

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO TEOBALDO NETO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A GEODIVERSIDADE E A DIVERSIDADE DE
ANFÍBIOS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA LEGAL**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

JOÃO TEOBALDO NETO

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A GEODIVERSIDADE E A DIVERSIDADE DE
ANFÍBIOS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA LEGAL**

**SPATIAL CORRELATION BETWEEN GEODIVERSITY AND AMPHIBIAN
DIVERSITY IN THE LEGAL AMAZON REGION**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Fernando César Manosso

FRANCISCO BELTRÃO

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JOÃO TEOBALDO NETO

CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A GEODIVERSIDADE E A DIVERSIDADE DE ANFÍBIOS NA REGIÃO DA AMAZÔNIA LEGAL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30/11/2022

Fernando César Manosso

Graduado em Geografia, Mestrado em Geografia e Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Juliana de Paula Silva

Graduada em Geografia, Mestrado e Doutorado em Geografia (Geografia Física)
Universidade Estadual de Maringá

Rodrigo Lingnau

Graduado em Ciências Biológicas, Mestrado em Biologia Área de Concentração Ecologia e
Doutorado em Zoologia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

FRANCISCO BELTRÃO

2022

RESUMO: O termo geodiversidade é composto pelos elementos e processos abióticos da natureza, tais como dinâmicas interna e externa da Terra, sendo um fator fundamental para a formação de paisagens e para assegurar a vida terrestre. Esta geodiversidade é consequência da evolução constante do planeta desde suas origens, e junto a biodiversidade evoluíram de maneira sistêmica. A Amazônia Legal possui uma variedade de ambientes geológicos, abundância de classes de solos, relevos, e uma alta diversidade de fauna e flora, sendo uma região com necessidade de maiores estudos, visando, sobretudo, a conservação e o desenvolvimento da economia local de forma sustentável. Em acessão aos fatos, este estudo tem como objetivo encontrar correlações da geodiversidade e diversidade de anfíbios por meio de áreas amostrais de 500, 250, 100, 50 e 25 km. Os mapas apresentam maiores e menores índices de diversidade, apresentados em gradientes de cores de fácil compreensão, além de gráficos de dispersão mostrando a autocorrelação com as variáveis geodiversidade e diversidade de anfíbios. Com tais dados torna-se possível com esse trabalho, o entendimento da distribuição espacial da geodiversidade e da diversidade de anfíbios na região e conseqüentemente a possibilidade de correlacionar com a diversidade biótica e estudos de outras áreas do conhecimento.

Palavras-chave: quantificação; biodiversidade; índices; conservação.

ABSTRACT: The term geodiversity is composed of the abiotic elements and processes of nature, such as the internal and external dynamics of the Earth, being a fundamental factor for the formation of landscapes and to ensure terrestrial life. This geodiversity is a consequence of the constant evolution of the planet since its origins, and together with biodiversity it has evolved in a systemic way. The Legal Amazon has a variety of geological environments, an abundance of soil classes, reliefs, and a high diversity of fauna and flora, being a region in need of further studies, aiming, above all, at the conservation and development of the local economy in a way sustainable. In accession to the facts, this study aims to find correlations of geodiversity and diversity of amphibians through sample areas of 500, 250, 100, 50 and 25 km. The maps show higher and lower diversity indices, presented in easy-to-understand color gradients, in addition to scatter plots showing the autocorrelation with the geodiversity and amphibian diversity variables. With such data, this work makes it possible to understand the spatial distribution of geodiversity and amphibian diversity in the region and, consequently, the possibility of correlating it with biotic diversity and studies in other areas of knowledge.

Keywords: quantification; mapping; indexes; assessment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa do índice de geodiversidade da Serra do Cadeado – PR sobre relevo sombreado	21
Figura 2 – Mapa do índice de geodiversidade do Estado do Paraná.....	23
Figura 3 – Espacialização de unidades de conservação no Mapa Índice de Geodiversidade do Brasil	24
Figura 4 – Mapa da Amazônia Legal.....	27
Figura 5 – Exemplo de avaliação do índice de classe de solos em grade de 100x100 km	31
Figura 6 – Matriz de vizinhança Rook e Queen.....	33
Figura 7 – Grade hexagonal de 25x25km	35
Figura 8 – Grade hexagonal de 50x50km	35
Figura 9 – Grade hexagonal de 100x100km	35
Figura 10 – Grade hexagonal de 250x250km	35
Figura 11 – Grade hexagonal de 500x500km	36
Figura 12 – Formações geológicas da Amazônia Legal	37
Figura 13 – Diversidade parcial de geologia em grade de 25x25km.....	39
Figura 14 – Diversidade parcial de geologia em grade de 50x50km.....	39
Figura 15 – Diversidade parcial de geologia em grade de 100x100km.....	39
Figura 16 – Diversidade parcial de geologia em grade de 250x250km.....	39
Figura 17 – Diversidade parcial de geologia em grade de 500x500km.....	40
Figura 18 – Compartimentos geomorfológicos da Amazônia Legal.....	41
Figura 19 – Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 25x25km.....	42
Figura 20 – Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 50x50km.....	42
Figura 21 – Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 100x100km.....	42
Figura 22 – Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 250x250km.....	42
Figura 23 – Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 500x500km.....	43
Figura 24 – Classes de Solos da Amazônia Legal.....	44
Figura 25 – Diversidade parcial de solos em grade de 25x25km	45
Figura 26 – Diversidade parcial de solos em grade de 50x50km	45
Figura 27 – Diversidade parcial de solos em grade de 100x100km	45
Figura 28 – Diversidade parcial de solos em grade de 250x250km	45
Figura 29 – Diversidade parcial de solos em grade de 500x500km	46
Figura 30 – Índice de geodiversidade em grade de 25x25km.....	47
Figura 31 – Índice de geodiversidade em grade de 50x50km.....	47
Figura 32 – Índice de geodiversidade em grade de 100x100km.....	47
Figura 33 – Índice de geodiversidade em grade de 250x250km.....	47
Figura 34 – Índice de geodiversidade em grade de 500x500km.....	48
Figura 35 – Índice de Margalef aplicado a Geodiversidade em grade de 500x500km	49
Figura 36 – Índice de Shannon aplicado a Geodiversidade em grade de 500x500km	49
Figura 37 – Índice de Simpson aplicado a Geodiversidade em grade de 500x500km	49
Figura 38 – Registro de anfíbios através do GBIF Occurrences na Amazônia Legal.....	50
Figura 39 – Mapa de densidade de Kernel com dados do GBIF Occurrences...	51
Figura 40 – Mapa do índice de Margalef com dados GBIF	52

Figura 41 – Mapa do índice de Shannon com dados GBIF	52
Figura 42 – Mapa do índice de Simpson com dados GBIF	53
Figura 43 – Registro de anfíbios através do Species Link na Amazônia Legal .	54
Figura 44 – Mapa de densidade de Kernel com dados do Species Link	55
Figura 45 – Mapa do índice de Margalef com dados Species Link	56
Figura 46 – Mapa do índice de Shannon com dados Species Link	56
Figura 47 – Mapa do índice de Simpson com dados Species Link.....	57
Gráfico 1. Gráfico de dispersão de Moran com contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	58
Gráfico 2. Gráfico de dispersão de Moran com contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	58
Figura 48. Mapa de Clusters em contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	59
Figura 49. Mapa de Clusters em contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	59
Gráfico 3. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	60
Gráfico 4. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	60
Figura 50. Mapa de Clusters em índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	61
Figura 51. Mapa de Clusters em índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	61
Gráfico 5. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	62
Gráfico 6. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	62
Figura 52. Mapa de Clusters em índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	63
Figura 53. Mapa de Clusters em índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	63
Gráfico 7. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	64
Gráfico 8. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	64
Figura 54. Mapa de Clusters em índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)	65
Figura 55. Mapa de Clusters em índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK).....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores limites das classes de geodiversidade	17
Tabela 2 – Quantificação dos elementos da geodiversidade por compartimento de paisagem e o índice de riqueza	21
Tabela 3 – Valores para a dimensão das grades de graus para quilômetros	30
Tabela 4 – Fórmulas para cálculo do índice de biodiversidade	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Evolução dos conceitos	12
3.1.1	Geodiversidade	12
3.1.2	Biodiversidade	13
3.1.2.1	Herpetofauna.....	14
3.2	Relações entre geodiversidade e biodiversidade	15
3.3	Metodologias de avaliações quantitativas da geodiversidade	15
3.3.1	Metodologia de Xavier da Silva <i>et al.</i> (2001)	16
3.3.2	Metodologia de Serrano & Flaño (2007).....	17
3.3.3	Metodologia de Zwolinski (2009).....	18
3.3.4	Metodologia de Manosso (2012)	20
3.3.5	Metodologia de Pereira <i>et al.</i> (2013)	22
3.3.6	Metodologia de De Paula Silva <i>et al.</i> (2021)	23
3.4	Métodos quantitativos de avaliação da biodiversidade	24
3.4.1	Relações entre biodiversidade e geodiversidade	26
3.5	Caracterização da área de estudo	27
3.5.1	Clima	28
3.5.2	Pedologia	28
3.5.3	Geologia	28
3.5.4	Geomorfologia	29
3.5.5	Fauna e flora	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Índice de geodiversidade	30
4.2	Índice da diversidade de anfíbios	31
4.3	Autocorrelação espacial	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1	Tamanhos de grades	35
5.2	Índice de Geodiversidade	36
5.2.1	Geologia	36

5.2.2	Geomorfologia	40
5.2.3	Solos	43
5.2.4	Geodiversidade	46
5.3	Diversidade de anfíbios	49
5.3.1	GBIF Occurrences.....	49
5.3.2	Species Link	53
5.4	Autocorrelação espacial	57
6	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	ANEXO A – MAPAS DE SIGNIFICÂNCIA	72

1 INTRODUÇÃO

Estudos nas Geociências, como os relativos à geodiversidade, são bases para a busca de soluções ambientais que sejam sustentáveis e economicamente viáveis no Brasil e em diversos outros países. Com pesquisas relacionadas ao tema, há a possibilidade de gestão ambiental de um local, desenvolvimento econômico com geoturismo, além de integração e correlações com outras áreas de estudos, como o da biodiversidade.

A geodiversidade pode ser definida como a diversidade ou variedade natural de rochas, minerais, fósseis, acidentes geográficos, sedimentos e solos, bem como os processos que os formam (Gray, 2004).

Pesquisas sobre a geodiversidade implicam diretamente nos estudos da biodiversidade sendo esta última definida na Convenção sobre Diversidade Biológica, como a diversidade de organismos vivos no geral, seja animal ou vegetal, os genes e os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e complexos ecológicos (Brasil, 2000).

Observado que a geodiversidade e a biodiversidade sofrem influências uma da outra, auxiliando no desenvolvimento da vida, logo, quanto mais se conhece a geodiversidade, maior será a possibilidade de proteção à biodiversidade.

Em acessão aos fatos descritos, conhecendo a importância da análise e avaliação em conjunto dos dois conceitos, este estudo tem como finalidade fazer testes de índices para uma análise quantitativa da geodiversidade, juntamente a biodiversidade, mas visto que a classificação da biodiversidade é complexa e abrangente, foi escolhido uma classe do grupo animalia, no caso a anfíbia.

O recorte territorial escolhido para o estudo é a Amazônia Legal, uma região composta por nove Estados que foi criada para fins de desenvolvimento econômico e social. E com esse tipo de estudo foi possível correlacionar os índices de geodiversidade com diversidade de anfíbios de forma espacial, permitindo subsidiar a identificação de áreas prioritárias para geoconservação, como também Unidades de Conservação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a correlação dos índices de geodiversidade e diversidade de anfíbios na região da Amazônia Legal.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar a representação geoespacial e temática dos elementos abióticos que compuseram a análise de geodiversidade e de anfíbios por meio de mapas;
- Classificar as áreas conforme seus índices de geodiversidade e diversidade de anfíbios;
- Comparar os índices e analisar a correlação espacial entre ambos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Evolução dos conceitos

3.1.1 Geodiversidade

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como ECO-92, Cúpula da Terra, surgiu uma nova visão sobre o meio abiótico, assegurando-lhe a mesma relevância que a concebida ao meio biótico (Gray, 2004). Foi ganhando assim a aprovação de cientistas em todo mundo, mas pelo fato de ser um conceito relativamente novo, é compreendido e abordado de maneiras distintas.

Uma das primeiras definições sobre o tema foi proposto por Sharples (1993), entendendo a geodiversidade como diversidade característica e sistemas terrestres. Mas foi em obras formuladas em anos seguintes que o autor estruturou suas ideias, definindo geodiversidade como o alcance de objetos geológicos, objetos geomorfológicos e a cobertura do solo, além de todos sistemas e processos que ocorrem entre eles (Sharples, 1995).

O que condicionou o conceito de geodiversidade em seu início, foi as discussões sobre o tema apenas entre a comunidade geológica, o que deixou esse conceito um pouco restrito, devendo assim ter tido dimensões maiores, abrangendo toda comunidade que trabalha com a gestão e ordenamento do território (Nieto, 2001). Essa comunidade geológica passou relativamente pouco tempo promovendo a geodiversidade do planeta, dando prioridade a diversidade de rochas, minerais e formas de relevo parcialmente. Sendo assim, um entendimento sobre a magnitude que os processos geológicos e geomorfológicos possuem na evolução e conservação da natureza ainda é um desafio (Gray, 2008).

Visto essa evolução do conceito de geodiversidade, podemos mencionar algumas citações nacionais sobre o assunto, conceituando geodiversidade como propriedades do meio físico de certa região, sendo elementos como a litologia, a geomorfologia, clima, pedologia e hidrografia, além de serem condicionantes para a formação de paisagens e diversidade biológica (Veiga, 1999).

A geodiversidade é resultado da interação de diversos fatores como as rochas, o clima, os seres vivos, entre outros, possibilitando o aparecimento de paisagens distintas em todo o mundo, estando associado a variedade de ambientes,

fenômenos, processos e elementos abióticos da Terra, remontando o passado e o presente (Brilha *et al.*, 2005).

Por meio das complexas relações entre geologia, litologia, pedologia, climas e processos naturais, é então possível as atividades dos seres vivos, bem como a distribuição de habitats e espécies. Assim como os recursos naturais que com o tempo se consolidaram, hoje são fundamentais para o desenvolvimento tanto econômico, quanto social (Jorge; Guerra, 2016).

3.1.2 Biodiversidade

Foi na década de 1980 que o termo diversidade biológica se tornou mais corrente no jargão científico, sendo resgatado pelo biólogo Thomas Lovejoy para toda a comunidade científica, o mesmo argumentava que a redução da diversidade biológica era a questão em pauta daquele tempo, visto o grande impacto das ações humanas sobre os sistemas biológicos do planeta.

Alguns anos à frente, o conceito de biodiversidade foi idealizado por Walter G. Rosen, em 1985, enquanto planejava a realização de um fórum sobre diversidade biológica, sendo esse evento realizado em Washington no ano seguinte, denominado *National Forum on BioDiversity* (Fórum Nacional sobre BioDiversidade). Tal fórum fora realizado em um momento de interesse pelo conhecimento da diversidade da vida e as preocupações com a sua conservação (Sarkar, 2002; Meine; Soulé; Noss, 2006). E então no ano de 1988 o termo biodiversidade apareceu pela primeira vez no livro organizado pelo prestigiado biólogo Edward O. Wilson, trazendo resultados do *National Forum on BioDiversity* (Franco, 2013).

Desde então, diversos autores contribuem com o tema, com definições e pesquisas na área, porém Hamilton (2005) afirma que, apesar do tema ser largamente utilizado em muitos trabalhos e debates, o termo raramente é definido, sendo algumas das definições existentes vagas, refletindo provavelmente a pouca clareza do conceito.

A biodiversidade é um conceito complexo e abrangente, envolvendo as espécies, genes, ecossistemas, bem como suas funções, podendo ser interpretado e analisado a vários níveis e escalas (Gray, 2004). Podendo ser expressa como toda a diversidade de organismos que vive em um dado espaço, incluindo todo banco genético, e a complexidade ecológica do ambiente físico, de paisagens, bem como a

diversidade das interações bióticas e de outros processos biológicos que contribuem para as funções ecossistêmicas (Metzger; Casatti, 2006).

Rawat e Agarwal (2015) ainda complementam que, além de sua importância na constituição da enorme variedade de habitats, comunidades bióticas e processos ecológicos na biosfera, a biodiversidade é essencial em vários pontos, como a promoção do valor estético natural do meio ambiente, contribuição para o bem-estar humano, bem como matérias-primas e produtos utilizados no dia a dia da humanidade.

3.1.2.1 Herpetofauna

A herpetofauna brasileira, é classificada como uma das mais ricas do planeta (Duellman, 1988, 1989, 1990, Rodrigues, 2005). Porém, ainda há certa deficiência em relação aos conhecimentos sobre as comunidades de répteis e anfíbios dos Neotrópicos, para que haja uma compreensão dos fatores que atuam em sua estruturação (Duellman, 1990).

O conhecimento sobre a herpetofauna da região Amazônica se encontra disperso em vários estudos, ou seja, não há ainda um conteúdo que generalize a região como um todo (Avila-Pires; Hoogmoed; Vitt, 2007). Também é fato que ao se estudar a fauna de uma região se faz necessária a quantificação e a classificação de espécies, sendo essas aproximadas, existindo ainda muitas incertezas, visto que novas espécies são descobertas periodicamente (Avila-Pires; Hoogmoed; Vitt, 2007).

Os trabalhos envolvendo anfíbios, apresentam alguns problemas taxonômicos, existindo certa incerteza no resultado final. No estudo de Duellman (1999) para a região da Amazônia houve o registro de duas espécies de salamandras, 28 de gimnofionas e 305 de anfíbios anuros. Enquanto no estudo de Caldwell (1996) houve o registro de 221 anfíbios anuros distribuídos por toda a região amazônica.

Os estudos sobre a herpetofauna na região Amazônica vem crescendo, mas ainda acabam sendo pontuais, sendo trabalhadas com amostragens rápidas, dando apenas uma breve noção do que pode ter de resultado esperado na região, não sendo representativo o suficiente para que comparações sejam adequadas (Avila-Pires; Hoogmoed; Vitt, 2007).

3.2 Relações entre geodiversidade e biodiversidade

Apesar da geodiversidade está diretamente ligada a biodiversidade, porém a sociedade dá mais importância aos conteúdos referentes a diversidade biótica, fazendo com que a diversidade abiótica, que faz parte da geodiversidade, muitas vezes sirva apenas como plano de fundo (Bruschi, 2007).

Sempre houve certa carência de estudos sobre geodiversidade, visto que, ao considerar a biodiversidade como linha de pesquisa, sempre houve inúmeras publicações científicas sobre o tema, enquanto a geodiversidade, somente nos últimos anos que começou aparecer em pesquisas, trabalhos acadêmicos, publicações e programas governamentais (Manosso; Pellitero Ondicol, 2012).

As relações entre os elementos bióticos e abióticos têm sido objetivos de pesquisas científicas desde há muito tempo, porém apenas nas últimas décadas as interações entre os dois termos se tornaram mais reconhecidas por ecólogos e especialistas em recursos naturais (Marston, 2010). Este atraso deve-se, à falta de interdisciplinaridade em termos de investigação, caso por exemplo entre ecólogos e geomorfólogos, que consideraram aquelas interações como unidirecionais por demasiado tempo (Reinhardt *et al.*, 2010).

Apesar da dificuldade de relacionar geodiversidade e biodiversidade, é importante o conhecimento do fato que, em maior ou menor medida, cada uma destas condiciona o desenvolvimento e evolução da outra (Carcavilla, 2006).

Como ambos os temas são complementos, é grande a importância de estudos em conjunto, e exemplos dos benefícios dessa integração são descritos por Brilha *et al.* (2005) e Oliveira, Souza Pedrosa e Rodrigues (2013), visto que a geodiversidade e a biodiversidade são consideradas importantes ferramentas para ações conservacionistas, e quando abordadas em conjunto, tornam-se ainda mais efetivas.

3.3 Metodologias de avaliações quantitativas da geodiversidade

A análise da geodiversidade pode ser realizada de diferentes formas, e diferentes metodologias vêm sendo aplicadas ao longo dos anos, e conhecê-las e descrevê-las se torna fundamental para uma melhor e mais fundamentada compreensão da temática. A seguir exemplos de algumas metodologias em ordem cronológica.

3.3.1 Metodologia de Xavier da Silva *et al.* (2001)

Nesta metodologia, é considerado que a variabilidade ambiental deve ser analisada tendo por base um parâmetro ambiental estruturante, a partir do qual se pode partir para a análise de outros parâmetros ambientais. A geomorfologia foi aqui considerada como o parâmetro base de análise.

Partindo de uma base de dados geocodificada (1 pixel = 1 hectare), que englobou em termos territoriais um setor da região de Manaus (escala 1:1.000.000), produziram-se 6 mapas, denominados por planos de informação:

- Mapa fitoecológico;
- Mapa exploratório de solos;
- Mapa geomorfológico;
- Mapa geológico;
- Alinhamentos do mapa geomorfológico;
- Alinhamentos do mapa geológico.

