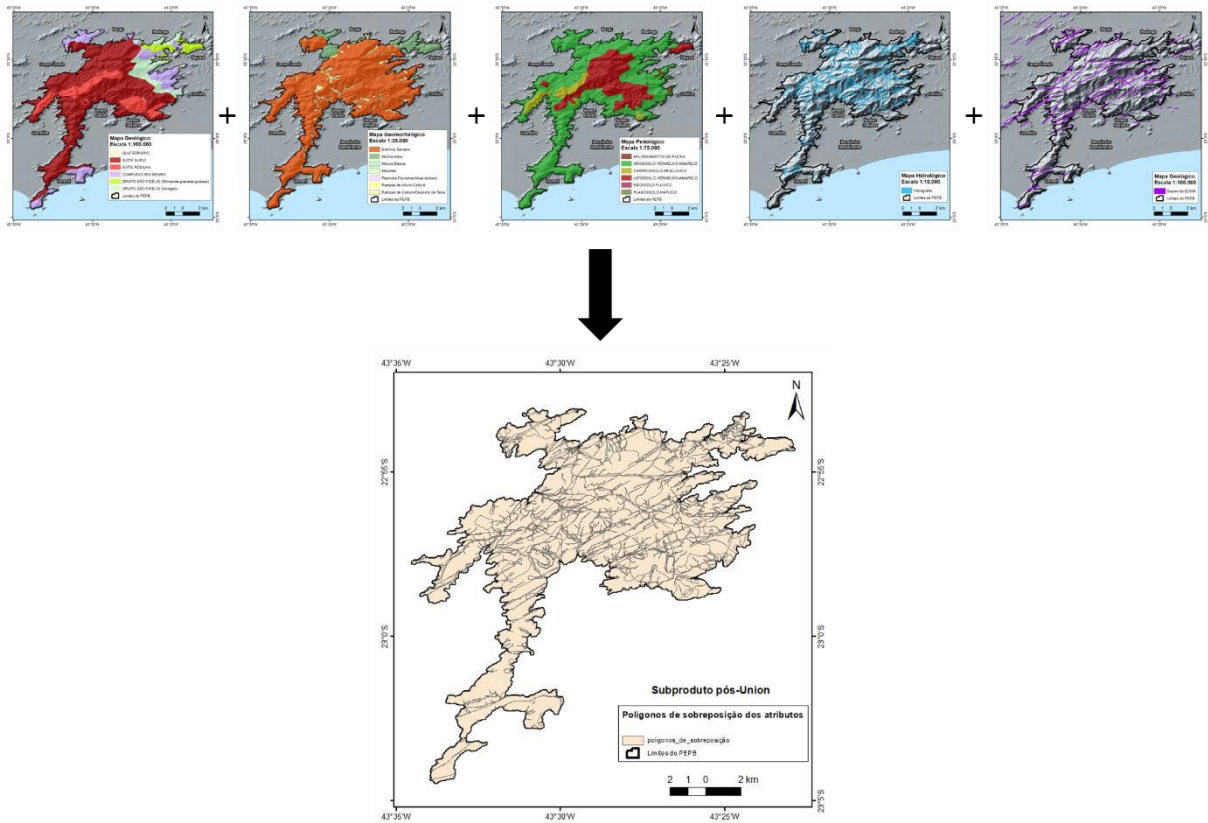


Figura 19: Ilustração da operação de *overlay (union)*

Em seguida foi realizada a operação de geração dos centróides destes polígonos de sobreposição de atributos, operação realizada a partir da ferramenta *feature to points*.

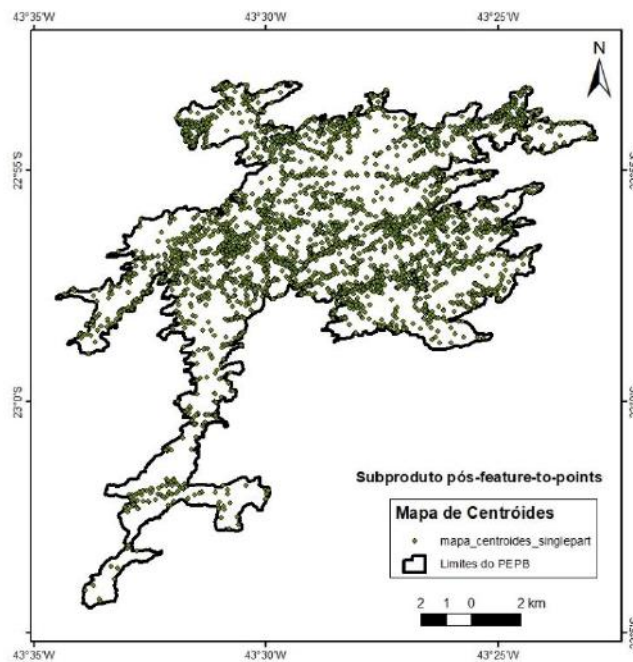


Figura 20: Ilustração da operação de geração de centróides (*feature to points*)

A terceira operação realizada foi a análise de Kernel (*kernel analysis*), na qual é realizada a estimativa de densidade de Kernel (KDE). Nesta operação, uma superfície suavemente curva é colocada sobre cada ponto. O valor da superfície é mais alto na localização do ponto e diminui com o aumento da distância do ponto, chegando a zero na distância do raio de busca do ponto

$$f_h(u) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d(u_i; u)}{h}\right), d(u_i; u) \leq h$$

Figura 21: Equação da estimativa de densidade de Kernel (K é a Função de kernel, h é o raio de busca, u é a posição do centro de cada célula, u_i é a posição da i-ésima amostra e n é o número total de eventos)

A densidade do kernel é dada pela soma dos “n” eventos em cada um dos centroides gerados (u). Assim, quanto mais próximos os centróides estiverem espacialmente, maior será a densidade obtida, o que no método utilizado neste trabalho representa uma maior diversidade de elementos abióticos e, portanto, proporcionalmente maior índice de riqueza da geodiversidade.

O resultado obtido é um mapa coroplético cujos valores foram renderizados e classificados em 5 classes através de quebras naturais (*Jenks*). Estas unidades representam, portanto, os índices de geodiversidade classificados em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. O mapa índice de geodiversidade gerado, portanto, ilustra os locais com maiores ou menores concentrações de elementos naturais abiótico.