Estes planos de informação tiveram como base vários mapas temáticos, disponibilizados pelo projeto RADAMBRASIL. Após análise em ambiente SIG (SAGA/UFRJ), foram gerados dois mapas adicionais:

- Mapa de síntese, contendo os indicadores de geodiversidade múltipla;
- Mapa de síntese, contendo os indicadores de geodiversidade múltipla ponderada.

A propósito dos indicadores de geodiversidade, referidos nos mapas adicionais, considera que o conceito de geodiversidade representa a variabilidade de características ambientais de determinada área geográfica, variabilidade esta analisada pelos seguintes índices de geodiversidade:

- Índice de Geodiversidade Específica (e) e de Geodiversidade Específica Posicional (e*);
- Índice de Geodiversidade Múltipla Simples (m) e de Geodiversidade Múltipla Simples Posicional (m*);
- Índice de Geodiversidade Múltipla Ponderada (p) e de Geodiversidade Múltipla Ponderada Posicional (p*).

Como complemento da análise possibilitada pelos indicadores de geodiversidade, os autores apresentam uma matriz de correlações, a qual permite

analisar de forma mais sucinta a relação dos vários parâmetros ambientais, face ao parâmetro base, a geomorfologia.

Enfim, esse método revela-se pouco intuitivo, nomeadamente no que concerne à compreensão de correlações que à partida seriam elevadas, caso dos alinhamentos geologia e alinhamentos geomorfologia. Contudo, importa destacar que este terá sido um dos primeiros métodos de quantificação da geodiversidade, o que naturalmente condiciona uma análise já por si complexa.

3.3.2 Metodologia de Serrano & Flaño (2007)

Serrano & Flaño (2007) desenvolveram uma metodologia própria para estimar a geodiversidade, e a mesma deve ser utilizada em conjunto com outras avaliações, caso dos estudos sobre biodiversidade, cultura e etnografia.

Este método de avaliação quantitativa da geodiversidade, possibilitado pela criação de um índice demonstrado na tabela 1, foi aplicado na região de Tiermas-Caracena, setor sul da província de Soria, na Espanha.

Tabela 1. Valores limites das classes de geodiversidade

Geodiversidade	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Índice	<15	15-25	25-35	35-45	>45

Fonte: Serrano & Flaño (2007)

O processo de avaliação desenvolvido por Serrano & Flaño (2007), divide-se em três fases:

- Análise dos elementos/características abióticas;
- Determinação de unidades geomorfológicas, as quais são a base da avaliação da geodiversidade;
- Avaliação de unidades.

Tendo por base o descrito na última fase da metodologia, Serrano & Flaño (2007) apresentam a seguinte fórmula para a determinação de um índice de geodiversidade:

$$Gd = \frac{Eg \cdot R}{\ln S}$$

Onde:

Gd = Índice de Geodiversidade;

Eg = Número dos diferentes elementos físicos das unidades;

R = Coeficiente de rugosidade da unidade;

S = Área superficial da unidade (km²).

A topografia e as variações micro e topo-climáticas são representadas pelo coeficiente de rugosidade (R). A sua inclusão é sustentada pelo papel importante de ambos os parâmetros, na energia e fluxos de materiais ocorridos nas vertentes e, desta forma, na diversidade e distribuição das formas de relevo, solos e processos.

Relativamente ao valor de rugosidade, os autores referem que este é estabelecido a partir das vertentes dominantes em cada uma das unidades geomorfológicas, tendo sido elaborado um mapa de vertentes no qual estas são diferenciadas em cinco intervalos (< a 5°; de 6° a 15°; de 16° a 25°; de 26° a 50°; >50°), onde o coeficiente de rugosidade de cada unidade corresponde ao intervalo dominante da unidade.

Então são representadas unidades geomorfológicas identificadas na área de trabalho, bem como a sua respectiva área (km²), o número de elementos presentes em cada uma destas unidades, o coeficiente de dureza, o índice de geodiversidade e o valor de geodiversidade associado a cada uma das unidades geomorfológicas.

Uma das particularidades que importa destacar em primeira análise é o fato de este método permitir uma comparação mais fácil, à mesma escala, entre territórios diferenciados.

Os autores referem a necessidade de se confirmar os resultados em áreas com maiores diferenciações internas, além de possíveis melhoras na metodologia. Destacam também a necessidade de incorporação de outros elementos, caso da paleontologia e das micro-formas.

3.3.3 Metodologia de Zwolinski (2009)

Zwolinski (2009) propõe uma metodologia de quantificação aplicada à diversidade das formas de relevo, que resulta em um mapa da geodiversidade. Genericamente, esta metodologia decorre da elaboração de três mapas base: um mapa relativo às formas de relevo, um mapa de fragmentação das formas de relevo e um mapa de preservação das formas de relevo.

Estes três mapas base são posteriormente utilizados para a elaboração do mapa final, baseado na assumpção de que uma forma de relevo é definida por:

- Contraste hipsométrico;

- Grau de fragmentação tectónica e erosiva do relevo;
- Estado de preservação do relevo, como um efeito da cobertura natural do solo, ou então a sua transformação como resultado de mudanças do uso do solo, derivadas das atividades antrópicas.

Estas três condições possibilitam a criação de uma base para a elaboração dos três mapas que representam a estrutura fundamental utilizada na elaboração do mapa final:

- O mapa da energia das formas de relevo, derivado da transformação numérica de um Modelo Digital de Terreno (SRTM-3, elipsóide WGS-84), com resolução horizontal entre 90 a 30 metros e resolução vertical de 1 metro;
- O mapa de fragmentação das formas de relevo criado a partir de um mapa geomorfológico (1:500.000) e de mapas hipsométricos.
- O mapa de conservação das formas de relevo contemporâneas, resultado de pós processamento da Base de Dados *Corine Land Cover* com uma resolução espacial de 250 metros.

Na modelação da geodiversidade das formas de relevo, Zwolinski (2009) apresenta duas alternativas:

$$GdL_d = \frac{LE_{0 \rightarrow N} + LF_{0 \rightarrow N} + SP_{0 \rightarrow N}}{T_{0 \rightarrow N}}$$

Ou:

$$GdL_s = \frac{LE_0 + LF_0 + SP_0}{T_0}$$

Onde:

GDLd = Geodiversidade dinâmica das formas de relevo;

GDLs = Geodiversidade estática das formas de relevo;

LE = Elevação local ou elevação relativa;

LF = Fragmentação das formas de relevo (segmentação);

SP = Estado atual da conservação das formas de relevo (processos naturais vs processos antrópicos);

T = Evolução do relevo ao longo do tempo;

0 → N = Número de etapas do desenvolvimento das formas de relevo;

0 = Observação do desenvolvimento das formas de relevo a determinado momento.

Para cada um dos mapas analíticos, foi produzida uma escala de 5 níveis para as classes de geodiversidade:

- Geodiversidade muito elevada – 5 pontos;
- Geodiversidade elevada – 4 pontos;
- Geodiversidade média – 3 pontos;
- Geodiversidade reduzida – 2 pontos;
- Geodiversidade muito reduzida – 1 ponto.

3.3.4 Metodologia de Manosso (2012)

A metodologia desenvolvida por Manosso (2012) teve fundamento em outras metodologias, como a de Serrano & Flaño (2007), onde nesse estudo desenvolveu uma quantificação da geodiversidade na Serra do Cadeado, situada no Estado do Paraná. Esse estudo foi centrado nas seguintes análises:

- Diversidade;
- Frequência;
- Distribuição de um determinado número de elementos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, paleontológicos e hidrográficos.

A particularidade deste estudo é ter sido desenvolvido a nível de unidades de paisagem e não centrado totalmente sobre a quantificação da geodiversidade, assegurando-lhe grande importância.

O autor partiu de uma base cartográfica constituída por um banco de dados altimétricos, por um mapa de solos e um mapa geológico do Estado do Paraná, procedendo à respectiva análise, a nível de paisagem e de compartimentação.

Em etapa seguinte, há o cruzamento dos elementos solos, geologia, uso da terra e declividade em software, permitindo delimitar os compartimentos de paisagem que serviram de base para um estudo abrangente que incluiu também a quantificação da geodiversidade.

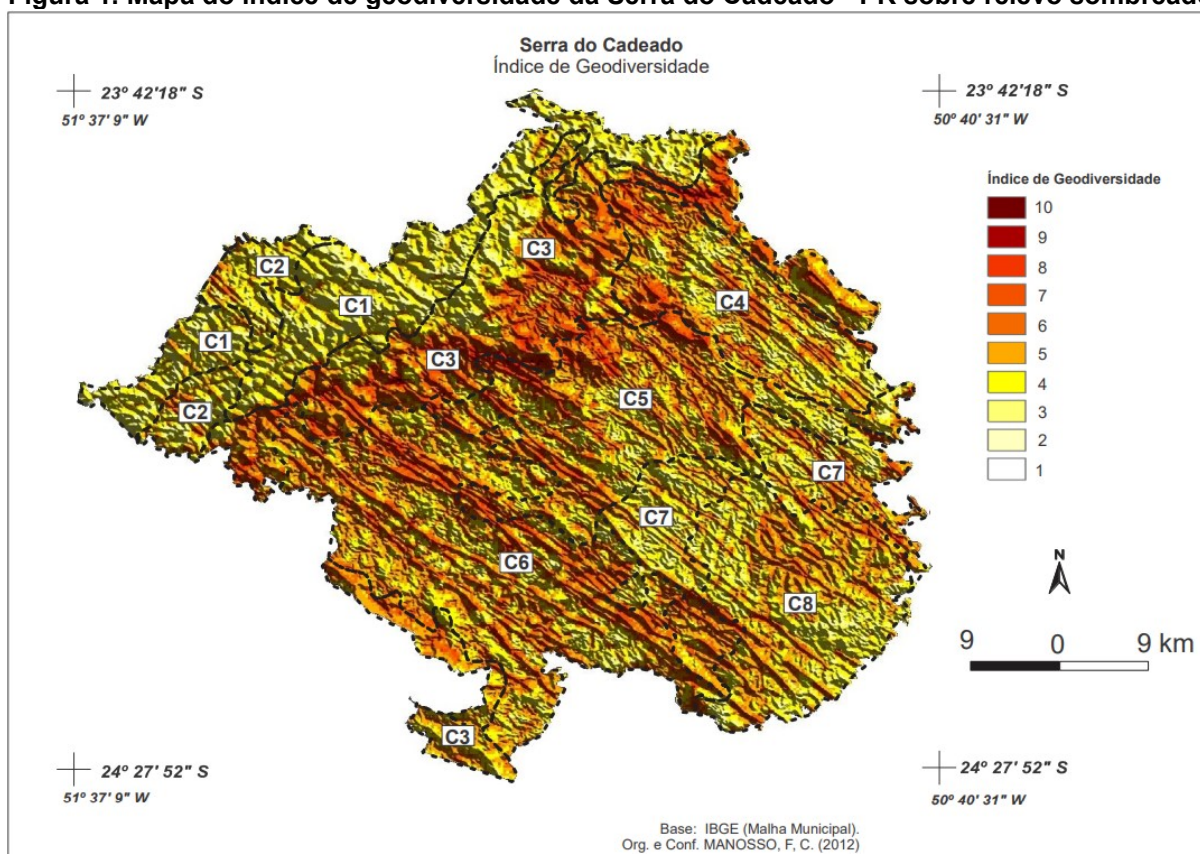
Já para a análise da distribuição espacial da geodiversidade, foi elaborado uma grade, com 11 hectares por célula, permitindo a contabilização de cada um dos elementos presentes na tabela 2, o que possibilitou a quantificação através do índice de riqueza. A cada um dos elementos presentes por cada pixel de 11 hectares, correspondeu um raster, sendo que os rasters presentes foram somados de forma a que, no final, se tivesse um índice de geodiversidade, como demonstrado na figura 1.

Tabela 2. Quantificação dos elementos da geodiversidade por compartimento de paisagem e o Índice de riqueza

Elementos da Geodiversidade		Número de Elementos							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Aspectos Geológicos	FORMAÇÕES	1	1	3	2	2	6	5	5
	ROCHAS	2	3	8	5	5	10	7	14
	DENSIDADE LINEAMENTOS	0	7	0	14	7	14	7	0
Aspectos Pedológicos	CLASSES DE SOLO	7	4	12	5	7	5	6	6
Aspectos Geomorfológicos	FORMAS	3	2	9	3	4	3	2	3
	DECLIVIDADE	0	0	14	7	7	7	0	0
	GRADIENTE do RELEVO	14	7	14	7	14	7	7	7
	Orientação de vertente	14	7	0	7	0	0	0	7
Aspectos Paleontológicos	AMBIENTES PRETÉRITOS	0	0	3	7	7	10	5	6
	FÓSSEIS	0	0	7	7	7	13	7	13
Aspectos Hidrográficos	TIPO DE DRENAGEM	0	0	7	7	0	7	7	7
	DENSIDADE DE DRENAGEM	0	14	0	14	0	14	14	0
	TOTAL DE ELEMENTOS	41	45	77	85	60	96	67	68
	ÍNDICE DE RIQUEZA DA GEODIVERSIDADE	1,13	2,02	2,04	2,84	2,33	2,59	1,79	2,05
	ln	6,31	5,09	6,78	5,98	6,45	6,79	5,94	6,26

Fonte: Manosso (2012) adaptado de Serrano & Flaño (2007)

Figura 1. Mapa do índice de geodiversidade da Serra do Cadeado - PR sobre relevo sombreado



Fonte: Manosso (2012)

Manosso (2012) destacou que os compartimentos que obtiveram menores índices de geodiversidade, estão associados a áreas de menor rugosidade, áreas com

um menor número de formas e de litologias e com uma baixa configuração de rede de drenagem.

3.3.5 Metodologia de Pereira *et al.* (2013)

A metodologia de quantificação da geodiversidade elaborado por Pereira *et al.* (2013) tem como estudo o estado do Paraná, totalizando uma área de 200.000 km². Nesta metodologia, é desenvolvido um índice de geodiversidade, resultado da soma de 5 índices parciais:

- Índice geológico;
- Índice geomorfológico;
- Índice paleontológico;
- Índice pedológico;
- Índice de ocorrências minerais.

Estes índices são calculados através de um sistema de grade, sendo a quadriculada de escolha dele, em um tamanho de 25 por 25 km.

O primeiro índice, geológico, teve como base um mapa geológico à escala 1:500.000. Foram consideradas quer as unidades estratigráficas (formações e grupos), quer as unidades litológicas (basaltos, granitos), contando-se então quantas, das 45 existentes em toda a área de estudo, existiam em cada uma das quadrículas.

No segundo índice, geomorfológico, teve-se em conta o relevo à escala 1:650.000, o qual foi dividido em 3 níveis hierárquicos, ou seja:

- Unidades morfoestruturais;
- Unidades morfoesculturais;
- Subunidades morfoesculturais.

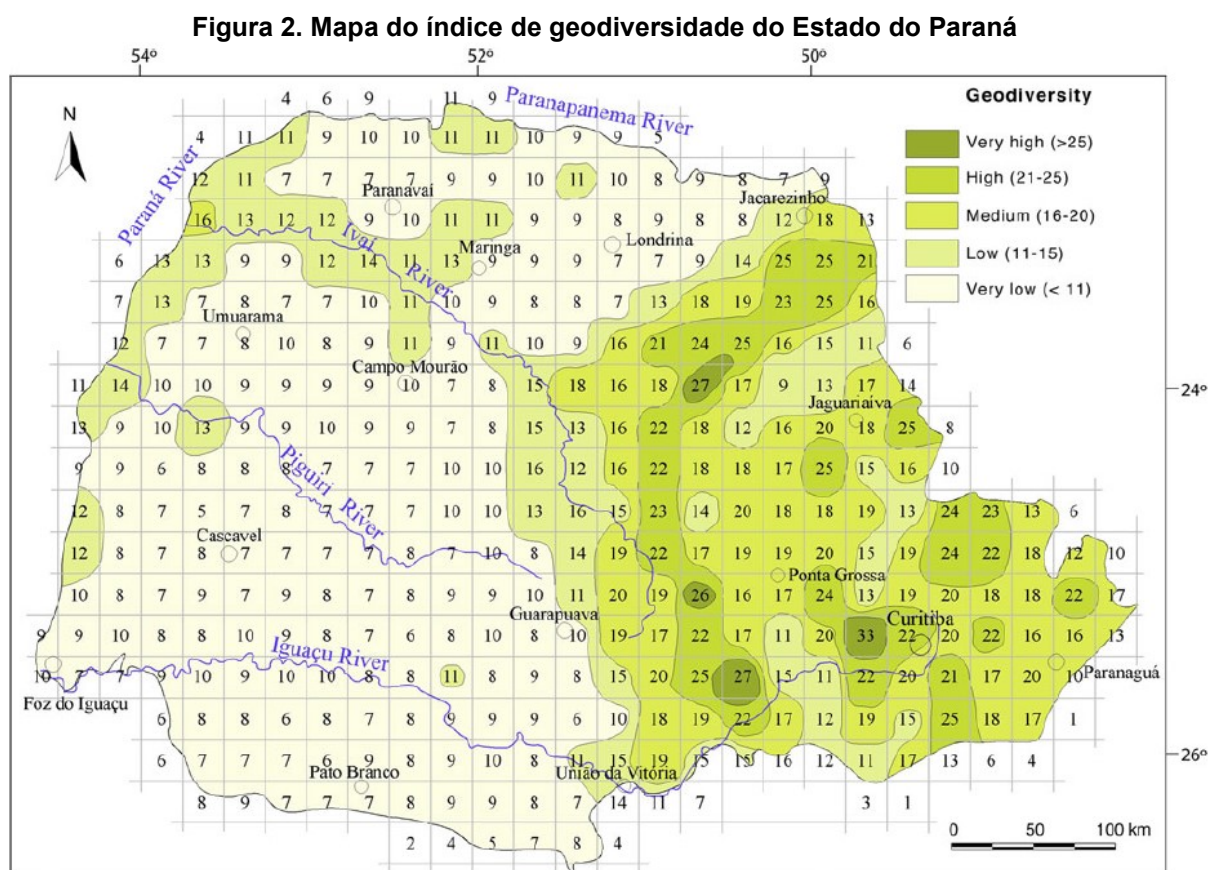
O índice paleontológico corresponde ao número de diferentes formações fossilíferas em cada quadrícula.

A pedologia, efetuada na base do mapa de solos à escala 1:600.000, foi calculado de acordo com o número de ordens encontradas em cada uma das quadrículas.

Já o índice de ocorrências minerais, teve em conta vários elementos, a saber, os minerais, as fontes de energia, as águas minerais e as nascentes.

Após calculados os valores para cada índice parcialmente, calcularam então o índice de geodiversidade, resultante da soma dos índices parciais. E por fim foi

criado um mapa de isolinhas demonstrado na figura 2, com 5 classes, que mostra a variação da geodiversidade no Estado do Paraná.