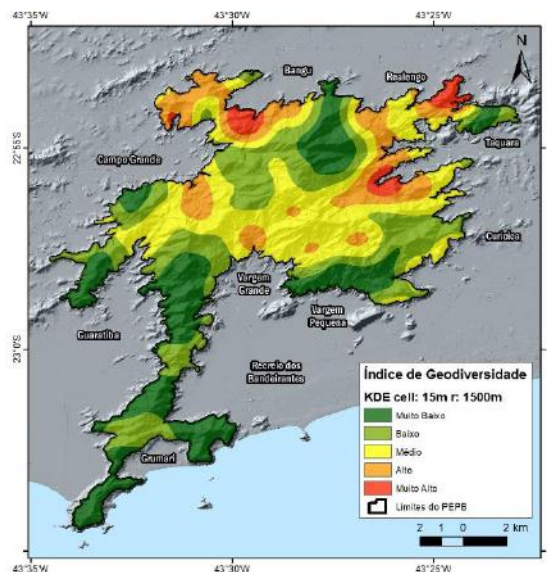


Figura 22: Mapa Índice de Geodiversidade a partir do método KDE (cell: 15m e search radius: 1500)

5.2.3 Ferramenta KERNEL – ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE

Durante a segunda sub-etapa foram desenvolvidos nove diferentes mapas índices de geodiversidade através ferramenta criada no *Model Builder*[®] intitulada KERNEL - ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE. Nesta ferramenta são atribuídos três parâmetros (mapas temáticos, tamanho da célula e raio de pesquisa), ou seja, valores que devem ser adicionados a cada etapa, e são realizadas 3 etapas (*union*, *feature to points* e *kernel density*).

Durantes as operações decidiu-se manter o parâmetro (Mapas Temáticos) com os seguintes atributos: MAPA GEOLÓGICO (LITOESTRATIGRAFIA) + MAPA GEOLÓGICO (EDSM) + MAPA PEDOLÓGICO + MAPA GEOMORFOLÓGICO + MAPA HIDROLÓGICO (Figura 19)

Por fim, após serem escolhidos os parâmetros (*cell* e *search radius*) e o nome do arquivo, local de destino e formato (usualmente,.tif) para cada mapa índice, deve se iniciar a ferramenta (*run*).

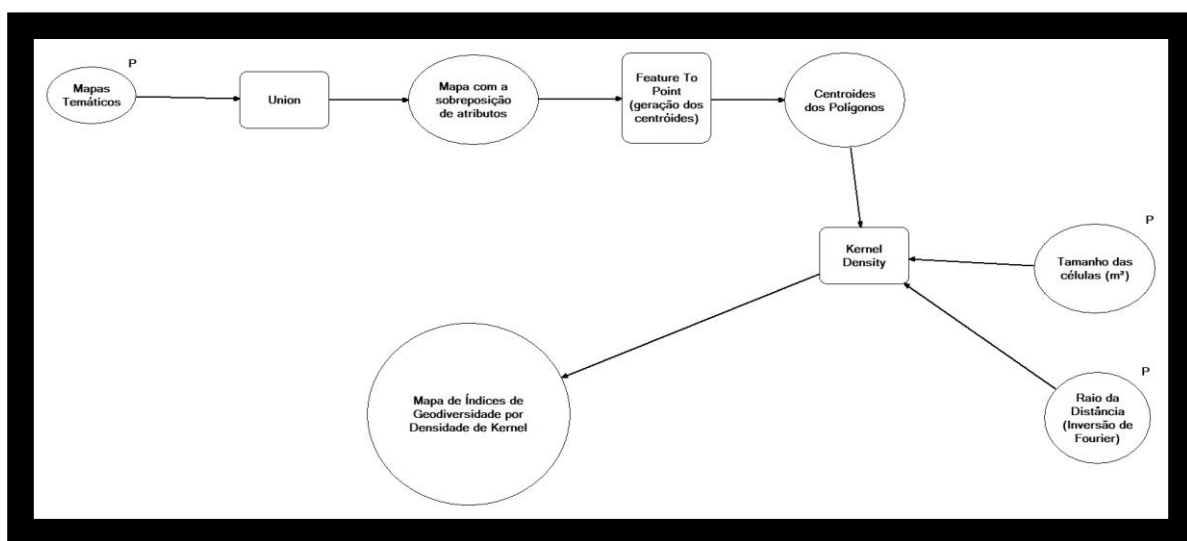


Figura 23: Ferramenta Model Builder KERNEL-MAPA INDICE DE GEODIVERSIDADE

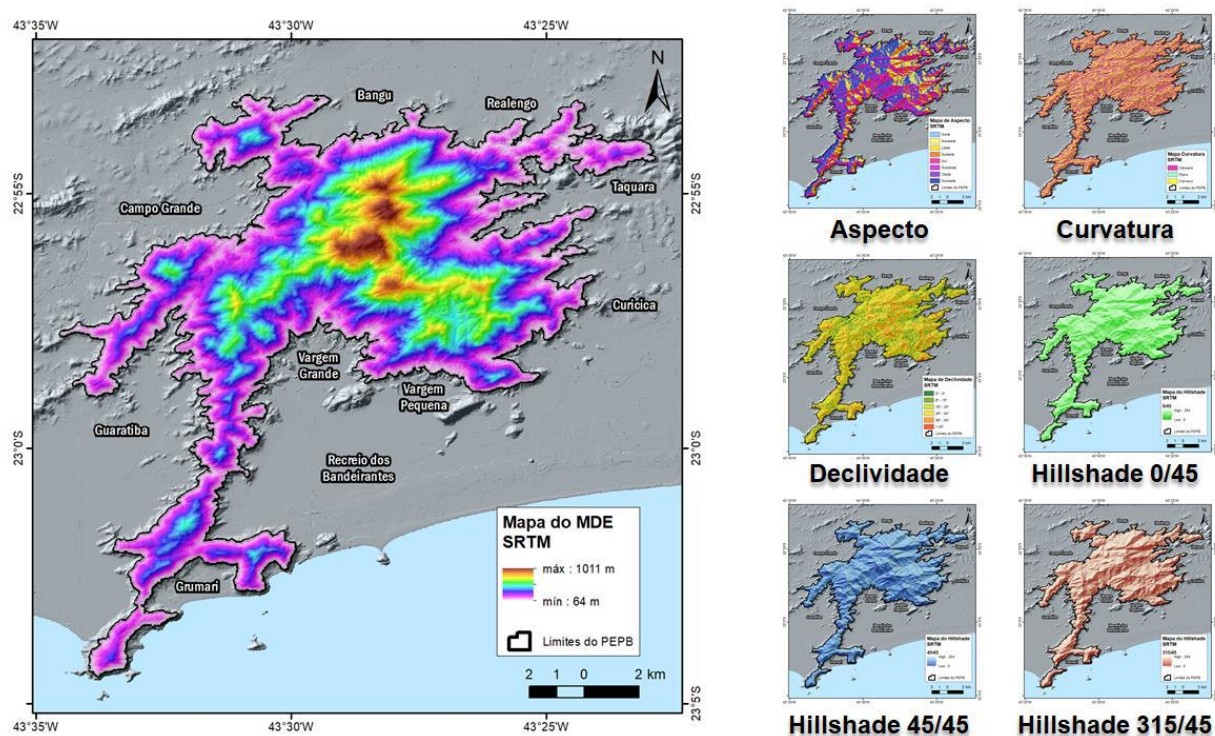
As técnicas de Overlay e Geração dos Centróides através do Model Builder não geram resultados o que reduz a quantidade de produtos residuais gerados durante a análise e otimiza o tamanho dos dados, no próximo capítulo serão abordadas as questões relativas ao tamanho dos dados e escolha dos parâmetros de acordo com a qualidade do produto e tamanho.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Produtos MDE

Esta seção tem como objetivo mostrar os resultados complementares obtidos através da *toolbox* PRODUTOS MDE. Esta ferramenta realiza a extração de atributos topográficos (aspecto, relevo sombreado, declividade, curvatura) através de um modelo digital de elevação (MDE), cujos produtos podem ser utilizados em métodos quantitativos para a geodiversidade indiretos.

Aspect, que fornece o Mapa de Aspecto, este mapa representa a direção da maior inclinação das vertentes; foram realizadas também três operações de *Hillshade* com inclinação a 45° acima do horizonte, onde variou-se o ângulo de iluminação (0°, 315° e 45°), posteriormente esses produtos foram tratadas com escolha de cores e transparências para que o efeito de sobreposição das diferentes iluminações sombreado fosse acentuado. Foi realizada também a operação *Slope* (Figura 25) para gerar o mapa de declividade, que representa o ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, podendo ser expresso em graus ou porcentagem. E foram realizadas três operações de *Curvature*, para diferentes mapas de curvatura (em planta, em seção e padrão), destes mapas escolheu-se apresentar apenas o mapa *standard* (figura 30) pois este melhor define as áreas planas, côncavas e convexas para a área de estudo.



6.2 Mapas Índices de Geodiversidade

Como apresentado anteriormente, foram contruídos nove mapas de índice de geodiversidade a partir do KDE. Para tal, observou-se que o parâmetro *cell* (tamanho da célula) interfere diretamente na qualidade e tamanho dos arquivos, enquanto o parâmetro *search radius* (raio de pesquisa) interfere no layout do mapa e os valores matemáticos estimados pelo método

Para escolher o melhor mapa decidiu-se adotar o mapa com melhor qualidade relativa, onde verificou-se a proximidade dos valores máximos e mínimos com mapas de maior ou menor qualidade e menor tamanho de arquivo no disco rígido. Para escolher os melhores tamanhos de arquivo decidiu-se fixar o valor de raio de pesquisa em 1500m e testar os tamanhos de célula para 4 m, 5 m, 15 m e 40 m. Como resultados têm-se:

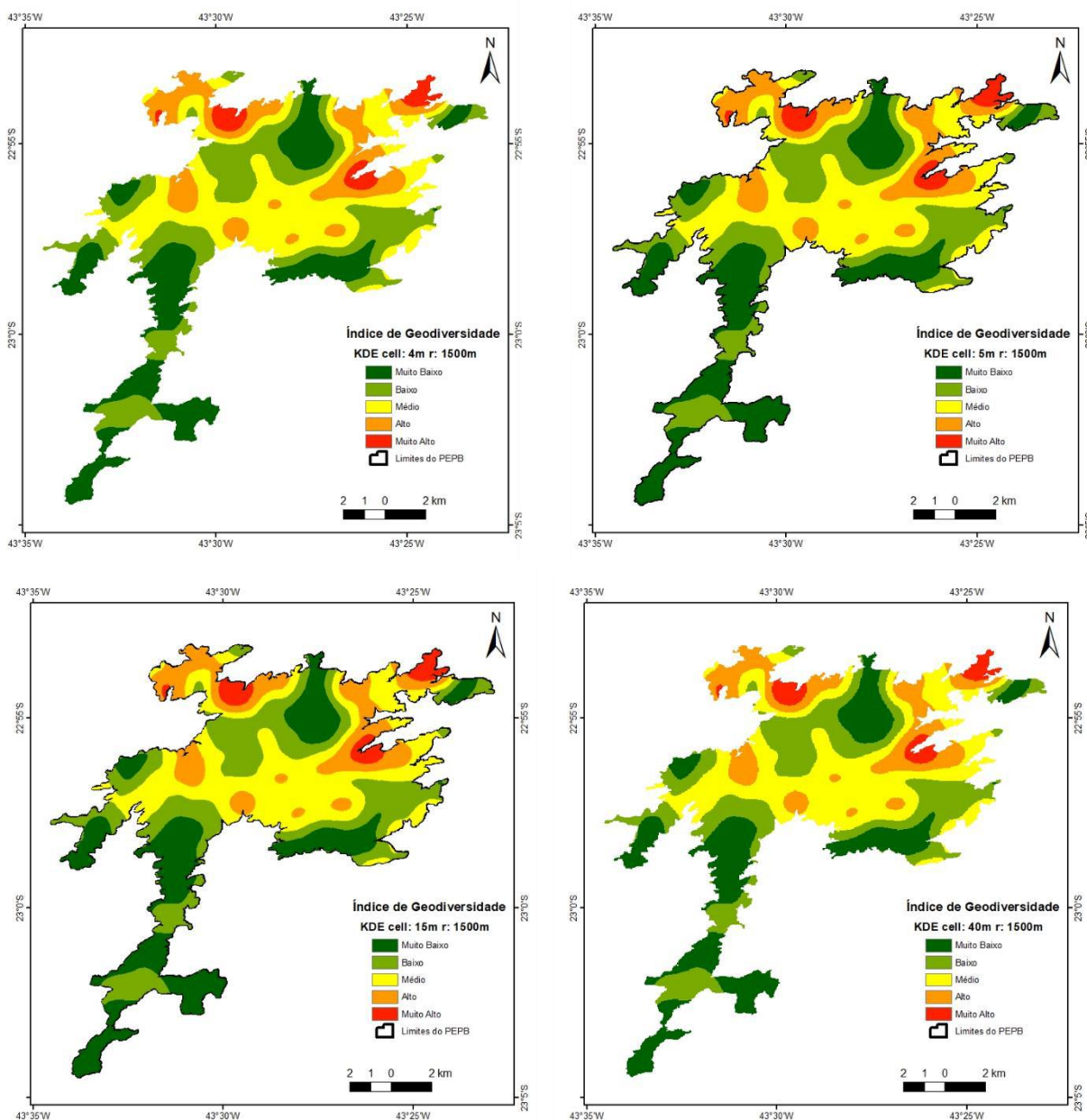


Tabela 3: Análises realizadas com parâmetro *search radius* fixado:

	Cell	Search radius	Tamanho do arquivo (GB)	Qualidade gráfica
Análise 1	4m	1500m	26,860	Aprox. igual à análise 2
Análise 2	5m	1500m	17,194	Aprox. igual à Análise 1 e 3
Análise 3	15m	1500m	1,914	Aprox. igual à Análise 2
Análise 4	40m	1500m	0,272	Pior que Análise 3