3.3.6 Metodologia de De Paula Silva et al. (2021)

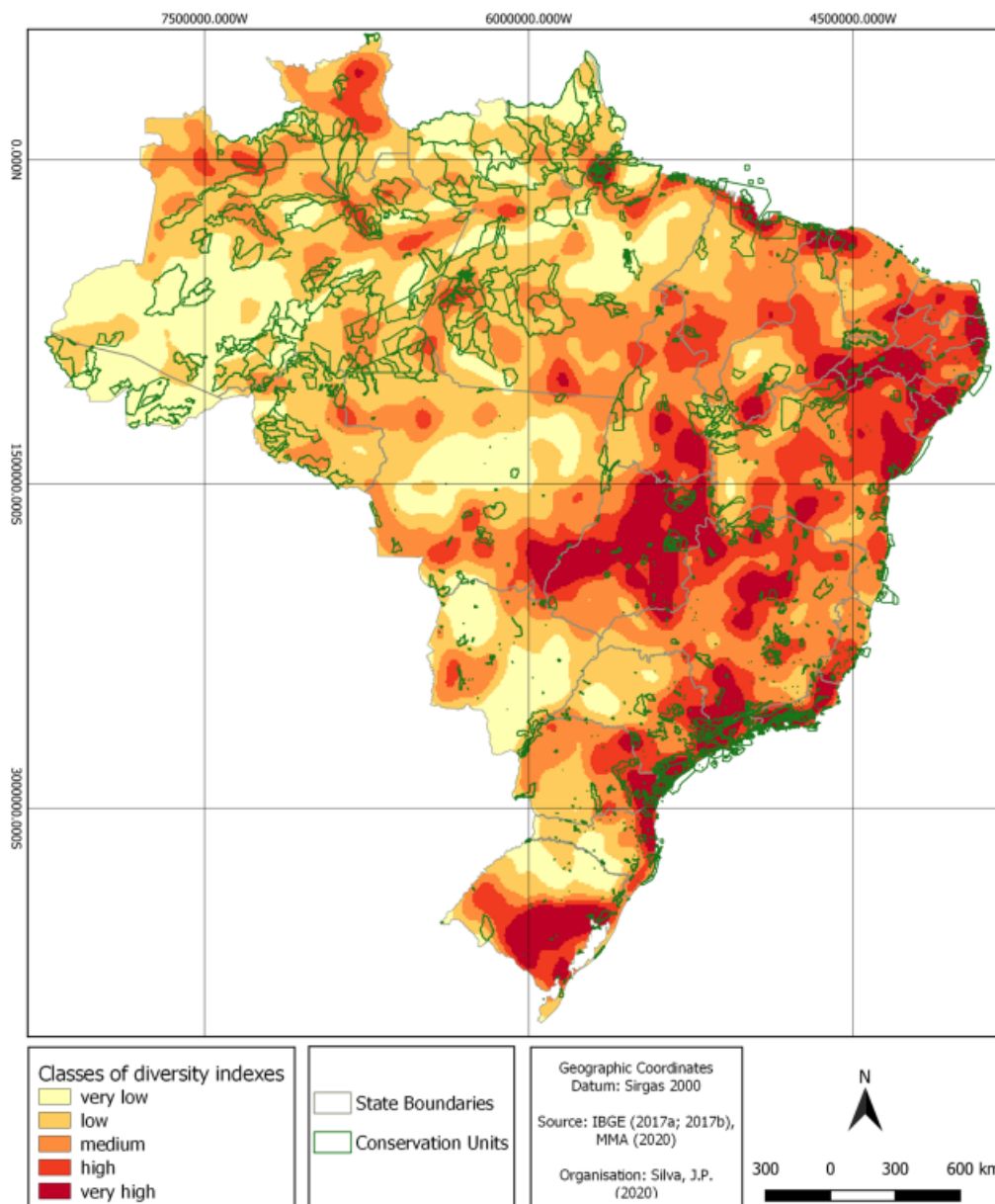
O trabalho realizado por De Paula Silva et al. (2021) é um dos mais recentes publicados, o local de estudo nesse caso foi o território brasileiro como um todo. Os autores utilizaram três elementos que compõe a geodiversidade: geologia, geomorfologia e pedologia.

Neste método foi utilizado a sobreposição de polígonos dos elementos, gerando assim pontos com uma posterior reclassificação do raster por Kernel, permitindo a análise dos subíndices separadamente. Em seguida houve a união do centroide desses elementos, e novamente a reclassificação por Kernel, mas agora visando o mapa de índices de geodiversidade.

Com os procedimentos anteriores houve a criação de mapas com a reclassificação dos rasters em quebras naturais dos intervalos, sendo dividido em 5 classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Além disso, os autores trouxeram

uma análise entre o mapa do índice de geodiversidade e as unidades de conservação brasileiras e as áreas onde projetos de geoparques estão sendo desenvolvidos, como demonstrado na figura 3.

Figura 3. Espacialização de unidades de conservação no Mapa Índice de Geodiversidade do Brasil



Fonte: De Paula Silva *et al.* (2021)

3.4 Métodos quantitativos de avaliação da biodiversidade

Os métodos mais comumente usados para a quantificação da biodiversidade é a contagem de espécies, método igualmente utilizado nas diferentes abordagens de mapeamento (Hamilton, 2005).

E conforme explanado por Dinerstein *et al.* (2000), os níveis de escala tradicionalmente mais reconhecidos pelos ecólogos, em estudos de quantificação de biodiversidade, são:

- Global;
- Continental;
- Regional (epsilon);
- Paisagem (Gama);
- Ao longo de um gradiente (Beta);
- Dentro de uma comunidade (Alfa).

Hamilton (2005) ainda menciona que, genericamente, tem havido duas abordagens à diversidade de espécies, ambas incorporando o número de espécies (riqueza de espécies) e a abundância relativa de indivíduos dentro de cada espécie (abundância de espécies). A primeira abordagem, segundo o mesmo autor, foi a de elaborar índices matemáticos, conhecidos como índices de diversidade. Relativamente à segunda abordagem, esta envolve a comparação de padrões de abundância de espécies aos modelos teóricos de abundância de espécies.

Os índices mais comuns são o índice de informação Shannon & Weaver e o índice de diversidade de Simpson, índices estes que se generalizaram a partir da década de 60 (Araújo, 1998).

Margalef (1963) também elaborou uma fórmula, a qual utiliza os logaritmos de fatorial. Essa fórmula nos oferece unicamente a diversidade da amostra, ao contrário da fórmula de Shannon que permite estimar a diversidade da população, quando o número de células e espécies são elevados.

Apresentam-se as respectivas fórmulas de cálculo:

- Índice de Shannon (H1):

$$H1 = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln(p_i)$$

Onde:

S = número total de espécies;

Pi = abundância relativa da espécie i.

- Índice de Simpson (H2):

$$H2 = \sum_{e=1}^s \frac{n_e \cdot (n_e - 1)}{N \cdot (N - 1)}$$

Onde:

n = número total de organismos de uma espécie específica;

N = número total de organismos de todas as espécies;

O valor D varia entre 0 e 1, sendo que 1 representa diversidade infinita e 0 diversidade alguma.

- Índice de Margalef (H3):

$$H3 = \frac{1}{N} \cdot \log \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_s!}$$

Onde:

N = número de células observadas na amostra;

n1 n2 ... ns = número de células de cada espécie.

3.4.1 Relações entre biodiversidade e geodiversidade

Ainda há certa escassez de trabalhos publicados que correlacionem a biodiversidade com a geodiversidade. Um exemplo de estudo relacionando esses dois temas é o de Soldateli, Barboza e Da Camara (2011), o qual analisaram as relações entre a biodiversidade e a geodiversidade na Unidade de Conservação do Parque Estadual da Itapeva, localizado no município de Torres, litoral norte do Rio Grande do Sul.

Neste estudo foram utilizadas inicialmente imagens de sensores remotos e interpretadas produzindo-se uma carta imagem, como também medidas com bússola para verificar a sua tendência de migração, além de pontos demarcados com GPS.

A diversidade da flora foi analisada através de ilhas de vegetação na planície úmida e vegetação rasteira em áreas secas e úmidas através do método de parcelas, enquanto a fauna foi observada através de armadilhas para captura de insetos e para captura de mamíferos. Já os répteis, os anfíbios e as aves foram visualizadas e contabilizadas pelos métodos dos transectos e dos quadrantes.

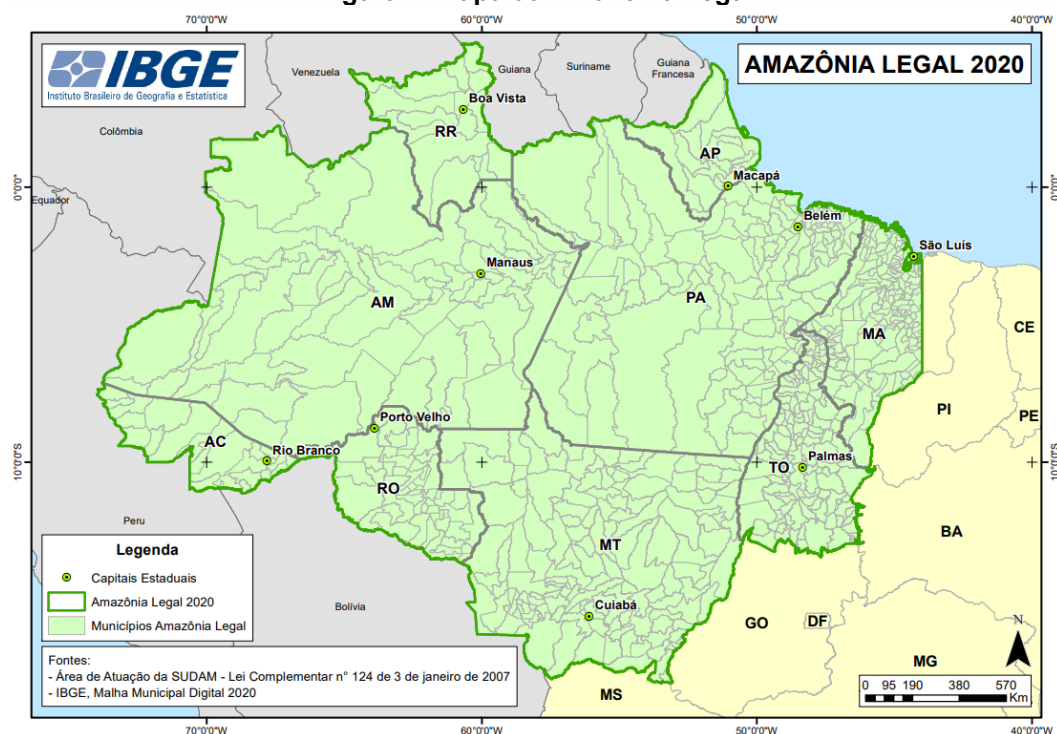
E conforme os resultados obtidos, os autores concluíram que mesmo o parque não tendo grande extensão área, possui grande geodiversidade, e que a fauna e a flora, tem a sua distribuição e abundância extremamente relacionadas com essa geodiversidade.

3.5 Caracterização da área de estudo

O termo Amazônia Legal surgiu a partir de iniciativas políticas com a criação da Lei nº 1.806 de 06 de janeiro de 1953, sendo uma maneira de desenvolvimento dos estados que estão em seus limites, visto que sempre enfrentaram barreiras político-sociais, visando o crescimento econômico e social (Martha Júnior; Contini; Navarro, 2011).

A região possui uma área de aproximadamente 5.217.423 km², que corresponde a aproximadamente 60 % do território brasileiro, e é composta por nove estados, sendo eles o Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e Mato Grosso, bem como pelos Municípios do Estado do Maranhão situados ao oeste do Meridiano 44°, como demonstrado na figura 4. Além de abrigar o mais extenso bioma brasileiro, a Amazônia, correspondendo a 1/3 das florestas úmidas do planeta (IBGE, 2020).

Figura 4. Mapa da Amazônia Legal



Fonte: IBGE (2020)

3.5.1 Clima

O clima da região conforme a classificação de Köppen, se enquadra no grupo chuvoso A, o qual apresenta os tipos climáticos Af, Am e Aw. A estação seca bem definida abrange apenas 52% da área, mas 20% da região Amazônica apresenta clima tropical chuvoso sem estação seca definida, enquanto o restante da área (28%) tem clima tropical chuvoso com período seco de até 90 dias (Demattê, 1988; Demattê & Demattê, 1996).

Em relação aos índices pluviométricas, principalmente nas áreas abrangidas pelos climas Am e Aw, distribuem-se em duas épocas distintas. O período de maiores chuvas inicia-se entre novembro e dezembro, e se prolongam até maio a junho, enquanto o período que apresenta menores precipitações ocorrem durante os demais meses do ano. Os índices pluviométricos situam-se na faixa de 1.300 a 3.500 mm (Demattê & Demattê, 1996; Serrão *et al.*, 1982).

3.5.2 Pedologia

A diversidade de solos da região é considerada um reflexo dos fatores de formação como relevo, geologia, clima, bióticos e feições da paisagem. Separando a Amazônia Legal em porções, a região norte apresenta domínio das savanas, predominando os Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos Distrocoeos, Plintossolos Pétricos Concrecionários, com fragmentos de Latossolos Vermelho-Amarelos E Argissolos Vermelho-Amarelos (Do Vale Júnior *et al.*, 2011).

A região central é caracterizada por uma região sedimentar (sedimentos terciários a holocênicos), estando associados a Latossolos Amarelo Distrófico e Distrocoeso, Argissolo Amarelo Distrófico e Plintossolos (Do Vale Júnior *et al.*, 2011).

Já a porção sul e oeste apresenta solos eutróficos e argilas de alta atividade, caracterizando-se por uma pedologia mais homogênea, com presença de Luvisolos, Cambissolos e Vertissolos (Do Vale Júnior *et al.*, 2011).

3.5.3 Geologia

A região possui uma diversidade geológica alta, tendo uma bacia sedimentar predominante, formações cristalinas e sedimentares. Essas formações sedimentares estão assentadas sobre o Craton Amazônico, na porção central, destacando-se as

formações Içá e Alter do Chão, no norte a Formação Boa Vista e na porção oeste (Do Vale Júnior *et al.*, 2011).

3.5.4 Geomorfologia

O relevo possui predomínios de superfícies aplainadas e depressões, seguidas de planícies fluviais e fluvio-marinhas, recortando essas superfícies surgem relevos residuais (Serras) altos planaltos e planaltos rebaixados, caracterizando uma diversidade de unidades de relevo, possuindo grande heterogeneidade de paisagens, com número significativo de bacias hidrográficas independentes (Do Vale Júnior *et al.*, 2011).

3.5.5 Fauna e flora

A Amazônia detém uma alta diversidade biológica, possuindo uma grande diversidade de plantas, estima-se que a região abrigue cerca de quarenta mil espécies vasculares de plantas, das quais trinta mil são endêmicas à região (Mittermeier *et al.*, 2003). Além de uma alta diversidade de fauna, como por exemplo a diversidade de espécies de peixes, totalizando aproximadamente 3 mil espécies, isso se dá pela sua extensa bacia hidrográfica (Martha Júnior; Contini; Navarro, 2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Índice de geodiversidade

A metodologia utilizada para a geodiversidade, foi o princípio utilizado por Pereira *et al.* (2013), que para obter-se o índice de geodiversidade, é necessário definir índices parciais calculados a partir de diferentes bases cartográficas que representam cada elemento da geodiversidade.

A elaboração e testes de índices foram realizados através dos elementos abióticos de formações geológicas, compartimentos geomorfológicos e classes de solo, todos em uma escala de 1:250.000.

Após o levantamento e organização da base cartográfica, houve a criação de grades no software QGIS, optando pelas formas hexagonais contínuas (regulares), a escolha dessa forma geométrica é porque essa rede de figuras geométricas cobre o maior espaço com a menor área. Para o espaçamento das células, levando em conta o tamanho da área em estudo, foram criadas cinco grades de tamanhos diferentes: 500km, 250km, 100km, 50km e 25km, e assim cada uma possibilitando quantificar feições de cada elemento da geodiversidade em níveis de detalhamentos diferentes.

O sistema de projeção que foi trabalhado, é o *Datum World Geodetic System-1984* (WGS-84, EPSG:4326), sendo este, um sistema de coordenadas geográficas, utilizado para grandes extensões de área, não sendo aplicado uma superfície de projeção ou projeção cartográfica, e devido a esse sistema ter um caráter curvilíneo, os valores para as dimensões das grades inseridos no QGIS foram em graus e depois convertidos em quilômetros através de regra de três simples, como demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Valores para a dimensão das grades de graus para quilômetros

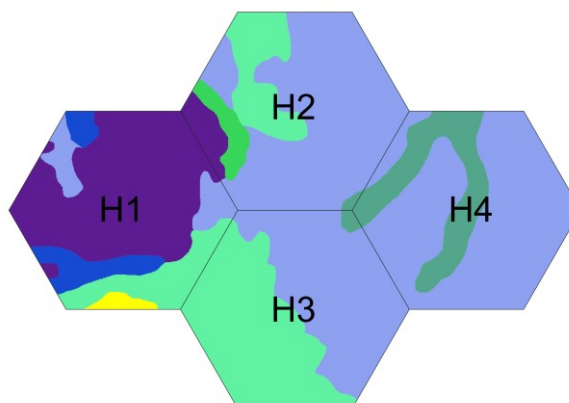
Grades	Valor (°)	Valor (km)
Grade 01	4,521817771	500
Grade 02	2,260908885	250
Grade 03	0,904363554	100
Grade 04	0,452181777	50
Grade 05	0,226090888	25

Fonte: Autoria própria (2022)

Os itens foram categorizados, e por meio dessa categorização foram realizadas as contagens para cada tamanho de grade, onde foram contadas a

quantidade de feições de cada elemento no interior de cada célula da grade, conforme a figura 5.

Figura 5. Exemplo de avaliação do índice de classe de solos em grade de 100x100 km



Fonte: A autoria própria (2022)

Conforme demonstrado na figura 4, as diferentes cores representam classes de solos, sendo os valores dos hexágonos $H1 = 5$, $H2 = 4$, $H3 = 3$ e $H4 = 2$.

Com isso foi possível realizar a somatória para a geodiversidade, somando linha por linha da tabela de atributos, que representam as células da grade hexagonal dentre todos os elementos, formando assim uma nova coluna com o nome de “Geodiversidade”, que então permitiu gerar um mapa do Índice de Geodiversidade, para cada tamanho de grade.

4.2 Índice da diversidade de anfíbios

Para representar, de uma forma parcial, a biodiversidade, foi escolhido uma classe do grupo Animália, neste caso a Anfíbia e a partir dela foram pesquisados todos os registros e dados de sua ocorrência em diferentes plataformas, para observar o detalhamento de cada uma. Os dados de anfíbios foram coletados na plataforma digital Species Link e GBIF Occurrences, gerando todos os registros de ocorrências.

Algumas limitações foram encontradas no decorrer do estudo com a disposição de dados espaciais de anfíbios, visto que muitas áreas ainda não foram inventariadas, ou mesmo quando inventariadas os dados ainda não constam no GBIF, ou seja, a maioria dos dados estão dispostos próximos a capitais ou centros de pesquisas, não oferecendo uma distribuição espacial homogênea de ocorrências ao longo da área de estudo como um todo.

E para analisar a distribuição desses pontos, foram confeccionados mapas de calor de Kernel, classificados em 5 classes, variando de azul para muito baixa, até vermelho para alta densidade.

E conforme os fatos apresentados anteriormente, foi utilizado apenas a grades de 500 km, visto que foi a única grade que não apresentou células vazias (sem dados espaciais de anfíbios, uma vez que os dados não são contínuos como o da geodiversidade), porém o detalhamento com essa grade não mostrará toda realidade da região.

Então calculou-se o índice de diversidade de anfíbios pelo mesmo método de Pereira *et al.* (2013) como também os índices de riqueza de Margalef, Shannon-Wiener e Simpson.

Tabela 4. Fórmulas para cálculo do índice de biodiversidade

Índices	Fórmulas
Margalef	$H = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$ (eq. 01)
Shannon-Wiener	$H = - \sum pi \times \ln(pi)$ (eq. 02)
Simpson	$H = 1 - \sum pi^2$ (eq. 03)

Fonte: Autoria própria (2022)

Em relação a estes índices, o índice de Margalef leva em consideração somente a riqueza, sendo “S” o número de espécies e “N” o número total de indivíduos. Esse índice mostra a riqueza específica do local, fazendo referência ao número total de indivíduos, ou seja, quanto maior o valor maior a diversidade do local da amostragem (Kanieski *et al.*, 2012).

Para o índice de Simpson, é mostrada a dominância das espécies da amostragem. Tanto no índice de Shannon-Wiener, quanto Simpson levam em consideração a riqueza e a equabilidade, sendo “pi” a relação de espécies dividida pelos indivíduos totais do local amostrado (Kanieski *et al.*, 2012).

4.3 Autocorrelação espacial

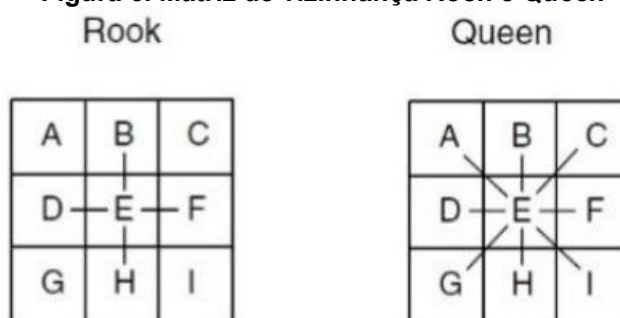
Após espacializar e representar cartograficamente os índices de geodiversidade e diversidade de anfíbios, os dados e informações encontrados foram correlacionados espacialmente entre si, tornando possível avaliar e observar a distribuição dos índices encontrados. Essa correlação é feita em razão da

geoestatística, que se utiliza de variáveis regionalizadas para avaliar a variabilidade espacial de acordo com a semelhança entre as células amostrais da grade hexagonal vizinhas georreferenciadas.

Foi utilizado o software GeoDa para tal correlação, sendo esse software utilizado para análises estatísticas de autocorrelação espacial e análise de regressão espacial básica.

Com os dados da diversidade de anfíbios e de geodiversidade, por meio das ferramentas do software GeoDa foi criada primeiramente uma matriz de vizinhança com peso de contiguidade “*Queen Contiguity*”, ou seja, contiguidade da Rainha, que se assemelham às movimentações das peças do jogo de xadrez, onde a rainha tem vizinhança nas verticais, horizontais e diagonais, como representado na figura 6.