A partir deste ponto, foram descartados os tamanhos de célula 4m e 40m, e foram realizado um novo teste, desta vez fixando *cell* = 15m, variando o raio de busca = 500 m; 750 m; 1000 m, 1500 m e 2000 m

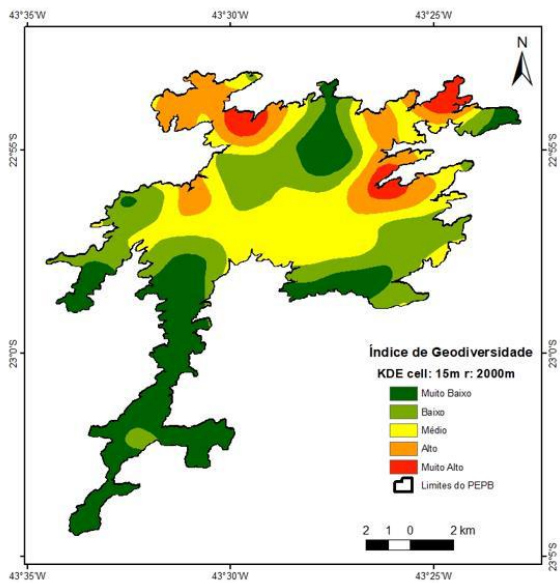
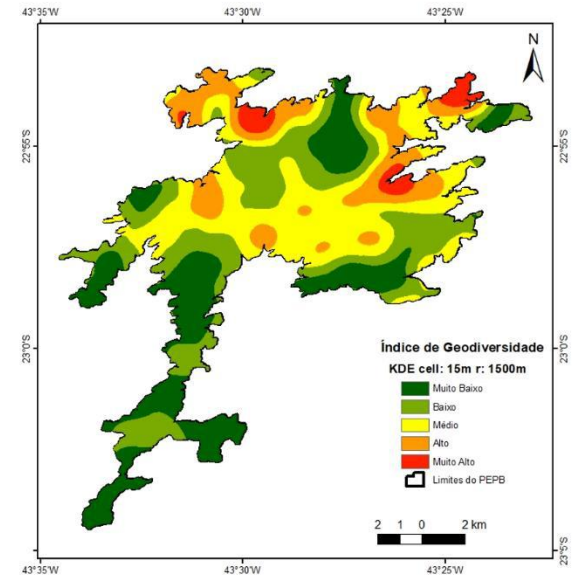
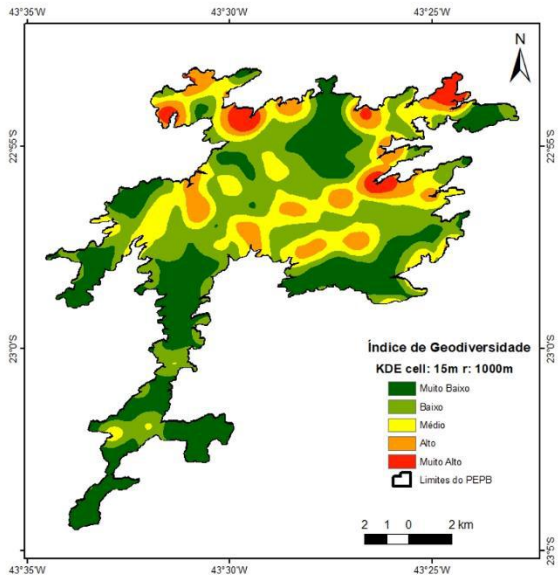
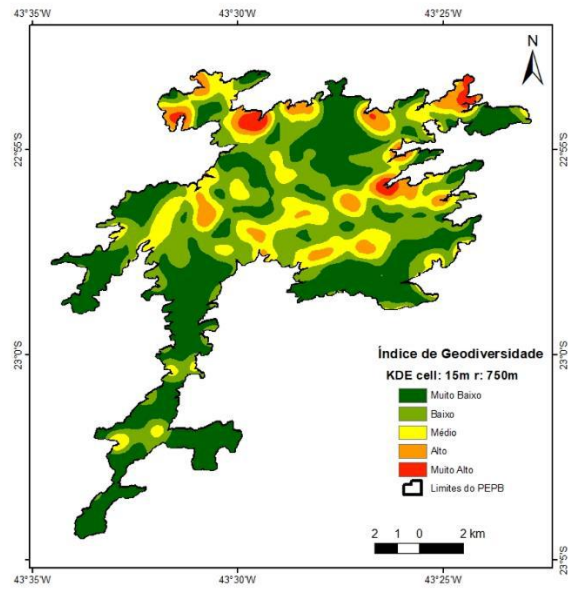
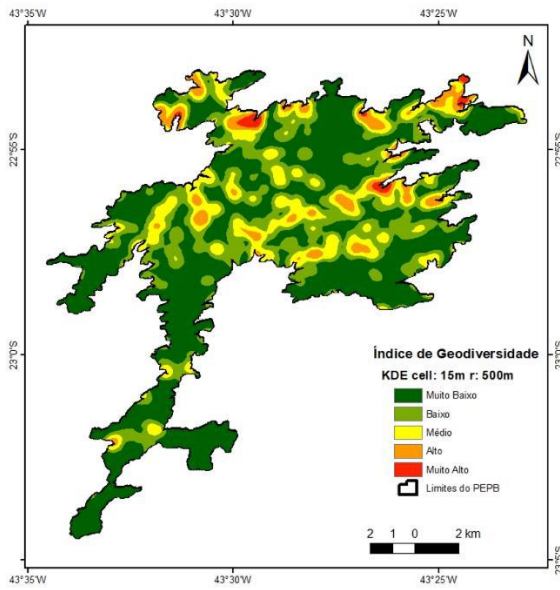


Tabela 4: Análises realizadas com os parâmetros de *cell* = 15m e 5m

	Cell	Search radius	Tamanho do arquivo (GB)
Análise 5	15m	2000m	1,914
Análise 6	15m	1000m	1,914
Análise 7	15m	750m	1,914
Análise 8	15m	500m	1,914
Análise 9	5m	750m	17,194

Decidiu-se através da dispersão dos dados que o mapa mais adequado para o gerado pela Análise 3: que apresenta *cell* = 15m e *search radius* = 1500m. Este mapa fora utilizado para a análise da funcionalidade da ferramenta.

6.3 Análise da aplicabilidade do método

Foi realizada a integração dos dados de lugares de interesse geológico (LIGs) (Araujo 2017, Arona, 2017) e os *shapefiles* das trilhas que possuem roteiros geoturísticos desenvolvidos (Pereira, 2010) foram sobrepostos ao Mapa Índice de Geodiversidade (figura 23).

A fim demonstrar a aplicabilidade do método decidiu-se justapor espacialmente os mapas Geológico, Geomorfológico, Pedológico e Hidrográfico acima do Mapa de Índice de Geodiversidade com $cell = 15m$ e $search\ radius = 1500m$ (figura 24) em três diferentes setores do PEPB: à nordeste dos limites do PEPB (Região de Piraquara e Catonho); à leste – centro-leste dos limites do PEPB (Regiões do Pau-da-Fome e Camorim) e ao sul (Praias Selvagens).

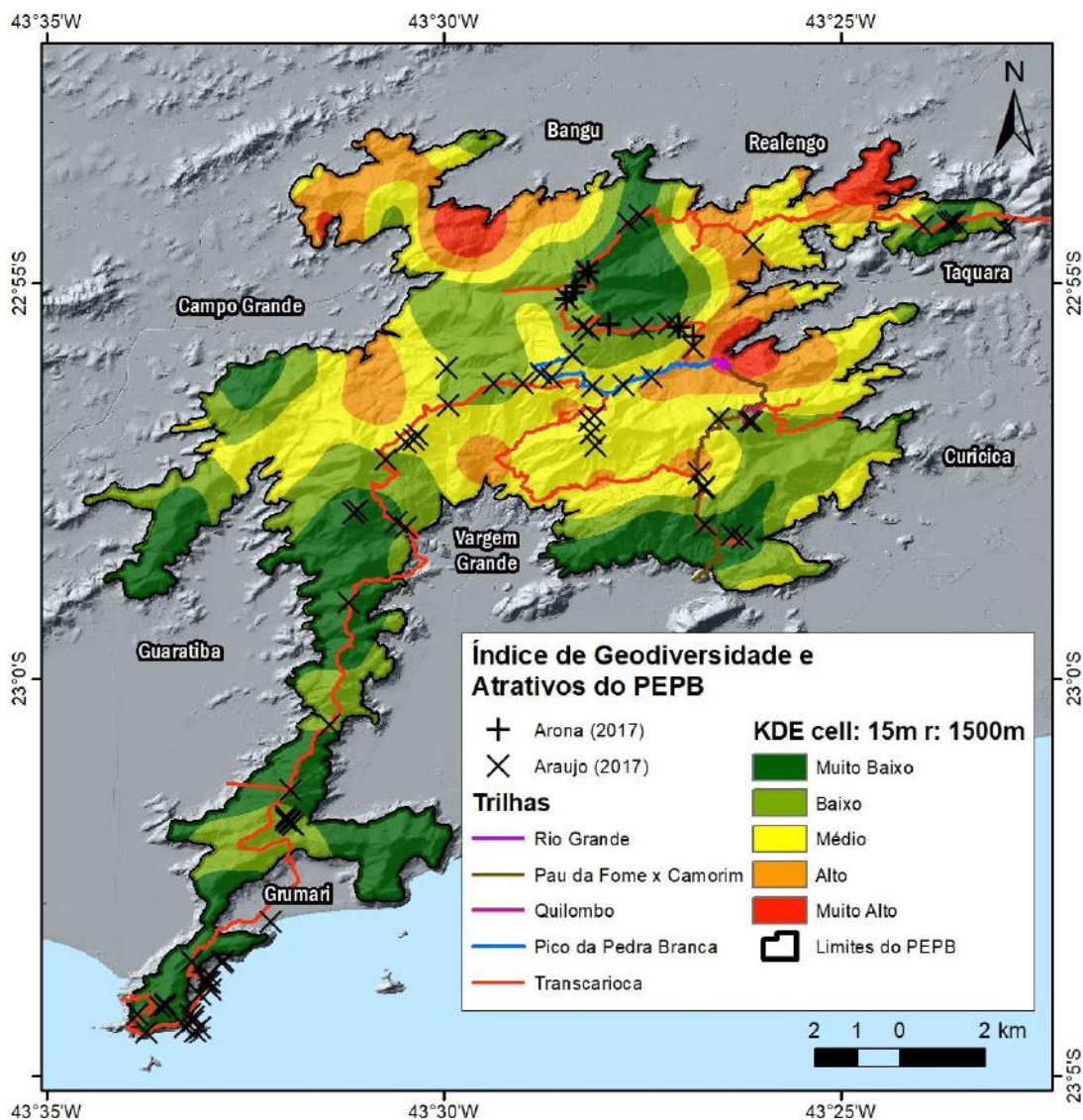


Figura 24: Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos Atrativos do PEPB selecionados para a análise do método KDE.

6.3.1 Análise do setor nordeste do PEPB (Piraquara – Estrada do Catonho)

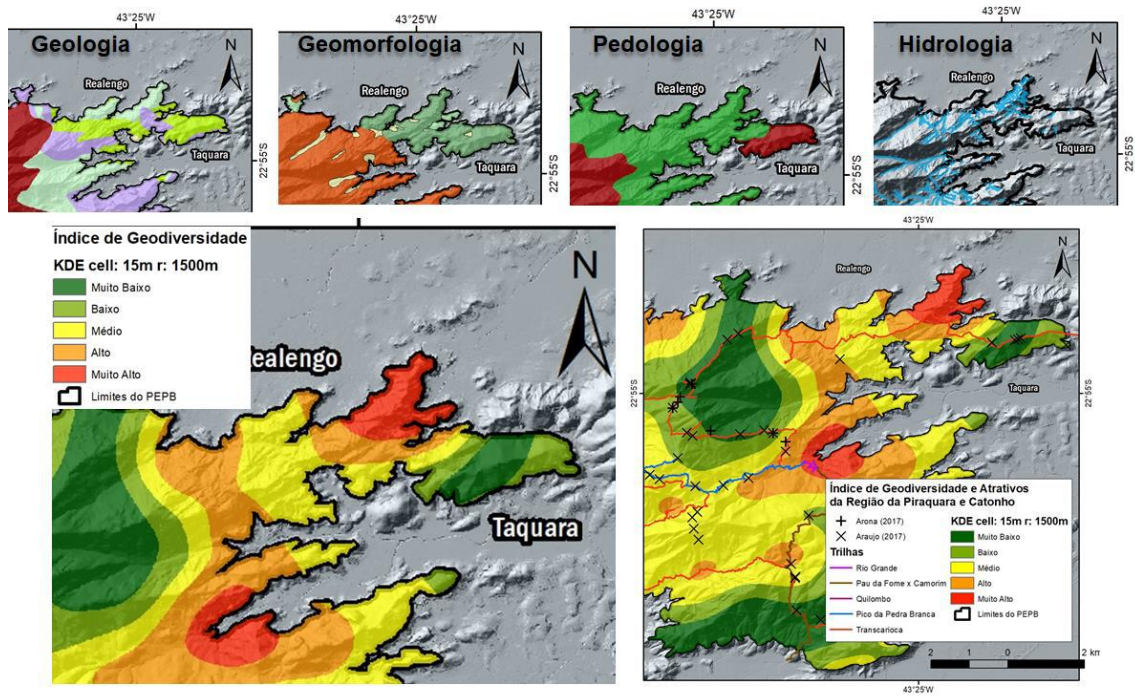


Figura 25: Agrupamento dos mapas temáticos com o Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos atrativos do setor nordeste do PEPB

O setor nordeste do PEPB é a que mais apresenta sítios com valores muito altos de índices de geodiversidade, o que pode ser observado (figura 24). Esta é uma região que, embora apresente altos a muito altos valores de geodiversidade, não apresenta muitos atrativos geoturísticos, além do Aqueduto do Catonho. Isto se deve por conta da restrição de acesso devido aos índice de violência na área (informação requerida pelos Guarda-Parques).