Figura 6. Matriz de vizinhança Rook e Queen



Fonte: Oliveira et al. (2018)

Então foi utilizado o princípio do Índice Local de Moran, utilizado para testar a autocorrelação local, além de detectar objetos espaciais com influência no indicador Moran Global, ou seja, enquanto o global informa o nível de interdependência espacial entre todos os polígonos em estudo, o local faz uma avaliação da covariância entre um polígono e uma certa vizinhança definida em função de uma distância (Anselin, 1995).

Esse índice possibilitou uma indicação sobre a extensão da significância de um “*cluster*” de iguais valores, que são basicamente conglomerados espaciais, também definido por Santos (2015), como sendo uma determinada área em que a ocorrência de casos de certo fenômeno de interesse apresenta divergência do restante do mapa, podendo ser alta ou baixa demais.

As variáveis escolhidas foram a geodiversidade e diversidade de anfíbios, que após o processamento deram valores de significância, representados entre 0 e 1

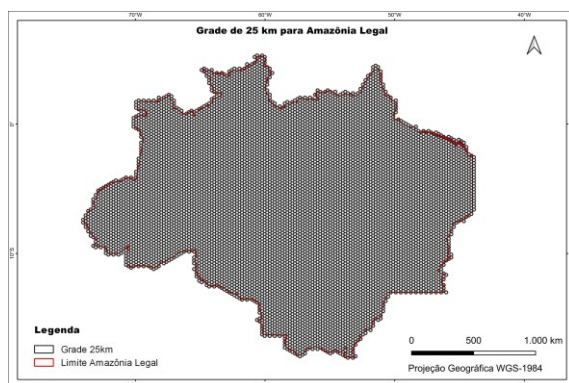
(indicando uma autocorrelação espacial positiva), entre 0 e -1 (indicando uma autocorrelação espacial negativa) ou igual a zero (ausência de correlação). E tais resultados foram expressos em mapas de significância, mapas de dispersão e diagramas de dispersão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Tamanhos de grades

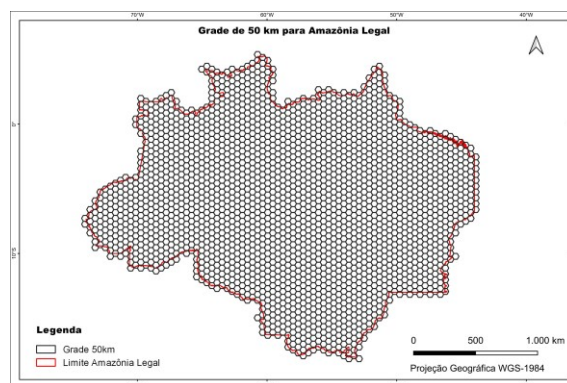
Foram testadas grades de diversos tamanhos (Figuras 7 a 11) e demonstradas em mapas sobrepondo o limite da Amazônia Legal, mas a definição do tamanho ideal da célula, no entanto, envolve várias questões metodológicas, como garantir uma interpretação melhor das condições naturais e fornecer dados suficientes para modelagens estatísticas, visando sempre o tamanho da área e suas escalas. Cada tamanho testado, dispõe de uma quantidade de células diferentes, posteriormente níveis de detalhamento distintos.

Figura 7. Grade hexagonal de 25x25km



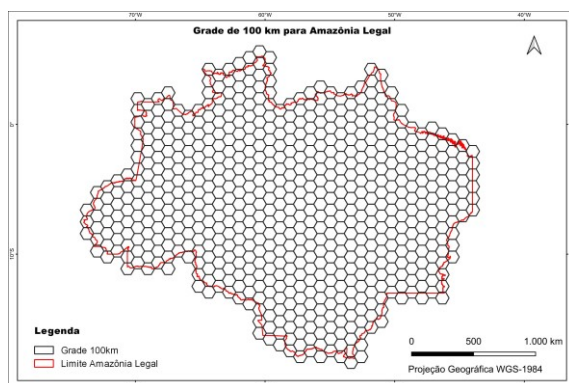
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 8. Grade hexagonal de 50x50km



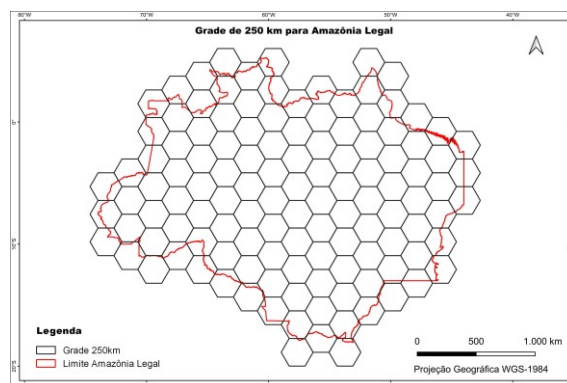
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 9. Grade hexagonal de 100x100km



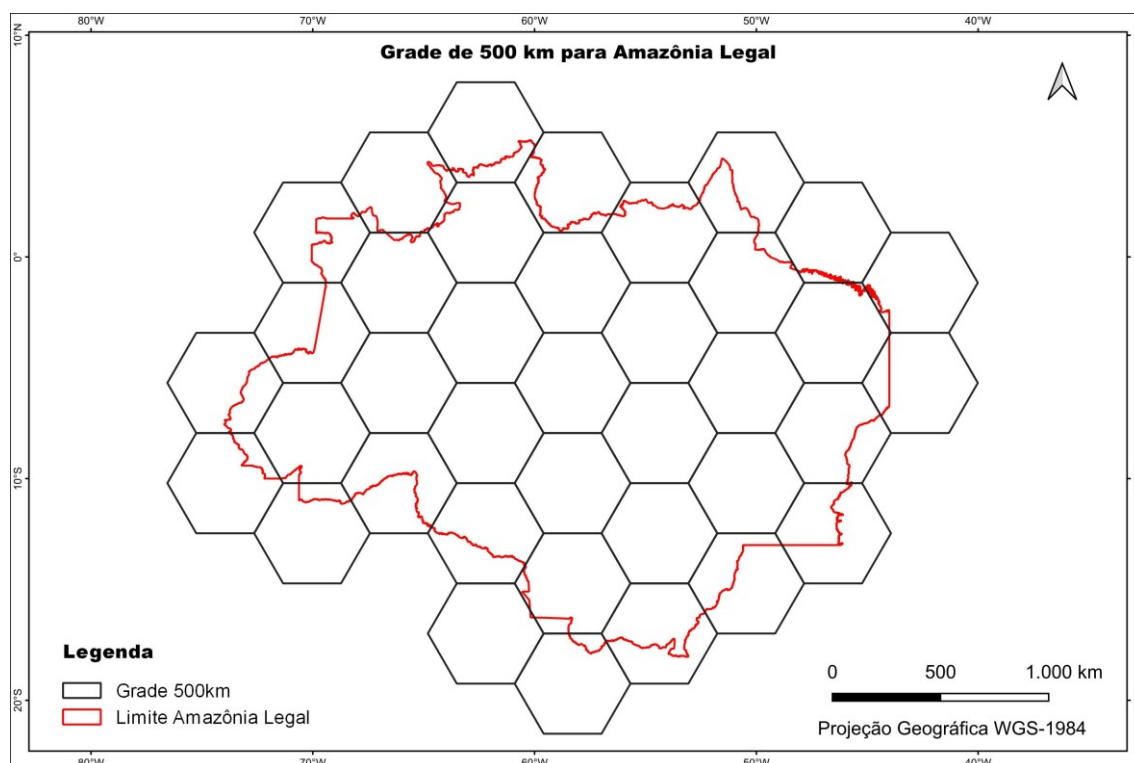
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 10. Grade hexagonal de 250x250km



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 11. Grade hexagonal de 500x500km



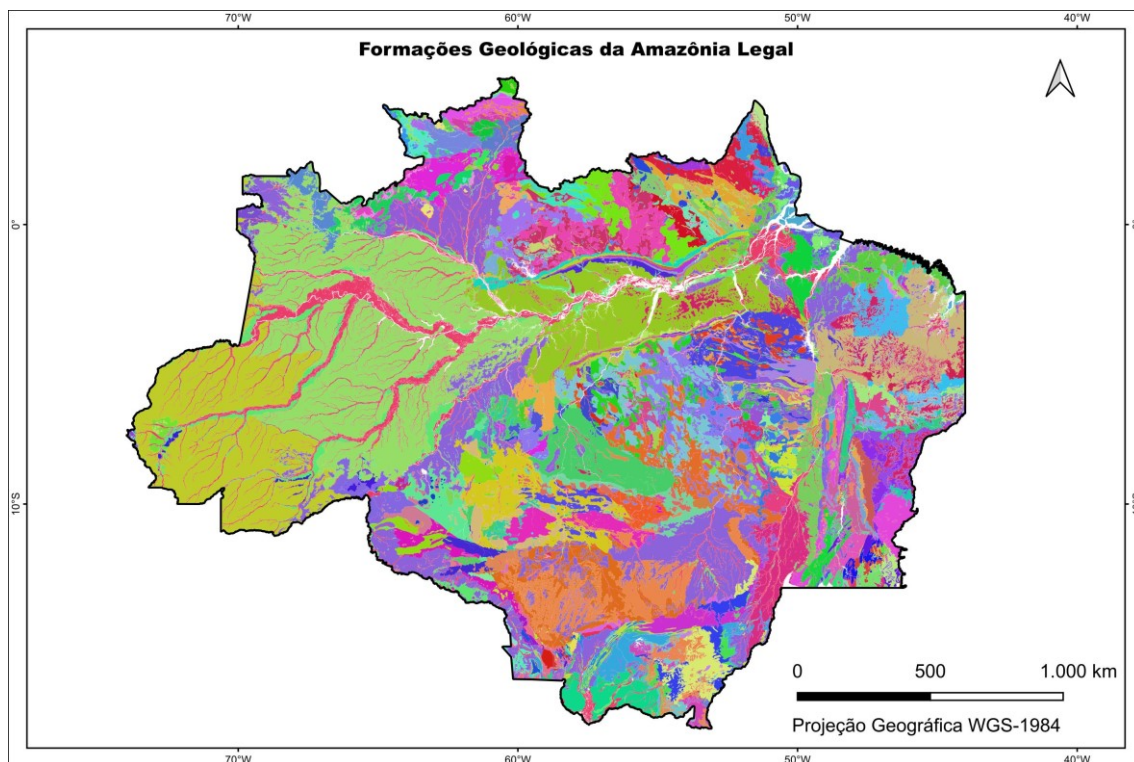
Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 Índice de Geodiversidade

5.2.1 Geologia

Para formação geológica (Figura 12), foram considerados como elementos as formações (Exemplos: Utiriti, Sambaíba), os grupos (Exemplos: Tapajós, Iriri), os complexos (Exemplos: Cauaburi, Bacajá), os tipos de coberturas (Exemplos: Sedimentar, Detrito-Laterítica Pleistocênica) e os depósitos (Exemplos: Marinhos Litorâneos, Pântanos e Mangues Holocênicos).

Figura 12. Formações geológicas da Amazônia Legal



Legenda

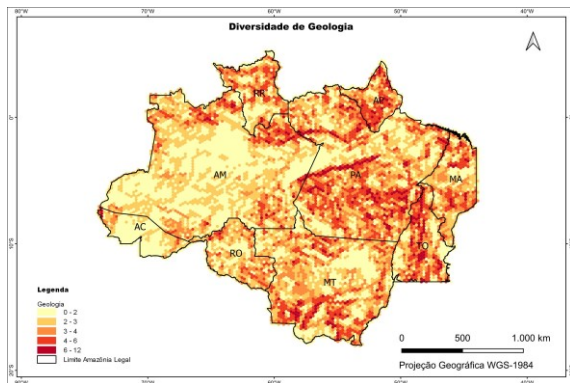
- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Alaskito Urucupatá Alcalinas Camaipi Alcalinas Mapari Alcalinas Maracanaí Alcalinas Rio Cristalino Alúvio-Coluviões Pleistocênicos Aluviões Flúvio-lacustres Holocênicos Aluviões Holocênicos Anortosito Carreira Comprida Anortosito Repartimento Areas Quartzosas Arenito Guamá Chamockito Calçoene Chamoquito Cuatá Cobertura Detrito-Laterítica Neogênic Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênic Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica Cobertura Sedimentar das Serras Surucucus e Uafaranda Cobertura Sedimentar do Baixo Tocantins Cobertura Sedimentar do Jeju e Zulia Cobertura Sedimentar Rio Branco-Rio Negro Coberturas Eólicas Holocênicas Coberturas Eólicas Pleistocênicas Coluviões Holocênicos Coluviões Pleistocênicos Complexo Almas-Cavalcante Complexo Almas-Cavalcante - Unidade Ortognaise Granítico Complexo Almas-Cavalcante - Unidade Ortognaise Migmatítico Complexo Alto Guaporé Complexo Anauá Complexo Arco Verde Complexo Bacajá Complexo Bacajá Complexo Bacuri Complexo Baixo Mapari Complexo Cauaburi Complexo Colméia Complexo Colorado Complexo Cuiú-Cuiú Complexo Fazenda Mogno Complexo Goiano Complexo Granulítico Porangatu Complexo Guianense Complexo Iratapuru Complexo Jaci-Paraná Complexo Jamari Complexo Jari-Guaribas Complexo Jauaperi Complexo Luanga Complexo Manoel Alves Complexo Maracacumé Complexo Nova Monte Verde Complexo Oiapoque Complexo Parima Complexo Paru-Maratiá Complexo Plum | <ul style="list-style-type: none"> Formação Motuca Formação Mutum-Paraná Formação Nova Floresta Formação Nova Olinda Formação Palermo Formação Palmeiral Formação Pantanal Formação Parauapebas Formação Parauriti Formação Pastos Bons Formação Pedra de Fogo Formação Pequizeiro Formação Piauí Formação Pimenta Bueno Formação Pimenteiras Formação Pirabas Formação Pirambóia Formação Pirara Formação Pirá Formação Ponta Grossa Formação Poti Formação Prainha Formação Prosperança Formação Quixadá Formação Raizama Formação Ramon Formação Rio Azul Formação Rio das Barreiras Formação Rio Farinha Formação Rio Naja Formação Roosevelt Formação Salto das Nuvens Formação Salustiano Formação Sambaiba Formação São Roque Formação Sardinha Formação Sepotuba Formação Seringa Formação Serra do Tucano Formação Serra Geral Formação Serra Pelada Formação Sete Quedas Formação Sobreiro Formação Solimões Formação Tapirapuá Formação Tocandera Formação Traíras Formação Triunfo Formação Uaimapuê Formação Urucum Formação Uruipi Formação Utiariti Formação Vale da Promissão Formação Vila Cristal Formação Viseu Formação Xambioá Formação Xaralés | <ul style="list-style-type: none"> Grupo Tocantins Grupo Três Palmeiras Grupo Trombetas Grupo Tucumã Grupo Tunuí Grupo Uai-Uai Grupo Uruçuia Grupo Vila Nova Intrusivas Básicas da Serra Uafaranda Intrusivas Ponta do Morro Ortognaise do Oeste de Goiás Rochas Máficas e Ultramáficas de posicionamento duvidoso Rochas Máficas e Ultramáficas de posicionamento duvidoso Seqüência Metavulcano-Sedimentar Palmerópolis - Unidade 1 Seqüência Metavulcano-Sedimentar Palmerópolis - Unidade 3 Seqüência Metavulcano-Sedimentar Palmerópolis - Unidade 4 Seqüência Metavulcano-Sedimentar Palmerópolis - Unidade 5 Seqüência Metavulcanossedimentar Nova Brasilândia Seqüência Metavulcanossedimentar Pontes e Lacerda Seqüência Vulcanossedimentar Araputanga Seqüência Vulcanossedimentar Cabaçal Seqüência Vulcanossedimentar Quatro Meninas Seqüência Vulcanossedimentar Rio Alegre Sienito Catrimani Sienito Erepecuru Sienito Mutum Sienito República Sienito Rio Cristalino Sienogranito Redenção Stocks e Diques Máfico-Ultramáficos Subgrupo Paraopeba Suite Alcalina Boca Nova Suite Básico-Ultrabásica Quatipuru Suite Gabro-Diorítica de Posselândia Suite Intrusiva Abonari Suite Intrusiva Água Branca Suite Intrusiva Alto Candelas Suite Intrusiva Apiacás Suite Intrusiva Apiaú Suite Intrusiva Auaris Suite Intrusiva Básico-Ultrabásica Caraibas Suite Intrusiva Cachoeira Seca Suite Intrusiva Cachoeirinha Suite Intrusiva Cacoal Suite Intrusiva Canamã Suite Intrusiva Carecuro Suite Intrusiva Cassiporé Suite Intrusiva Cateté Suite Intrusiva Ciriquiqui Suite Intrusiva Crepori Suite Intrusiva Creporitão Suite Intrusiva Curicuriari Suite Intrusiva Cururu Suite Intrusiva de Peixe Suite Intrusiva Dianópolis Suite Intrusiva Ericó Suite Intrusiva Falsino |
|--|---|--|



Fonte: Autoria própria (2022)

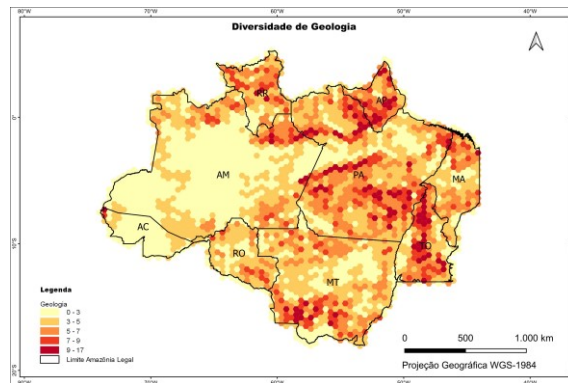
Observando os mapas do subíndice de formações geológicas (Figuras 13 a 17), nota-se que o índice diversidade de geologia é alto na metade sul do Pará, em Tocantins quase que por todo, além do noroeste do Pará e sul do Amapá, enquanto em quase todo estado do Amazonas e Acre esse índice decai.