6.3.2 Análise do setor Leste - Centro-Leste do PEPB (Pau-da-Fome e Camorim)

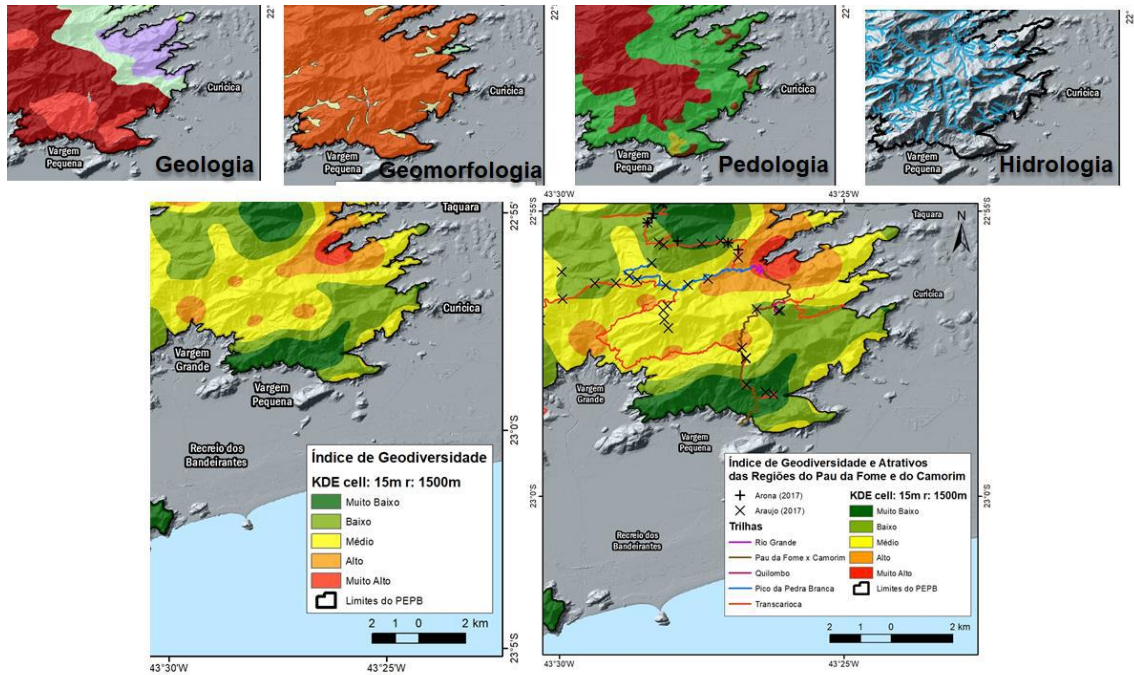


Figura 26: Agrupamento dos mapas temáticos com o Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos atrativos do setor Leste - Centro-Leste do PEPB

O setor Leste – Centro-Leste do PEPB é aquele que apresenta a maior densidade espacial de atrativos do Parque e nela estão as sedes administrativas Núcleo Pau-da-Fome e Núcleo Camorim. E nas trilhas entre estas sedes foram realizados os roteiros geológicos para estas trilhas. Os valores de índice de geodiversidade nesta localização são diminuídos por conta da quase uniformidade de unidades geomorfológicas, entretanto, é um local que apresenta três diferentes unidades litoestratigráficas e inúmeras cachoeiras encaixadas nas drenagens. Este aspecto contribui para este setor receber todos os níveis de índice de geodiversidade, desde o muito baixo até muito alto.

6.3.3 Análise do setor Sul (Praias Selvagens)

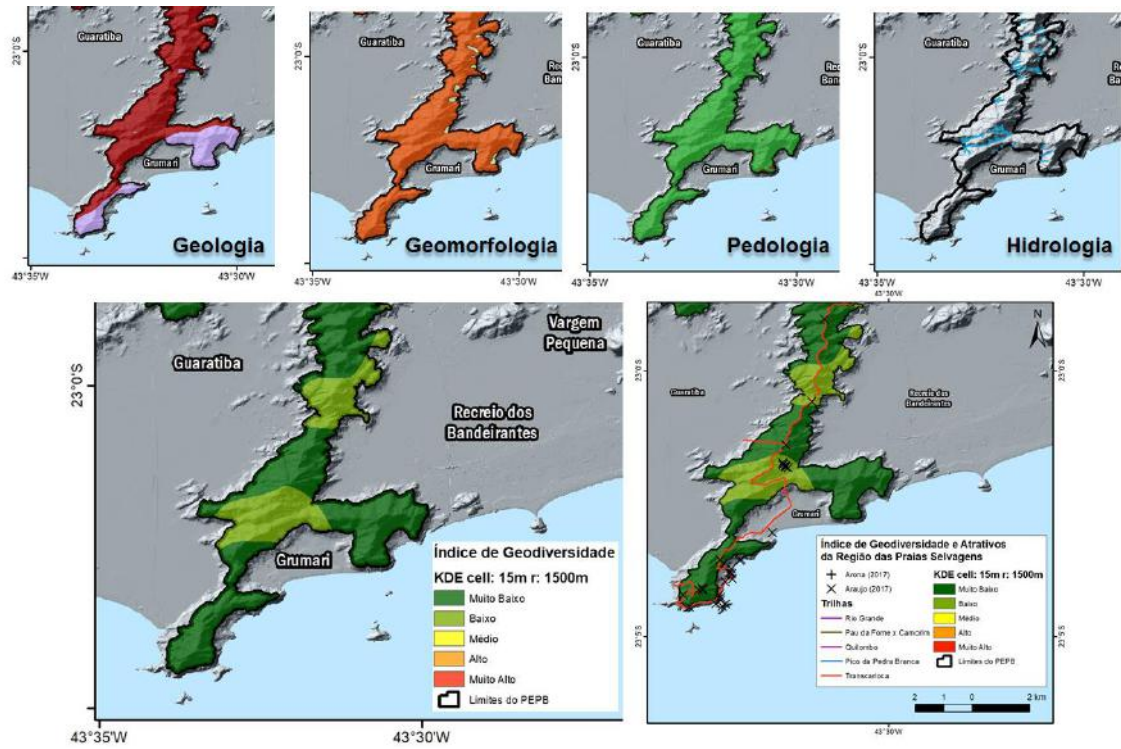


Figura 27: Agrupamento dos mapas temáticos com o Mapa Índice de Geodiversidade integrado aos atrativos do setor Sul do PEPB

As Praias Selvagens apresentam diversos lugares de interesse geológico, sendo conhecidas no Município do Rio de Janeiro por abarcarem a Pedra do Telégrafo. Entretanto, cartograficamente os mapas temáticos são bastante uniformes. Desta forma, os valores de índice de geodiversidade nesta região varia de baixa a muito baixa.

7. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geoconservação como área recente da geologia têm-se colocado como uma das áreas que mais abarca conhecimentos multidisciplinares, assim como o geoprocessamento, que hoje é amplamente utilizado por outras áreas do conhecimento, como a medicina e a arquitetura, por exemplo.

Portanto, o próprio desenvolvimento de uma ferramenta estatística para a geoconservação que possa ser amplamente utilizada por outras áreas, teve como busca, também, a divulgação desta área de conhecimento. Como sabemos, a geoconservação é a ciência que planeja e estuda a conservação do patrimônio geológico, e por conta disto, a divulgação de seus conceitos e ações para a população é essencial para que esta atinja melhores resultados acerca da preservação e educação ambiental.

O método de estimativa de densidade de Kernel apresentado utilizou como parâmetros a litoestratigrafia, geomorfologia, pedologia, hidrografia e estruturas geológicas, esta escolha se mostrou coerente e adequada para o Parque Estadual da Pedra Branca, mas ressalta-se que podem ser adicionadas as variáveis morfométricas (declividade, aspecto e curvatura); dados paleontológicos, mineralógicos, arqueológicos etc.; desta forma, o *Model Builder* MAPA DE GEODIVERSIDADE pode ser replicado em diversas outras áreas do conhecimento.

Esta ferramenta irá apresentar novas versões, onde já se estuda a inclusão de outras *tools* ao início ou ao final do processo, como por exemplo o *raster calculator*, a fim de facilitar a ponderação (pesos) para cada atributo.

Por fim, o desenvolvimento desta pesquisa teve como objetivo também contribuir para o desenvolvimento do Grupo de Estudos em Patrimônio Geológico – GEPG/UFRJ, apresentando ferramentas para otimização e distribuição de dados e processos através da Internet.

Referências

- ALKMIM, F. F. . O que faz de um cráton um cráton ? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo.. In: Virgínio Mantesso-Neto; Andrea Bartorelli; Celso Dal Ré Carneiro; Benjamin Bley de Brito Neves. (Org.). Geologia do Continente Sul Americano. Evolução da obra de Fernando Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004, v. , p. 17-35.
- ALMEIDA, F. F. M; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v.17, n.1-2, p. 1-29, abril. 1981.
- ARAUJO, J.C, SEOANE, J.C.C., MENEZES, P.C. Levantamento de possíveis Lugares de Interesse Geológico a partir de fonte não científica para a Trilha Transcarioca, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. In: **Simpósio Brasileiro de Patrimônio Geológico**, 4, Ponta Grossa, Paraná - PR 2017
- ARONA, T.N. **Lugares de Interesse Geológico e proposta de georroteiro na Trilha Transcarioca** - Rio de Janeiro, RJ.. Monografia (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017
- AUSTRALIAN HERITAGE COMMISSION. **Australian Natural Heritage Charter for the conservation of places of natural heritage significance**. 2ª ed. Australia: Commonwealth of Australia, 2002.
- BARROSO, E. V. ; BARROSO, Josué Alves ; Horta, A. E. G. ; Carvalho, I. S. . 2008: Retrospectiva dos 50 anos da Geologia na UFRJ e Olhar Crítico para o Futuro. Anuário do Instituto de Geociências (Rio de Janeiro) , v. 31, p. 9-23, 2008.
- BRILHA, J. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: A Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica**. Braga: Palimage Editores, 2005.
- BRILHA, J. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. **Geoheritage**, v.8, n.2, p. 119-134, 2016.
- BRILHA, J. 2018. Geoheritage: Inventories and Evaluation. In: Reynard & Brilha (Eds.). *Geoheritage: Assessment, protection and management*. Elsevier, Amsterdam, p. 69–85.
- Burchfield, 1998
- Noll, Matias & Candotti, Cláudia & Vieira, Adriane. (2012). Back school: Systematic review of programs designed for schoolchildren in Brazil. *Movimento*. 18.
- CARCAVILLA, L., DURÁN, J.J., LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, **10**: 1299–1303. 2008
- CORVAL, A.; VALENTE, S.C.; DUARTE, B.P., FAMELLI, N.; ZANON, M.; Dados Petrológicos dos Diabásios dos setores centro-norte e nordeste do Enxame de Diques da Serra do Mar. *Geochimica Brasiliensis* (2008), 22(3), 159-177

COSTA, V. C. da . Proposta de Manejo e Planejamento Ambiental de Trilhas Ecoturísticas: um Estudo no Maciço da Pedra Branca - Município do Rio de Janeiro (RJ). *Anuário do Instituto de Geociências (Rio de Janeiro)*, v. 29, p. 226-227, 2006

CROFTS, R. Promoting Geodiversity: Learning lessons from Biodiversity. **Proceedings of the Geologists' Association**, v.125, n.3, p. 263-266, 2014.

Dodick, Jeff & Orion, Nir. (2003). Measuring student understanding of geological time. *Science Education*, 87, 708-731. *Science Education*. 87. 708 - 731. 10.1002/sce.1057.

Eberhard, R. ed. (1997) *Pattern & Process: Towards a Regional Approach to National State Assessment of Geodiversity* Canberra, Australia: Australian Heritage Commission.

FORTE, J. P.; BRILHA, J.; PEREIRA, D. I.; NOLASCO, M. Kernel Density Applied to the Quantitative Assessment of Geodiversity. **Geoheritage**, v.10, n.2, p. 205-217, janeiro. 2018.

GONÇALVES, J.B. **Mapeamento da geodiversidade do município de Miguel Pereira - RJ: abordagens metodológicas e sua contribuição para a gestão territorial** - Rio de Janeiro, RJ.. Monografia (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2018

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. England: Wiley-Blackwell, 2004.

GRAY, M. Geodiversity: developing the paradigm. **Proceedings of the Geologists' Association**, v.119, p. 287-298. 2008.

GRAY, M. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. 2ª ed. England:Wiley-Blackwell, 2013.

GRAY, M. 2018. Geodiversity: The backbone of geoheritage and geoconservation. In: Reynard & Brilha (Eds.). *Geoheritage: Assessment, protection and management*. Elsevier, Amsterdam, p. 13–25.