Figura 13. Diversidade parcial de geologia em grade de 25x25km



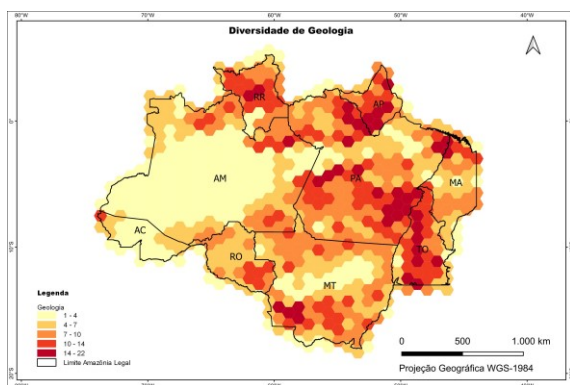
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 14. Diversidade parcial de geologia em grade de 50x50km



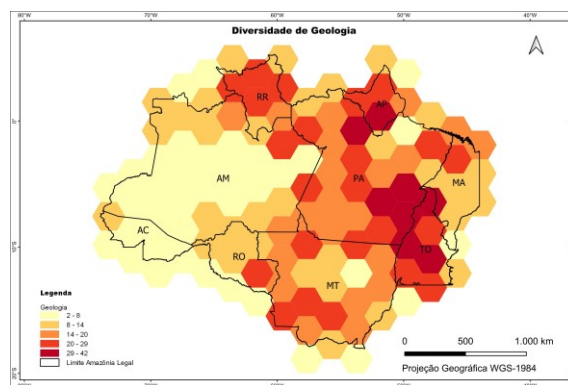
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 15. Diversidade parcial de geologia em grade de 100x100km



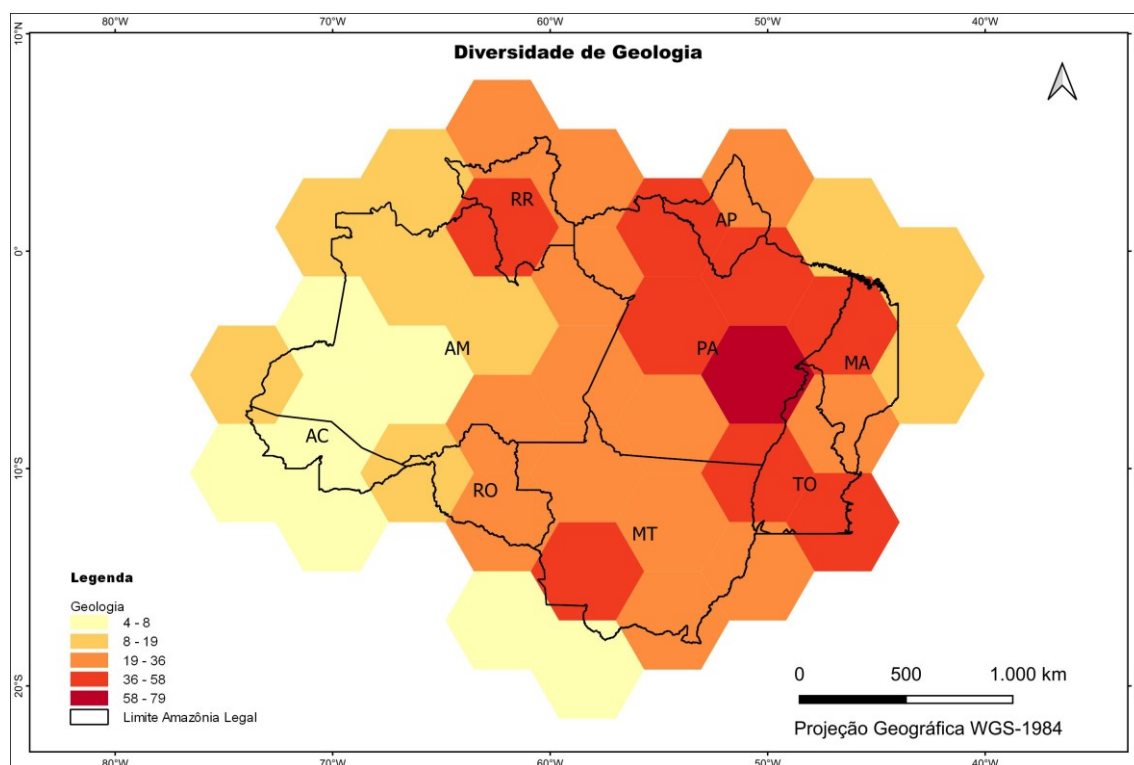
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 16. Diversidade parcial de geologia em grade de 250x250km



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 17. Diversidade parcial de geologia em grade de 500x500km

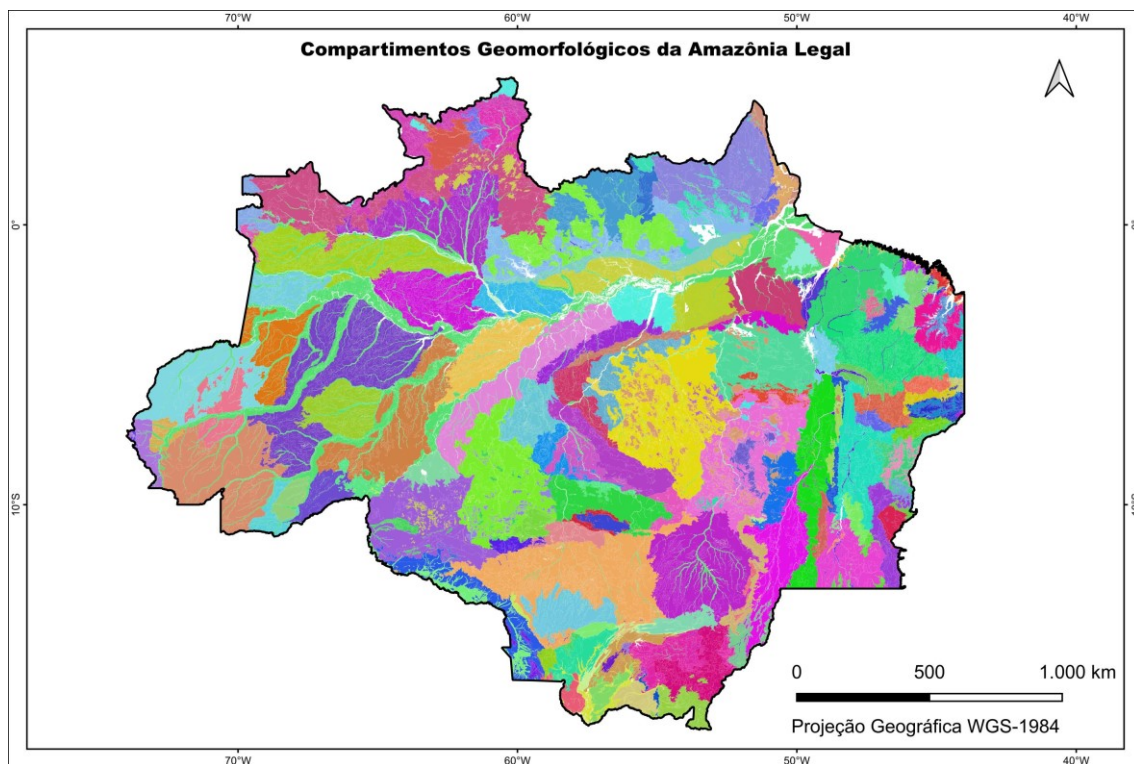


Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.2 Geomorfologia

A superfície da região, tem predominância de relevos de dissecação (visivelmente irregulares), como colinas, morros, cristas e tabuleiros, porém existem muitos outros tipos de relevos como por exemplo as planícies. Para apresentar a forma da superfície da região da Amazônia Legal, foi considerado os dados com a denominação para as diferentes formações de relevo (Figura 18).

Figura 18. Compartimentos geomorfológicos da Amazônia Legal



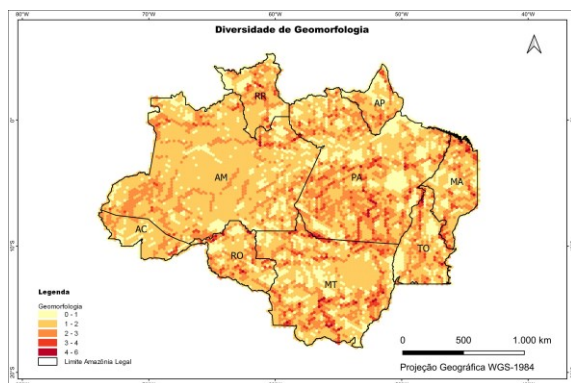
Legenda

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Baixada do Turiagu -- Pericumã ■ Baixada Maranhense ■ Cabeceiras do Parnaíba ■ Chapada das Mangabeiras ■ Chapada de Barra do Corda ■ Chapada de Dardanelos ■ Chapada de Paragominas ■ Chapada dos Guimarães ■ Chapada dos Parecís ■ Chapadão Ocidental Baiano ■ Chapadas do Cachimbo ■ Chapadas e Planos do Rio Farinha ■ Chapadões do Alto Itapecuru ■ Chapadões do Alto Parnaíba ■ Colinas do Amapá ■ Colinas e Cristas do Gurupi ■ Depressão do Madeira -- Canumã ■ Depressão Cuiabana ■ Depressão da Borda Oeste da Bacia do Paraná ■ Depressão de Boa Vista ■ Depressão de Cristalândia ■ Depressão de Imperatriz ■ Depressão de Porto Velho ■ Depressão de Santana do Araguaia ■ Depressão do Abacaxis -- Tapajós ■ Depressão do Alto Araguaia ■ Depressão do Alto Paraguai ■ Depressão do Alto Tocantins ■ Depressão do Bacajá ■ Depressão do Endimari -- Abunã ■ Depressão do Guaporé ■ Depressão do Gurupi ■ Depressão do Iaco -- Acre ■ Depressão do Içá -- Japurá ■ Depressão do Ituxi -- Jari ■ Depressão do Jamanxim -- Xingu ■ Depressão do Javari -- Juruá ■ Depressão do Juruá -- Iaco ■ Depressão do Madeira -- Alquiri ■ Depressão do Madeira -- Ji-Paraná ■ Depressão do Madeira -- Purus ■ Depressão do Médio e Baixo Araguaia ■ Depressão do Médio Tocantins ■ Depressão do Médio Xingu ■ Depressão do Negro -- Japurá ■ Depressão do Purus -- Juruá ■ Depressão do Purus -- Tapauá ■ Depressão do Rio Branco ■ Depressão do Rio Paru de Oeste ■ Depressão do Roosevelt -- Aripuanã ■ Depressão do Solimões -- Jutaí ■ Depressão do Solimões -- Unini ■ Depressão do Tarauacá -- Itaquai ■ Depressão Interplanáltica de Alta Floresta | <ul style="list-style-type: none"> ■ Depressão Interplanáltica de Juara ■ Depressão Interplanáltica de Paranatinga ■ Depressão Interplanáltica dos Caiabis ■ Depressão Interplanáltica Juruena -- Teles Pires ■ Depressão Interplanáltica do Trombetas ■ Depressão Marginal à Serra do Divisor ■ Depressão Marginal à Serra do Roncador ■ Depressão Periférica da Amazônia Setentrional ■ Depressão Rio Branco -- Rio Negro ■ Depressões Intermontanas da Província Serrana ■ Leque Aluvial do Tocantins ■ Litoral de Mangues e Rias ■ Pantanal de Itiquira -- São Lourenço ■ Pantanal do Corixo Grande ■ Pantanal do Poconé ■ Patamar da Serra de Tapirapuã ■ Patamar das Cabeceiras do Mearim ■ Patamar de Porto Franco -- Fortaleza dos Nogueiras ■ Patamar Dissecado Capim -- Moju ■ Patamar Dissecado de Roraima ■ Patamar Dissecado do Mutum -- Arruda ■ Patamar Dissecado do Xingu -- Pacajazinho ■ Patamar Dissecado dos Apicás ■ Patamar Dissecado dos Parecís ■ Patamar do Médio Uraricoera ■ Patamares das Mangabeiras ■ Patamares do Araguaia ■ Patamares do Chapadão Ocidental Baiano ■ Patamares do Tapajós ■ Pediplano Rio Branco -- Rio Negro ■ Planalto das Cabeceiras do Xingu ■ Planalto Dissecado do Gurupi -- Grajaú ■ Planalto Dissecado do Itapecuru ■ Planalto Dissecado do Norte da Amazônia ■ Planalto Dissecado do Roosevelt -- Aripuanã ■ Planalto Dissecado do Tocantins ■ Planalto Dissecado dos Rios Negro -- Uatumã ■ Planalto do Alto Tocantins -- Paranaíba ■ Planalto do Crepori ■ Planalto do Interflúvio Amazonas -- Orenoco ■ Planalto do Interflúvio Tocantins -- Araguaia ■ Planalto do Parauari -- Tropas ■ Planalto do Rio Juma -- Médio Sucunduri ■ Planalto do Tapajós ■ Planalto do Tapajós -- Xingu ■ Planalto do Taquari -- Itiquira ■ Planalto do Uatumã -- Jari ■ Planalto dos Alcantilados -- Alto Araguaia ■ Planalto dos Apicás -- Sucunduri ■ Planalto dos Parecís ■ Planalto Meridional da Bacia Sedimentar do Amazonas ■ Planalto Rebaixado Rio Aiari -- Tiquié ■ Planalto Residual de Nova Brasilândia ■ Planalto Sedimentar de Roraima ■ Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Amazonas | <ul style="list-style-type: none"> ■ Planaltos Residuais da Serra do Divisor ■ Planaltos Residuais de Costa Marques ■ Planaltos Residuais de Roraima ■ Planaltos Residuais do Amapá ■ Planaltos Residuais do Guaporé ■ Planaltos Residuais do Ji-Paraná -- Aripuanã ■ Planaltos Residuais do Madeira -- Alquiri ■ Planaltos Residuais do Madeira -- Ji-Paraná ■ Planaltos Residuais do Madeira -- Roosevelt ■ Planaltos Residuais do Sul do Pará ■ Planície Amazônica ■ Planície do Araguaia -- Javaés ■ Planície Fluvioacustre do Amapá ■ Planície Fluviomarinha do Amapá ■ Planícies do Rio Paraguai ■ Planícies e Pantanaís do Guaporé ■ Planícies Fluviais ■ Planícies Litorâneas de Marajó ■ Província Serrana ■ Serra da Natividade ■ Serra do Jurunas ■ Serra do Roncador ■ Serra do Tapirapé ■ Serra dos Caiabis ■ Serra dos Carajás ■ Serra Malhada Alta ■ Serras das Andorinhas -- Xambioá -- Lontras ■ Serras de Arraias e da Canoia ■ Serras de Cubencranquém -- da Paz -- Gorotire ■ Serras de Santo Antônio -- João Damião ■ Serras de São Félix -- Antonhão -- Seringa ■ Serras de São Vicente -- Mimoso ■ Serras do Cachimbo ■ Serras do Pardo -- Porto Seguro ■ Serras do Roncador -- Salto do Céu ■ Serras Residuais do Traíra ■ Superfície Dissecada de Jauru ■ Superfície Dissecada de Santa Luzia do Paruá ■ Superfície Dissecada do Ribeirão Espinhaço ■ Superfície do Baixo Gurupi ■ Superfície Sublitorânea de Bacabal ■ Superfície Tabular de Cruzeiro do Sul ■ Tabuleiro de Barreirinhas ■ Tabuleiros Costeiros do Amapá ■ Tabuleiros Costeiros Maranhenses ■ Tabuleiros de Balsas ■ Tabuleiros de Marajó ■ Tabuleiros do Médio Itapecuru ■ Tabuleiros do Parnaíba ■ Tabuleiros do Xingu -- Tocantins ■ Tabuleiros Paraenses ■ Vãos da Bacia do Alto Parnaíba ■ Vãos do Alto Itapecuru □ Limite Amazônia Legal |
|---|--|--|

Fonte: Autoria própria (2022)

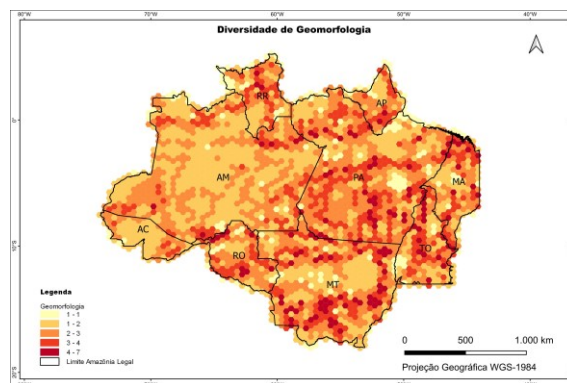
Nos mapas de diversidade parcial de compartimentos geomorfológicos (Figuras 19 a 23), observa-se que os setores com maior diversidade de compartimentos se encontram na região dos Estados do Pará e Mato Grosso.

Figura 19. Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 25x25km



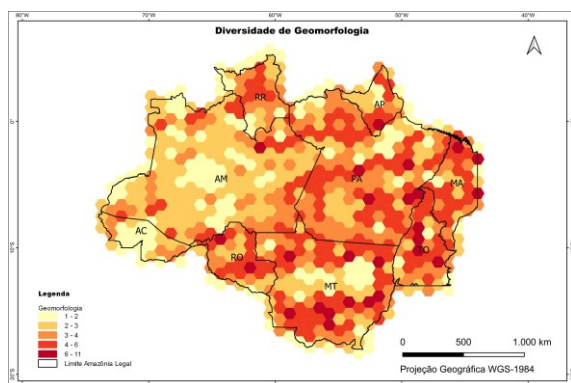
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 20. Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 50x50km



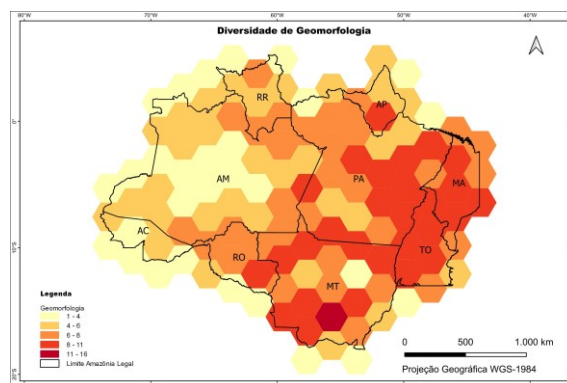
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 21. Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 100x100km

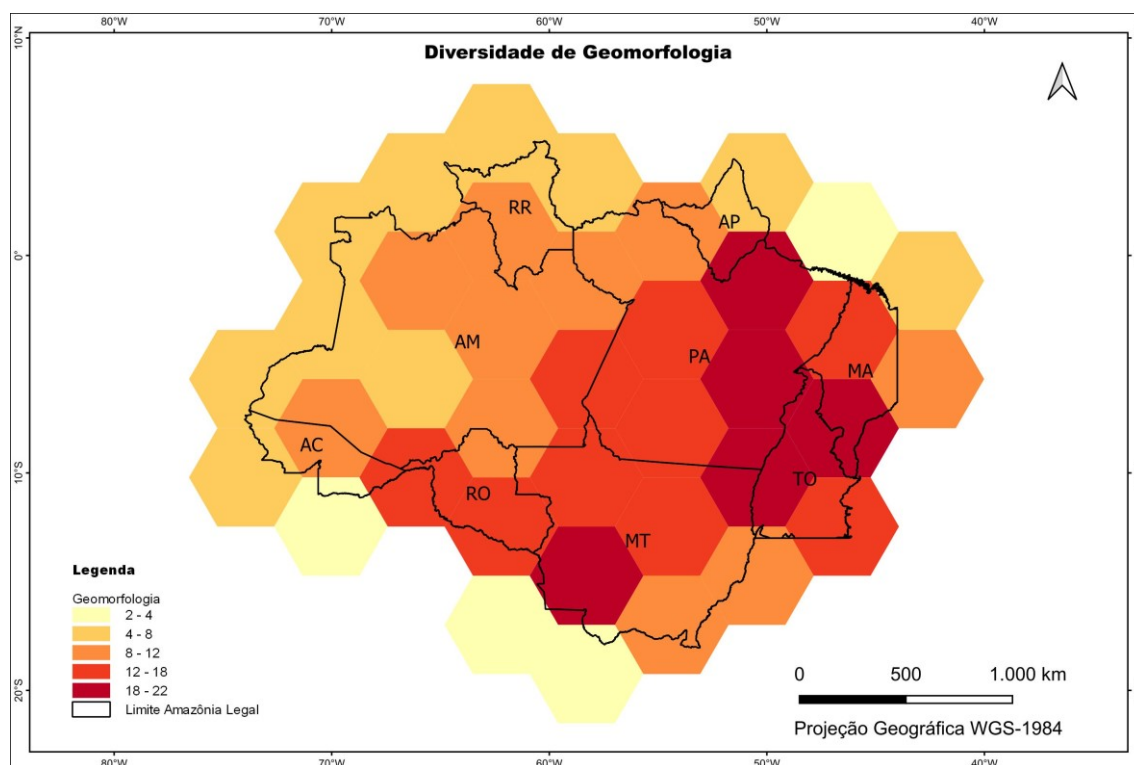


Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 22. Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 250x250km



Fonte: Autoria própria (2022)

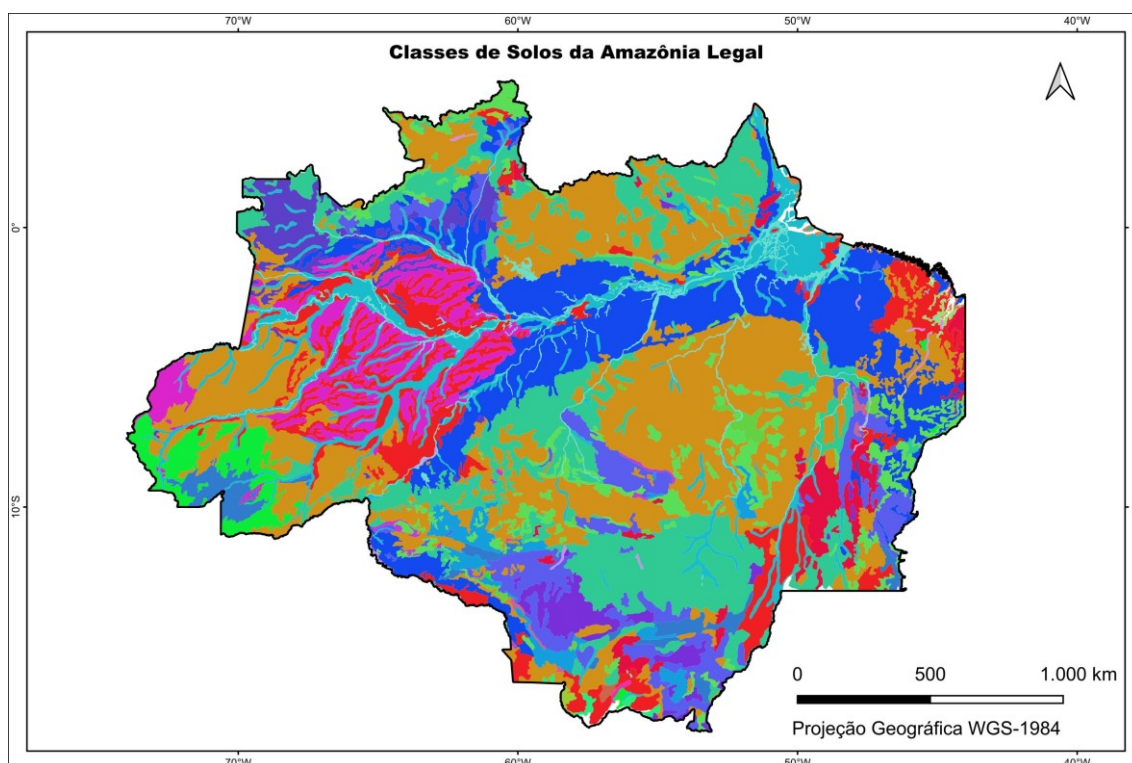
Figura 23. Diversidade parcial de geomorfologia em grade de 500x500km

Fonte: Autoria própria (2022)

5.2.3 Solos

Para pedologia (Figura 24), foi classificado conforme as ordens dos solos em seu primeiro e segundo nível de classificação pedológica, sendo 12 ordens, classificados conforme o sistema brasileiro de classificação de solo.