Gregory (2010)

HEILBRON, M.; PIRES, F.R.M.; VALERIANO, C.M.; BESSA, M.; Litoestratigrafia, Evolução tectono-metamórfica e Magmatismo no Precambriano do setor sudeste do município do Rio de Janeiro. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, 1, Rio de Janeiro, Atas:174-179, outubro de 1993.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: BARTORELLI, A.; 117

CARNEIRO, C.D.R; NEVES, B.B.B. (Eds). **Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida**. 2004. p. 204-234. HEILBRON, M.; VALERIANO C. M.; TASSINARI, C.C.G.; ALMEIDA J.C.H.; TUPINAMBÁ, M; SIGA JR. O. & TROUW, R.J.A. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: DE WIT M.J, *West Gondwana Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. The Geological Society of London. London, 2008, 294 pp., p.211-237.

HELMBOLD, R., VALENÇA, J. G. & LEONARDOS Jr., O. H. (1965) – Mapa geológico do Estado da Guanabara Folhas SF-23-Q-III-4 / SF-23-W-I-2, Santa Cruz / Restinga da Marambaia, esc. 1: 50000, MME/DNPM.

HJORT, J. & LUOTO, M. Geodiversity of high latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, v.115, n.1-2, p. 324-333, fevereiro. 2010.

INEA- Instituto Estadual do Ambiente. 2013 *Plano de Manejo do Parque Estadual da Pedra Branca*. Resolução INEA nº 17/2013. Diário Oficial 122, p. 124

JOHANSSON, C.E.; ANDERSEN, S.; ALAPASSI, M. Geodiversity in the Nordic countries. **ProGeo News**, 1999. Study & Protection of the Geological Heritage, p. 1-9.

KOZLOWSKI, S. Geodiversity: The concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, v.58, n.8/2, p. 833-837. 2004.

Lucchesi, Stefania & Giardino, Marco. (2012). The role of geoscientists in human progress. *Annals of geophysics = Annali di geofisica*. 55. 10.4401/ag-5535.

Lumbreras J.F. & Gomes J.B.V (Eds.). 2004. *Mapeamento Pedológico e Interpretações Úteis ao Planejamento Ambiental do Município do Rio de Janeiro*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro; Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 326 p. MMA – Brasília? - Lei do SNUC - Lei nº 9985

NIETO, L.M. Patrimônio geológico, cultura y turismo. **Boletín del Instituto de Estudios Ginnenses**, v.182, p.109-122. 2001

PEREIRA, Eloisa da Silva. Geodiversidade do Parque Estadual da Pedra Branca-RJ: subsídios para o planejamento geoturístico. Rio de Janeiro, 2010. 179f.

PEREIRA, D.I; PEREIRA, P.; BRILHA, J. SANTOS, L. Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**, v.52, n.3, p. 541-552, setembro. 2013.

PORTO JR., RUBEM; Petrogênese das rochas do Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro, RJ; Instituto de Geociências - UFRJ - D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geologia; 2003, 231 p.

REYNARD, E., PERRET, A., BUSSARD, J., GRANGIER, L., MARTIN, S. Integrated approach for the inventory and management of geomorphological heritage at the regional scale. *Geoheritage*, 8(1):43–60. 2016.

RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B.; ARAÚJO FILHO, J.C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 48-55.

Rio de Janeiro, Lei Estadual nº 2.377, de 28 de junho de 1974

ROJAS LÓPEZ, J. Los desafíos del estudio de la geodiversidad. *Revista Geográfica Venezolana*, 46(1):143–152. 2005

SANTOS, D. S. **Mapeamento da Geodiversidade e relação com a Biodiversidade no Município de Armação Dos Búzios, RJ.** Rio de Janeiro, 2016. 145f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016

SANTOS, D.S., MANSUR, K.L., SEOANE, J.C.S., REYNARD, E. Inventory and quantitative assessment of geomorphosites: An application and methodological comparison in Armação dos Búzios, SE Brazil. In: XIV European Geoparks Conference, Ponta Delgada. *Abstracts book...* p. 51–51. 2017

SERRANO, E.C.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversity: A theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v.62, n.3, p. 140-147. 2007a.

SERRANO, E.C.; RUIZ-FLAÑO, P. Geodiversidad: Concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiermes Caracena (Soria). **Boletín de la A.G.E.**, 45: 79–98. 2007b.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geodiversidade do Brasil.** Escala 1:2.500.000. Brasília: SGM-MME/CPRM, 2006. CD-ROM [legenda expandida].

SILVA, Cassio Roberto. **Geodiversidade do Brasil: Conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

Silva, Matheus & Nascimento, Marcos & Mansur, Kátia. (2019). Quantitative Assessments of Geodiversity in the Area of the Seridó Geopark Project, Northeast Brazil: Grid and Centroid Analysis. *Geoheritage*. 10.1007/s12371-019-00368-z.

SHARPLES, C. **Concepts and Principles of Geoconservation.** Tasmânia, Parks & Wildlife Service. 81p. 2002

Steinhaeusser, Tobias & Elezi, Fatos & Tommelein, Iris & Lindemann, Udo. (2015). Management Cybernetics as a Theoretical Basis for Lean Construction Thinking. *Lean Construction Journal*. 2015. 01-14. Trilha Transcarioca - Disponível em: <http://trilhatranscarioca.com.br>

TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. 2012. Evolução Tectônica e Magmática da Faixa Ribeira entre o Neoproterozoico e o Paleozoico Inferior na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. p. 140-151.

Valeriano, C. M. *et al.* 2012. Geologia e Recursos Minerais da Folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. Belo Horizonte, Programa Geologia do Brasil, 156 p.

VEIGA, A. T. C. A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. *Terra das Águas*, Brasília: NEAz/ UnB, n. 1, p. 88-102, 1999.

XAVIER-DA-SILVA, J.; PERSSON, V. G.; LORINI, M. L.; BERGAMO, R. B. A.; RIBEIRO, M. F.; COSTA, A. J. S. T.; IERVOLINO, P.; ABDO, O. E.. Índices de Geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de Biodiversidade. In: GARAY, I.; DIAS, B. (orgs.).

Conservação da Biodiversidade em ecossistemas tropicais. Petrópolis: Editora Vozes. p. 299-316. 2001

ZWOLIŃSKI, Z. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. **Landform Analysis**, v.11, p. 77–85. 2009.

Web Links:

CPRM. 2006. Mapa de Geodiversidade do Brasil, escala 1: 2.500.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=623&sid=9> Acessado em 05/08/2018.

CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: . Acesso em: out. 2018.

DOMÍNIO PÚBLICO:

http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=14807

INEA, 2019 - <http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-da-pedra-branca/> Acessado em 04/08/2018

SMAC, 2009 - <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac> Acessado em 04/08/2018

Trilha transcarioca – www.trilhatranscarioca.com.br