Figura 24. Classes de Solos da Amazônia Legal

**Legenda**

Afloramentos de Rochas
 Alissolo Crômico
 Argilossolo Vermelho
 Argilossolo Vermelho-Amarelo
 Cambissolo Háptico
 Chernossolo Argilúvico

Espodossolo Ferrocárbico
 Gleissolo Háptico
 Gleissolo Sáfico
 Gleissolo Tiomórfico
 Latossolo Amarelo
 Latossolo Vermelho
 Latossolo Vermelho-Amarelo

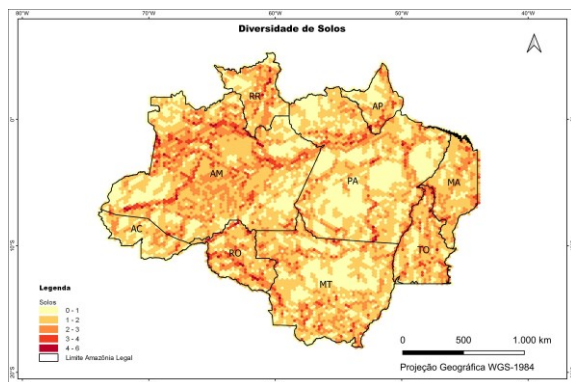
Luvissoilo Crômico
 Massa d'Água
 Neossolo Flúvico
 Neossolo Litólico
 Neossolo Quartzarênico
 Nitossolo Vermelho
 Planossolo Háptico

Planossolo Hidromórfico
 Planossolo Nátrico
 Plintossolo Háptico
 Plintossolo Pétrico
 Vertissolo Cromado
 Vertissolo Hidromórfico
 Limite Amazônia Legal

Fonte: Autoria própria (2022)

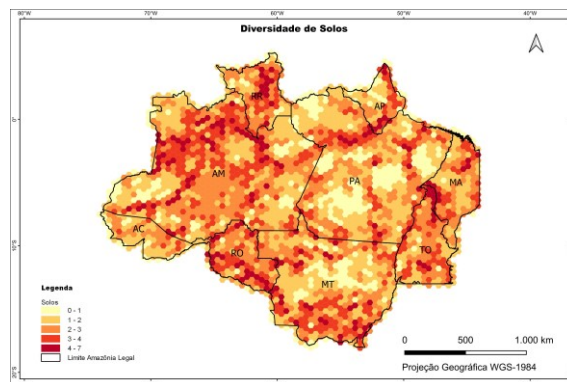
Na diversidade parcial de classes de solos (Figuras 25 a 29), em detalhamento maior observou-se que as maiores diversidades pedológicas estão próximas ao curso principal do Rio Amazonas e seus afluentes, ou seja, a hidrografia de certa forma exerce influência sobre a diversidade de solos. Porém nas grades maiores essa diversidade se encontra maior no extremo sul do do Amazonas, em Rondônia e na porção sudoeste do Mato Grosso, notando-se nesse caso que o nível de detalhamento irá afetar a visualização.

Figura 25. Diversidade parcial de solos em grade de 25x25km



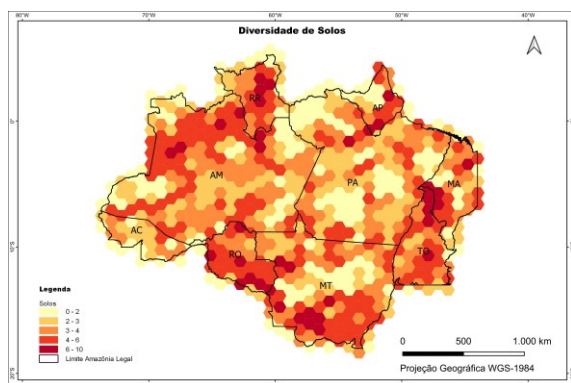
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26. Diversidade parcial de solos em grade de 50x50km



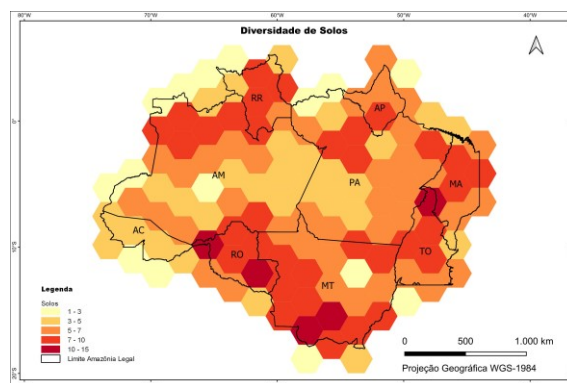
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 27. Diversidade parcial de solos em grade de 100x100km



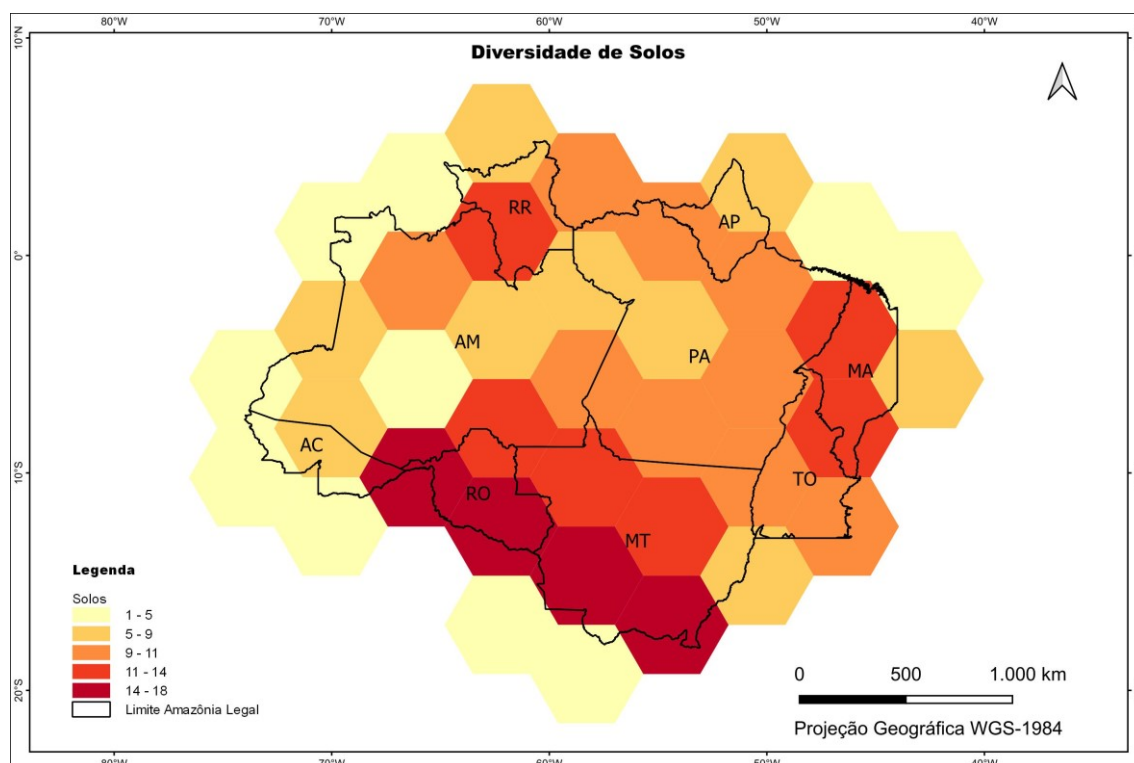
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 28. Diversidade parcial de solos em grade de 250x250km



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 29. Diversidade parcial de solos em grade de 500x500km

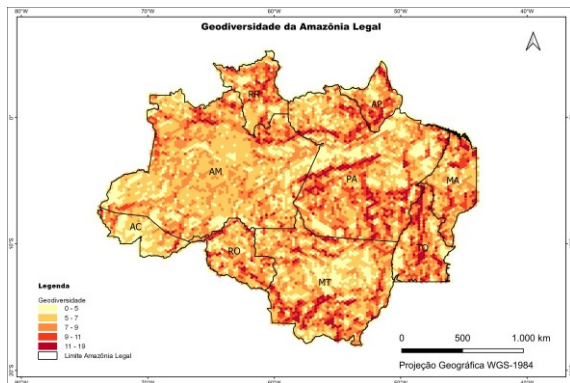


Fonte: A autoria própria (2022)

5.2.4 Geodiversidade

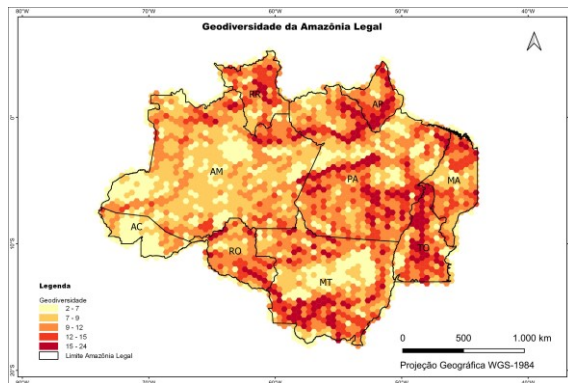
Unindo todos os índices parciais de diversidade, pode-se então gerar o mapa do Índice de Geodiversidade a partir do somatório dos índices parciais de Pedologia, Geomorfologia e Geologia (Figuras 30 a 34), representando a distribuição espacial do índice de geodiversidade ao longo da área de estudo em diferentes tamanhos de grades amostrais. E conforme os mapas, o nível de detalhamento irá influenciar na visualização, visto que as grades de 250 km e 500 km destoam das grades menores, onde eles estão desconsiderando, por exemplo, a influência dos rios na distribuição da geodiversidade.

Figura 30. Índice de geodiversidade em grade de 25x25km



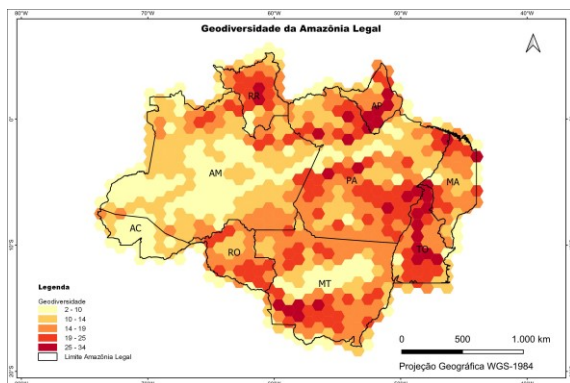
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 31. Índice de geodiversidade em grade de 50x50km



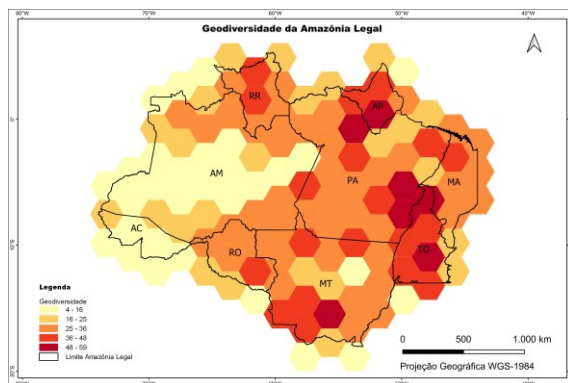
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 32. Índice de geodiversidade em grade de 100x100km



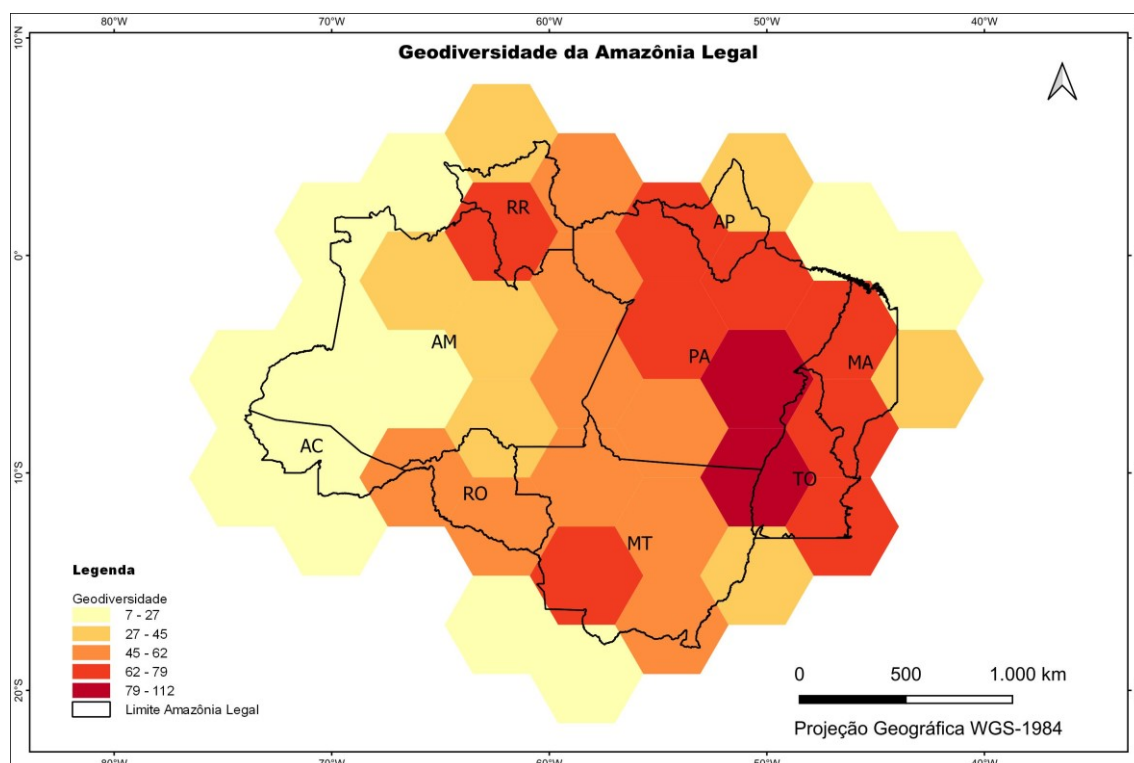
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 33. Índice de geodiversidade em grade de 250x250km



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 34. Índice de geodiversidade em grade de 500x500km

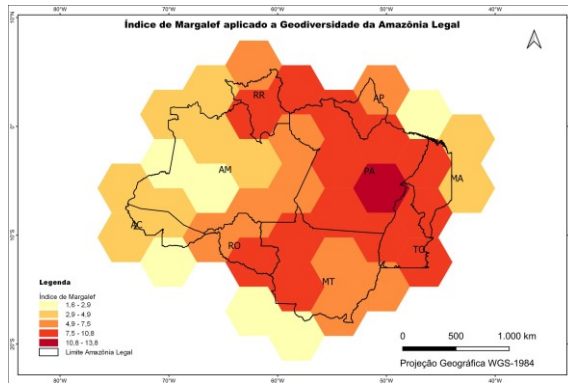


Fonte: Autoria própria (2022)

Além do índice conforme a metodologia empregada por Pereira *et al.* (2012), foram realizados os índices de Margalef (Figura 35), com a variação do índice de 1,6 a 13,8, sendo o valor de 13,8 considerado o local com maior diversidade. Índice de Shannon (Figura 36), com a variação de 0,03 a 0,362, sendo 0,362 a diversidade máxima. E por fim o índice de Simpson (Figura 37), variando de 0,9074 a 1, neste índice quanto menor o resultado maior a geodiversidade, visto isso a legenda para esse mapa tiveram as cores invertidas, dando continuidade à cor vermelha como maior diversidade.

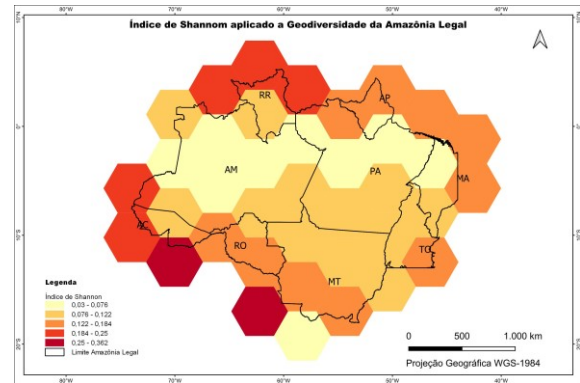
Nestes resultados podemos observar que o mapa de Margalef nos oferece um resultado diferente dos de Shannon e Simpson, isso porque Margalef leva em consideração apenas a riqueza do local, levando em consideração o número total de elementos, enquanto no de Shannon e Simpson consideram junto a abundância, observando a densidade de elementos, ou seja, como está a distribuição desses elementos, quanto mais distribuído, maior será o equilíbrio na comunidade por assim dizer.

Figura 35. Índice de Margalef aplicado a Geodiversidade em grade de 500x500km



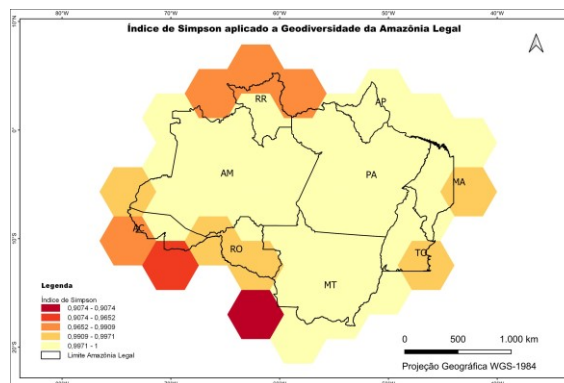
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 36. Índice de Shannon aplicado a Geodiversidade em grade de 500x500km



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 37. Índice de Simpson aplicado a Geodiversidade em grade de 500x500km



Fonte: Autoria própria (2022)

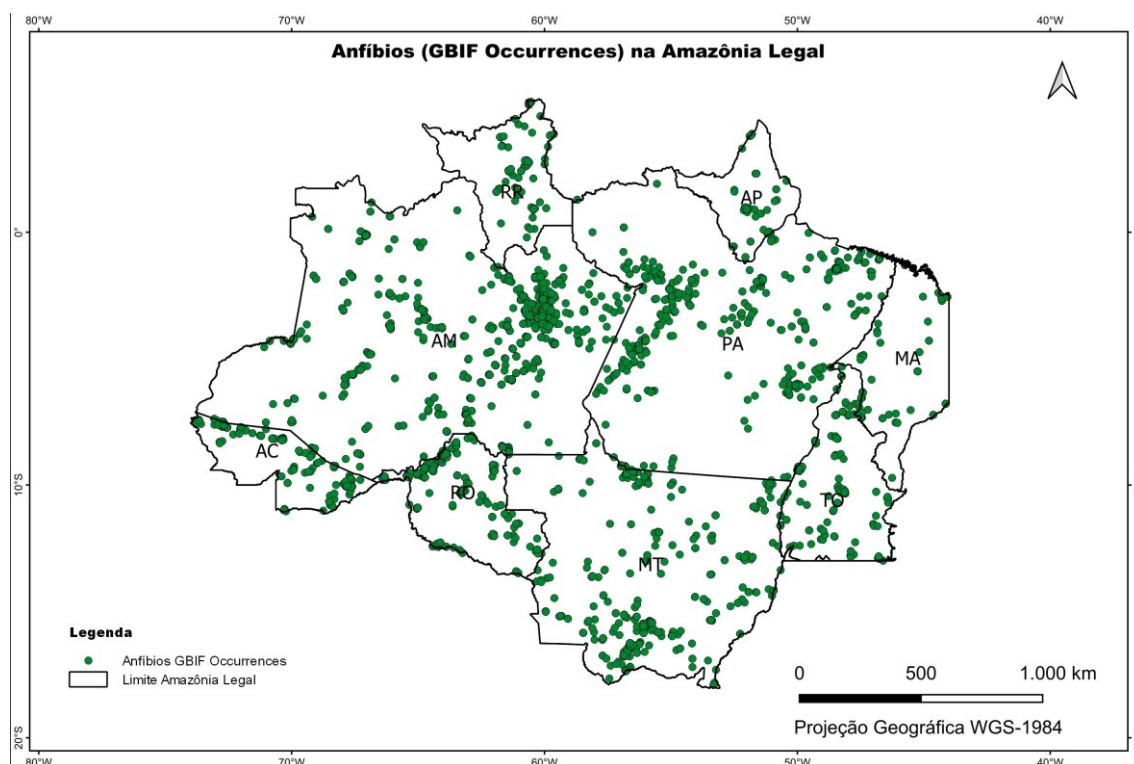
5.3 Diversidade de anfíbios

5.3.1 GBIF Occurrences

As buscas de registros em relação aos anfíbios no GBIF Occurrences ocorreram em setembro de 2022, utilizando o táxon Key 131, que é designado para anfíbios, sendo encontrados 21.807 registros na área de estudo.

A figura 38 mostra a distribuição geográfica dos registros obtidos no GBIF, são notados alguns espaços que não possuem pontos com uma descontinuidade espacial na existência dos dados, pelo fato de que os dados desses locais ainda não foram registrados, ou pesquisados, certamente.

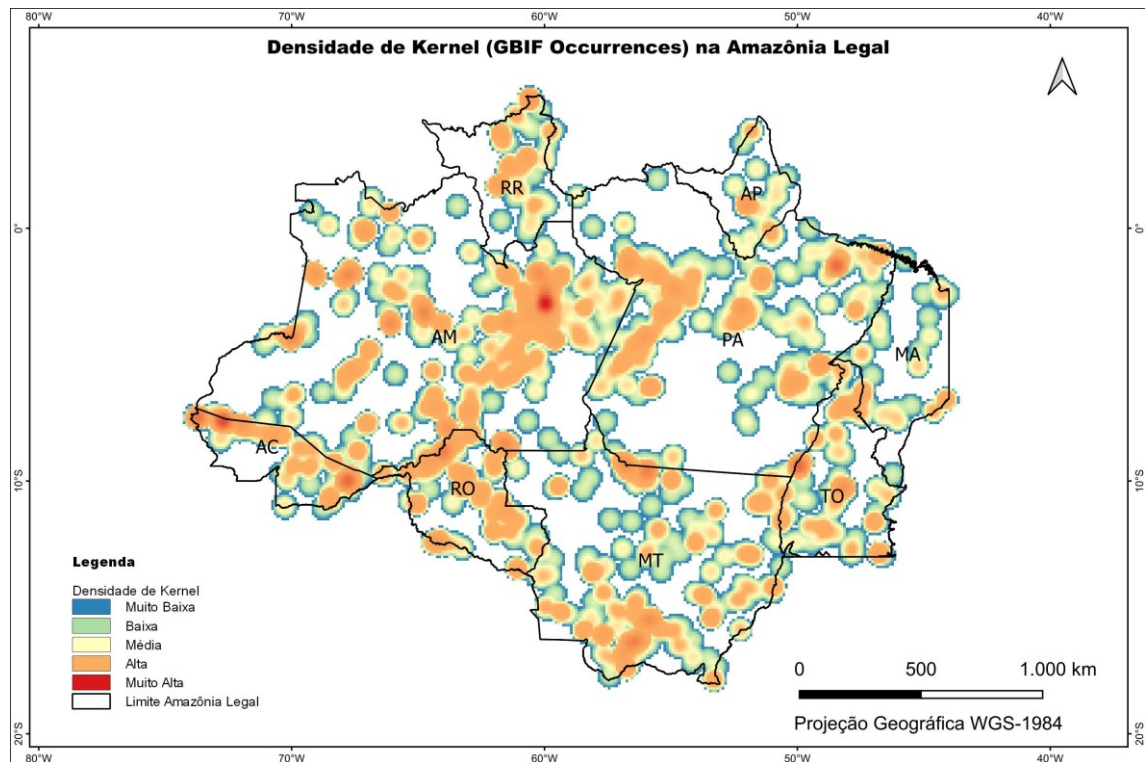
Figura 38. Registro de anfíbios através do GBIF Occurrences na Amazônia Legal



Fonte: Autoria própria (2022)

Com a disposição dos pontos pode-se criar um mapa de densidade de Kernel (Figura 39), os locais que se mostraram com uma alta densidade (cor vermelha) foram a região nordeste do estado do Amazonas e região noroeste do estado do Acre, enquanto no sul do estado do Pará e uma porção oeste do estado do Amazonas demonstraram uma baixa densidade.

Figura 39. Mapa de densidade de Kernel com dados do GBIF Occurrences



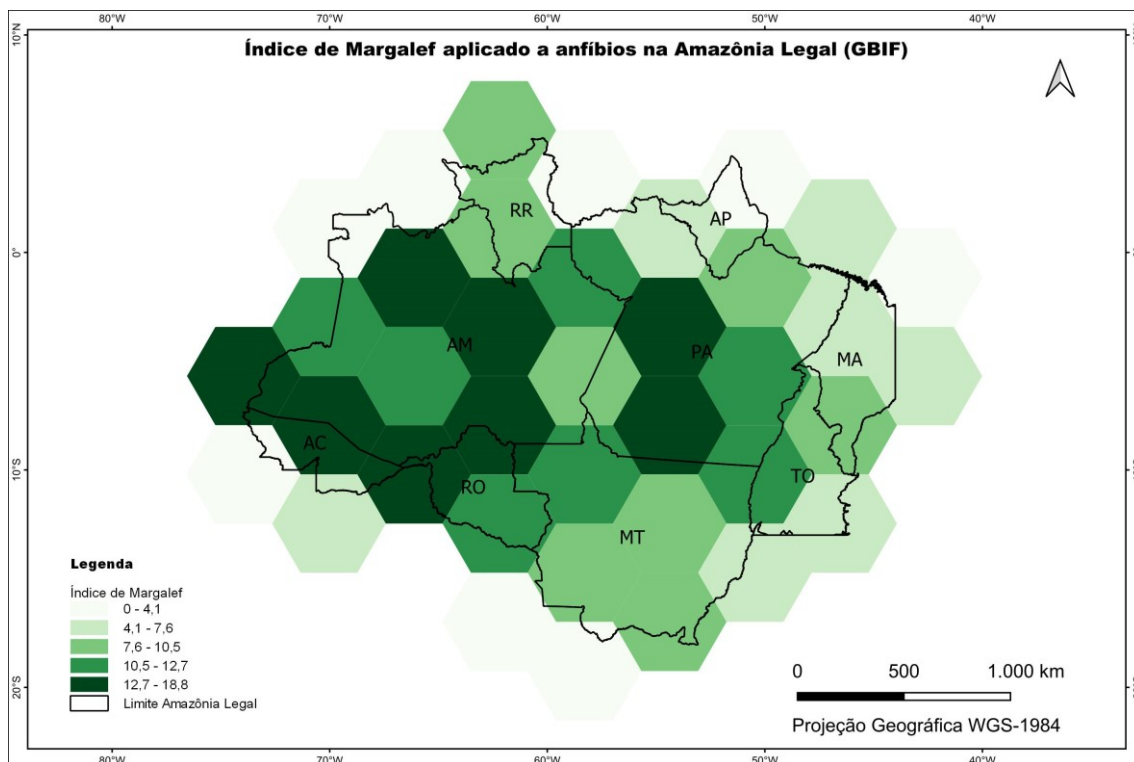
Fonte: Autoria própria (2022)

Com os pontos demonstrando os registros dos anfíbios em conjunto com a grade pode-se calcular os índices de diversidade. O primeiro índice, o de Margalef (Figura 40), considera que todas as espécies estão uniformemente distribuídas, com o índice variando de 0 a 18,8, demonstrados em um mapa com um gradiente de cores na tonalidade do verde, onde o verde mais claro represente os valores próximos a zero, enquanto o verde mais escuro represente os valores maiores, nesse caso com maior biodiversidade.

No índice de Shannon houve uma variação do 0 a 0,368 (Figura 41), onde zero representa os menores índices e os valores mais elevados representam os maiores índices, e como no índice de Margalef, também foram demonstrados em gradiente de cores no tom de verde.

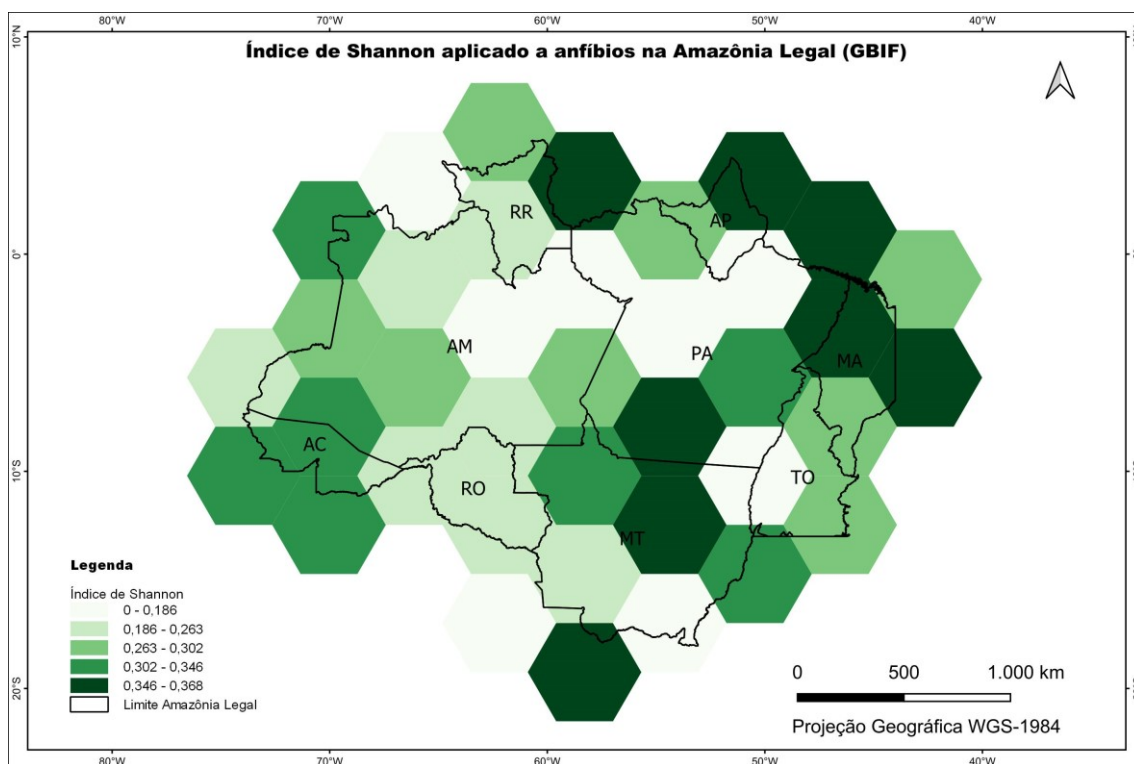
Já no índice de Simpson (Figura 42), quanto menor o resultado do índice maior a biodiversidade, e como resultado temos a variação de 0 a 0,9981, onde zero está representando a maior biodiversidade ao contrário dos outros índices. E para demonstração, utilizou o mesmo gradiente que os índices anteriores, porém foram invertidas as cores para que a visualização ainda continue a mesma, ou seja, cores mais claras ainda continuam sendo a diversidade mais baixa e as cores escuras representando a alta diversidade.

Figura 40. Mapa do índice de Margalef com dados GBIF



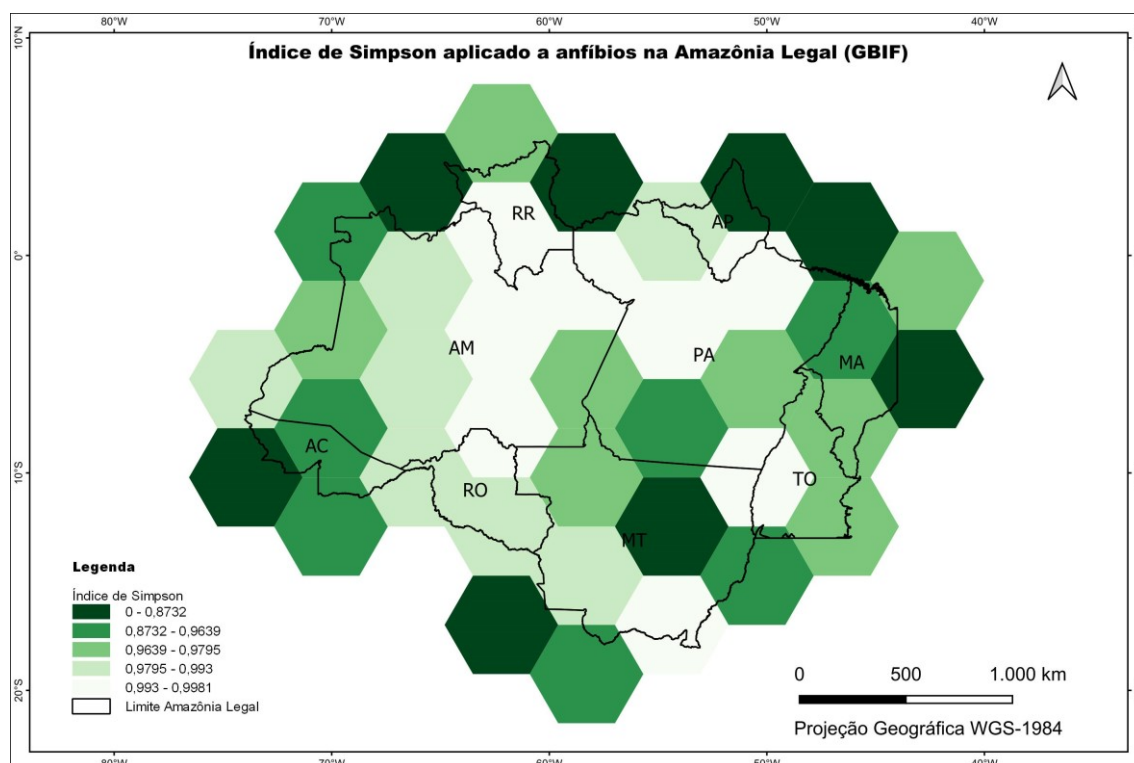
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 41. Mapa do índice de Shannon com dados GBIF



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 42. Mapa do índice de Simpson com dados GBIF



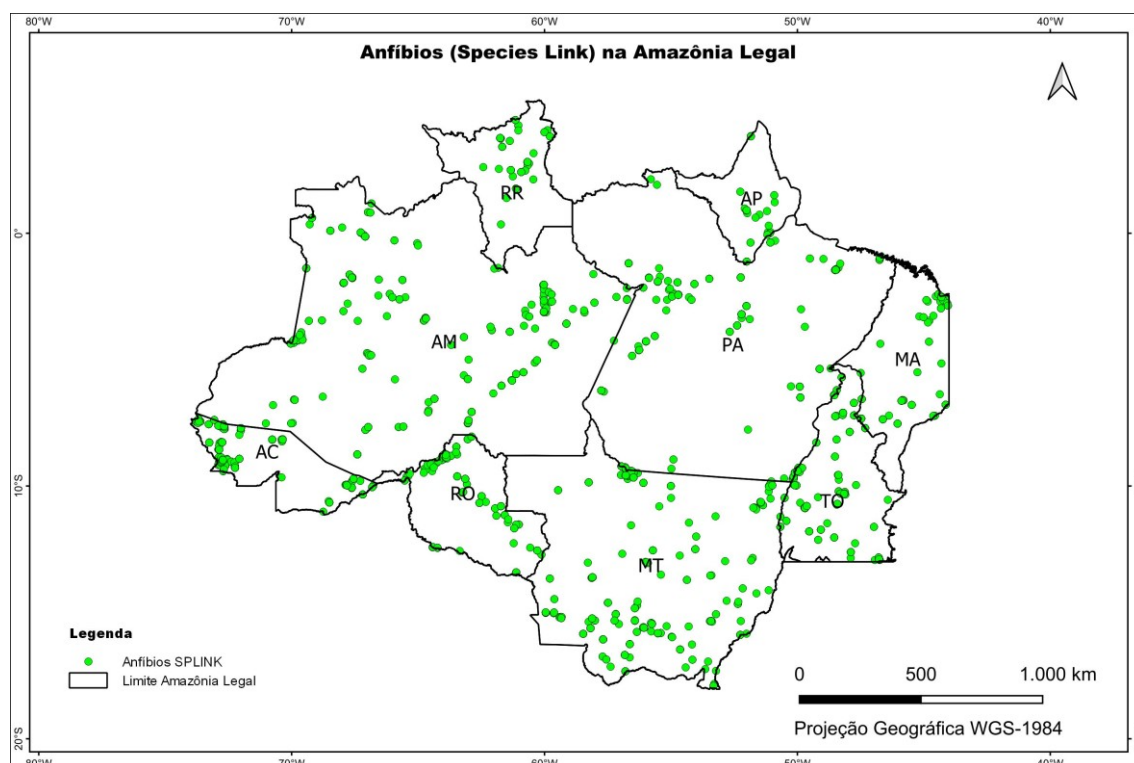
Fonte: Autoria própria (2022)

Como observado na geodiversidade, o mapa de Margalef nos oferece um resultado diferente dos de Shannon e Simpson, devido a este índice levar em consideração apenas a riqueza do local, levando em consideração o número total de organismos, já nos índices de Shannon e Simpson consideram junto a abundância, observando a densidade de organismos, ou seja, como está a distribuição destes, quanto mais distribuído, maior o equilíbrio nessa comunidade, sendo assim o gradiente mais escuro em Shannon e Simpson representam maior equilíbrio.

5.3.2 Species Link

As buscas de registros de anfíbios na plataforma Species link ocorreram em outubro de 2022, onde foram encontrados 18.594 registros, sendo que esses dados obtidos em formato de planilha com coordenadas geográficas, as quais foram transferidas para o QGis e convertidas para dados vetoriais de pontos, como ilustrado pela Figura 43.

Figura 43. Registro de anfíbios através do Species Link na Amazônia Legal

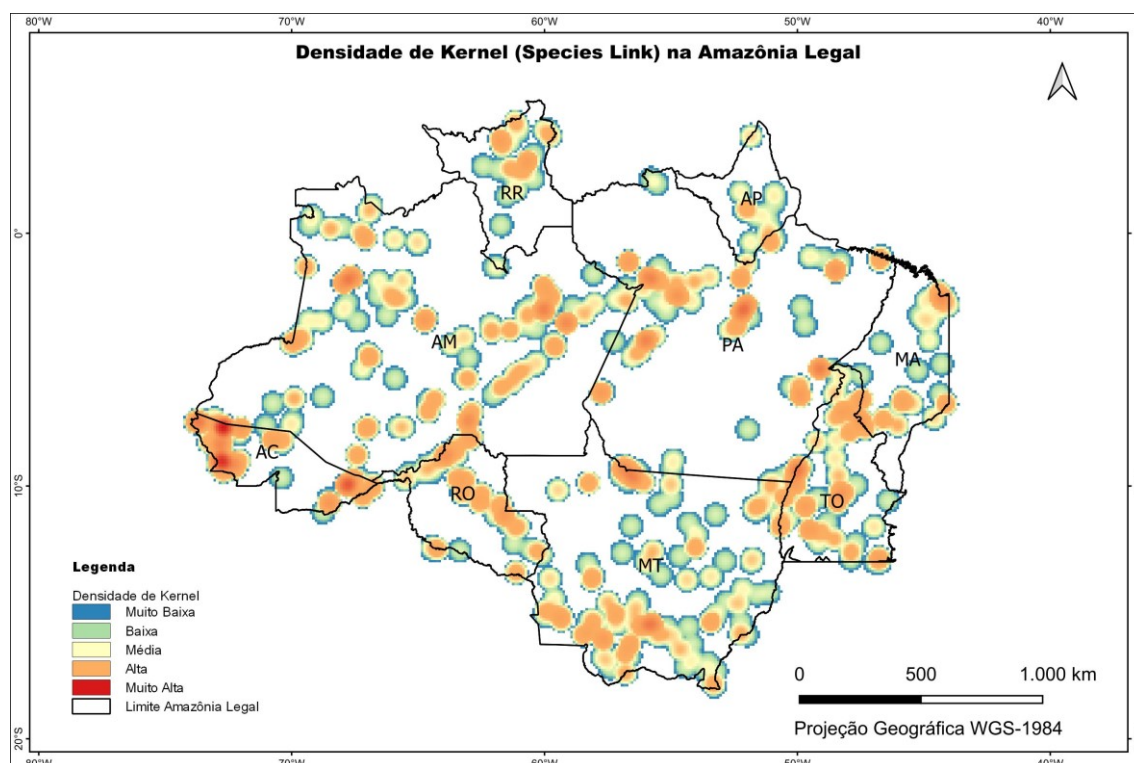


Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 43 mostra a distribuição geográfica dos registros obtidos no Species Link, e como os pontos obtidos no GBIF, nota-se espaços com a ausência de pontos, isso se dá pelo mesmo motivo apresentado no tópico anterior, pelo não registro de dados até o momento.

O mapa de Kernel (Figura 44), mostra que o local que se mostrou com uma alta densidade (cor vermelha) foi a região noroeste do estado do Acre, enquanto novamente o sul do estado do Pará demonstrou uma baixa densidade, região conhecida como “Terra do Meio”, sendo um local de difícil acesso a pessoas.

Figura 44. Mapa de densidade de Kernel com dados do Species Link



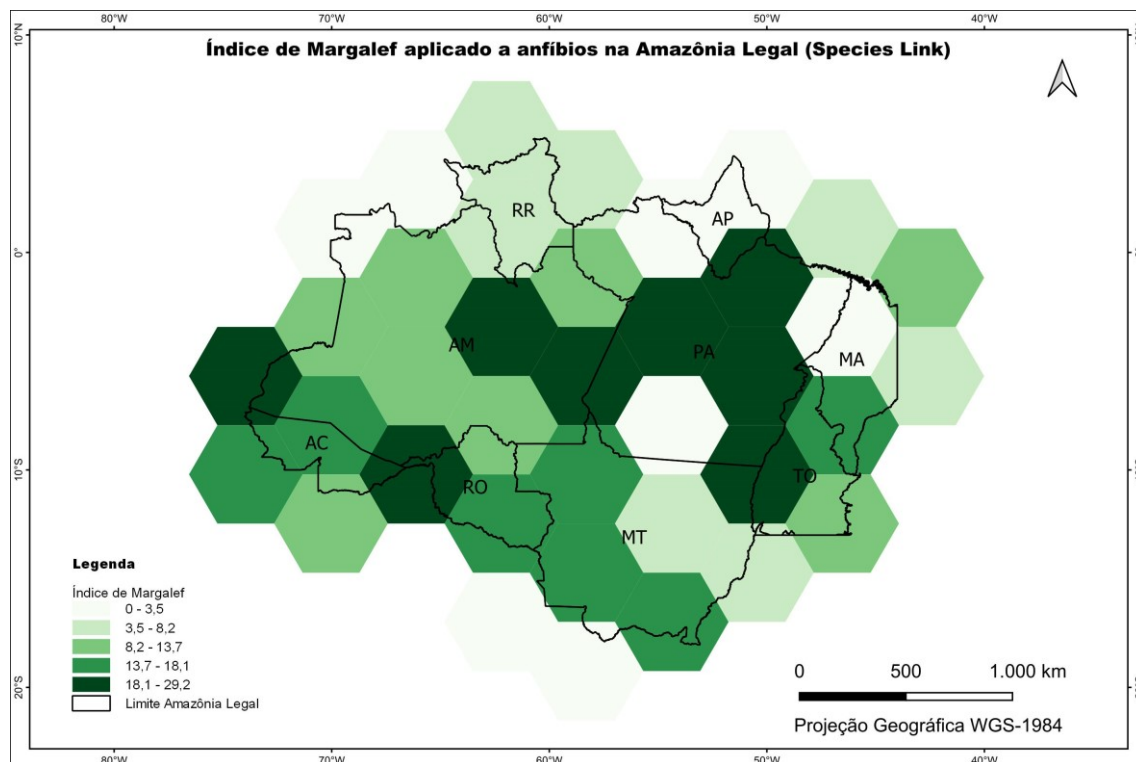
Fonte: Autoria própria (2022)

O índice de Margalef com os dados da plataforma Species Link (Figura 45), variou de 0 a 29,2, também demonstrados em um mapa com um gradiente de cores na tonalidade do verde, sendo o verde mais claro, baixos índices e o verde mais escuro, índices maiores.

Para Shannon houve uma variação de 0 a 0,367 (Figura 46), onde zero representa os menores índices e os valores mais elevados representam os maiores índices, demonstrados em gradiente de cores no tom de verde.

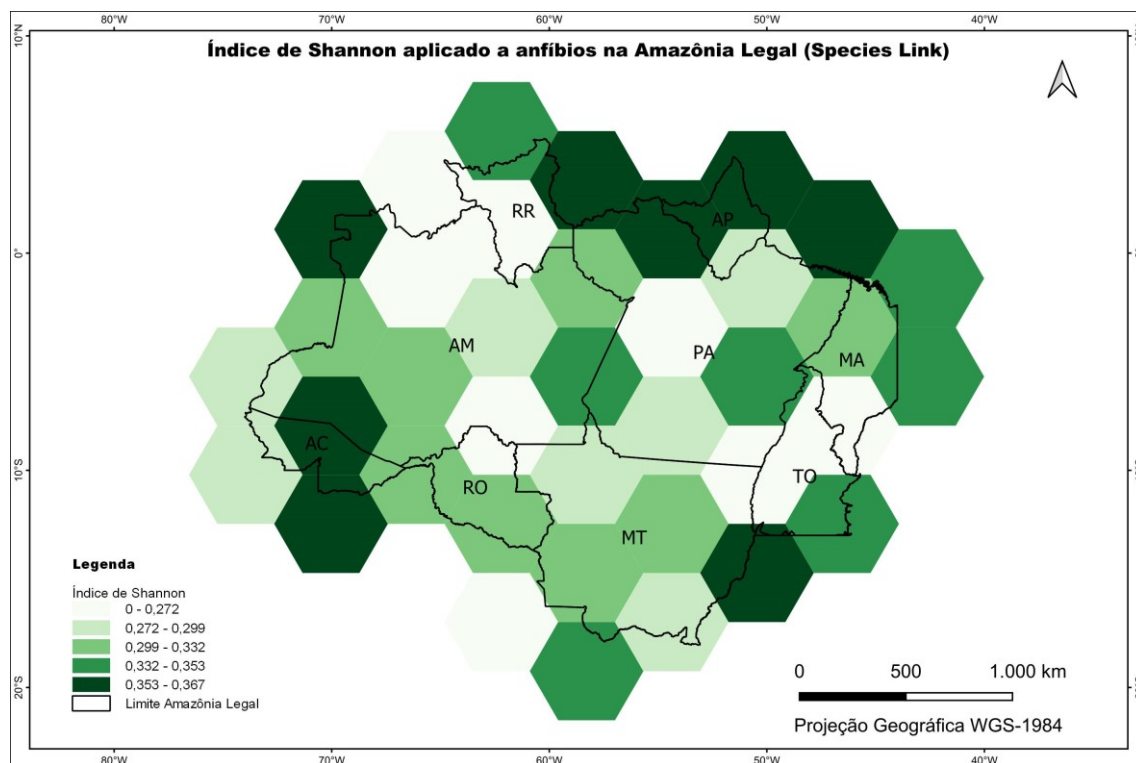
E para Simpson (Figura 47), como já explicado, quanto menor o resultado do índice maior a biodiversidade, obtemos a variação de 0 a 0,9980, onde zero está representando a maior biodiversidade. E para demonstração, utilizou o mesmo gradiente que os índices anteriores, porém foram invertidas as cores para que a visualização ainda continue a mesma, ou seja, cores mais claras ainda continuam sendo a diversidade mais baixa e as cores escuras representando a alta diversidade.

Figura 45. Mapa do índice de Margalef com dados Species Link



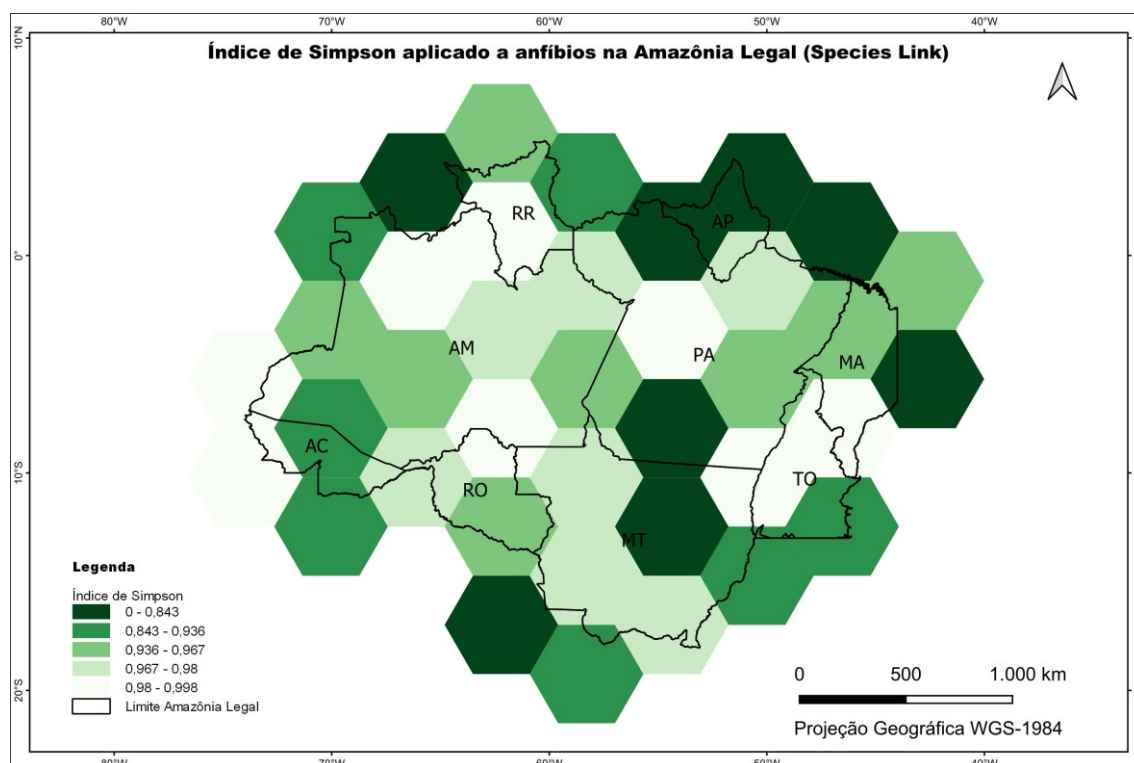
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 46. Mapa do índice de Shannon com dados Species Link



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 47. Mapa do índice de Simpson com dados Species Link



Fonte: Autoria própria (2022)

Neste caso também deve-se mencionar que Margalef leva em conta apenas a riqueza do local, considerando o número total de organismos, enquanto Shannon e Simpson consideram junto a abundância, ou seja, quanto mais distribuído, maior o equilíbrio nessa comunidade, sendo assim o gradiente mais escuro em Shannon e Simpson representam maior equilíbrio.

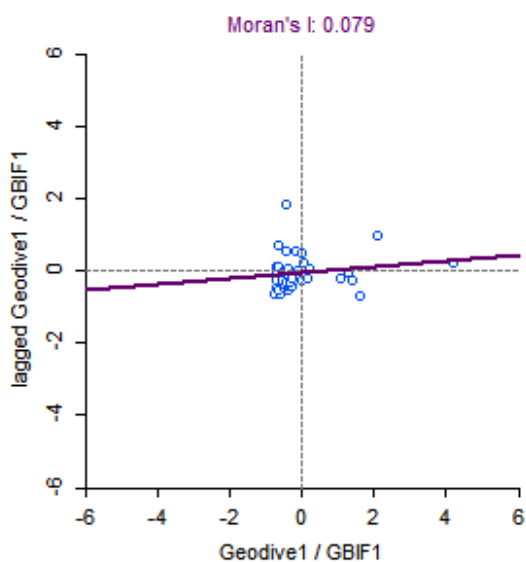
5.4 Autocorrelação espacial

As autocorrelações espaciais foram realizadas com as variáveis Geodiversidade e Diversidade de anfíbios (GBIF e Species Link), sejam elas por contagem simples, índice de Margalef, índice de Shannon e índice de Simpson.

Nos gráficos 1 e 2 são demonstrados a dispersão de Moran em contagem simples, onde temos valores do índice local de Moran de 0,079 para a Geodiversidade com Anfíbios GBIF e 0,039 para a Geodiversidade com Anfíbios Species Link, em ambos notamos uma autocorrelação positiva, porém bastante baixa, visto que o índice positivo varia de 0 a 1, sendo que valores iguais a zero representam ausência de correlação.

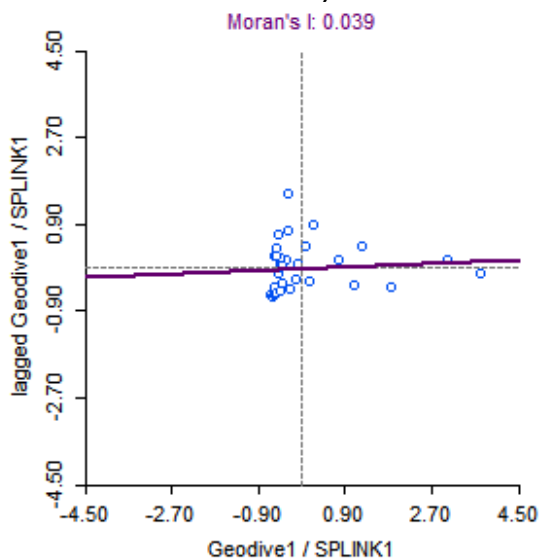
As figuras 48 e 49 representam os mapas de clusters, demonstrando que a maioria dos hexágonos pintados, estão com a tonalidade azul, que significa “Low-Low”, ou seja, baixa geodiversidade e baixa diversidade de anfíbios.

Gráfico 1. Gráfico de dispersão de Moran com contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



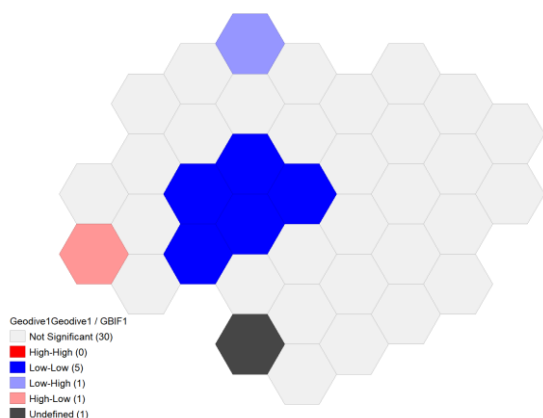
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 2. Gráfico de dispersão de Moran com contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)



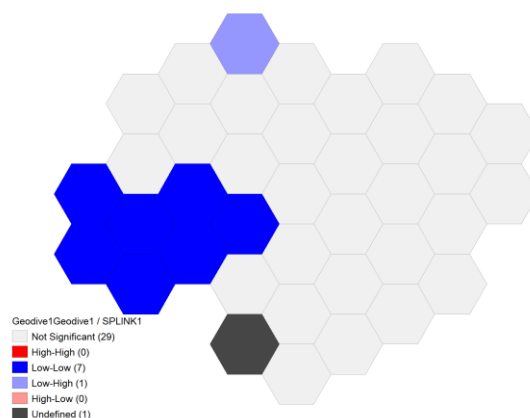
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 48. Mapa de Clusters em contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 49. Mapa de Clusters em contagem simples (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)

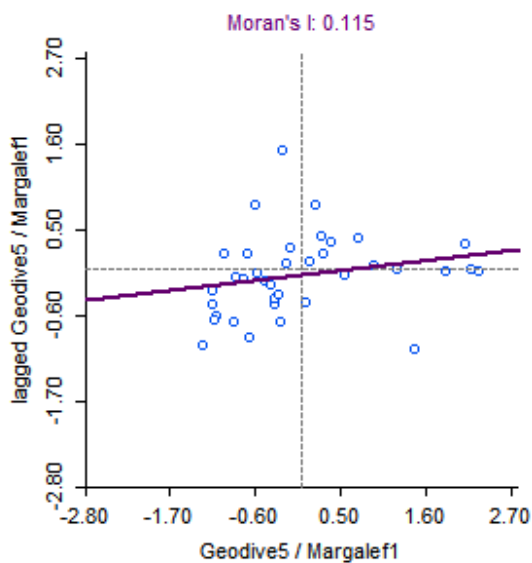


Fonte: Autoria própria (2022)

Nos gráficos 3 e 4 está sendo demonstrada a dispersão de Moran com índice de Margalef, onde temos valores do índice local de Moran de 0,115 para a Geodiversidade com Anfíbios GBIF e 0,144 para a Geodiversidade com Anfíbios Species Link, também notamos aqui uma autocorrelação positiva, levemente mais alta que a contagem simples, mas ainda considerada baixa.

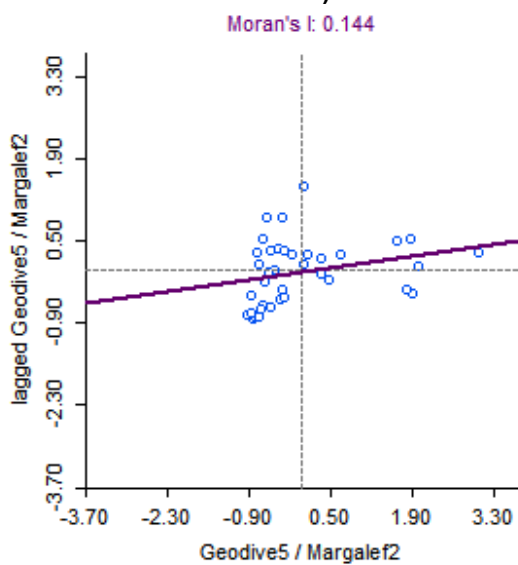
As figuras 50 e 51 representam os mapas de clusters para Margalef, demonstrando também que a maioria dos hexágonos pintados, estão com a tonalidade azul, que significa “Low-Low”, ou seja, baixa geodiversidade e baixa diversidade de anfíbios, porém no mapa correlacionado com os dados Species Link temos um hexágono na cor vermelha, que significa “High-High”, alta geodiversidade e alta diversidade de anfíbios.

Gráfico 3. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



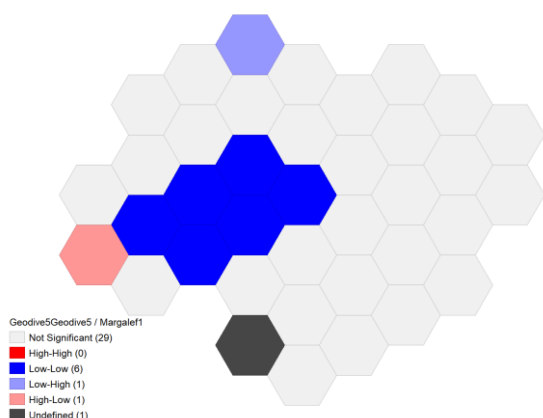
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 4. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)



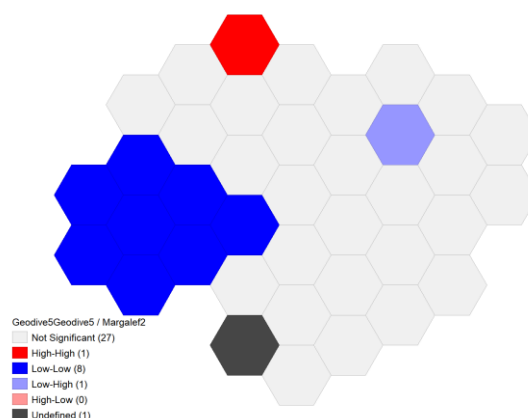
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 50. Mapa de Clusters em índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 51. Mapa de Clusters em índice de Margalef (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)

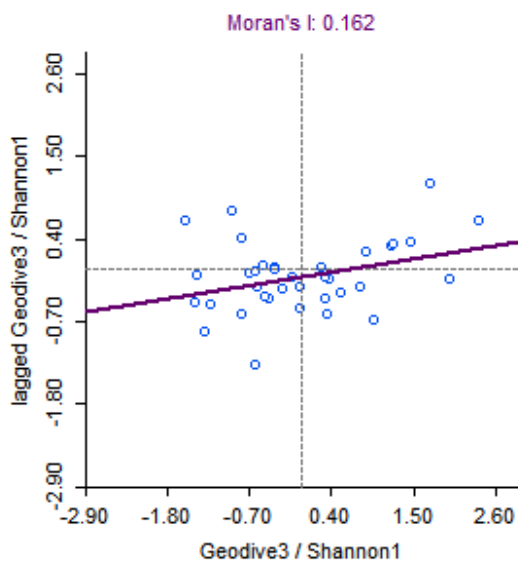


Fonte: Autoria própria (2022)

Os gráficos 5 e 6 mostram a dispersão de Moran com índice de Shannon, onde temos valores do índice local de Moran de 0,162 para a Geodiversidade com Anfíbios GBIF e 0,256 para a Geodiversidade com Anfíbios Species Link, observa-se uma autocorrelação positiva, um pouco mais alta que as anteriores, mas ainda baixa.

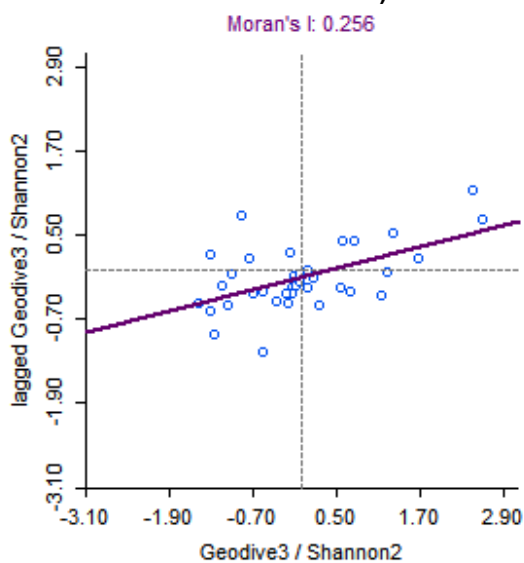
As figuras 52 e 53 representam os mapas de clusters para Shannon, e ainda sim demonstram em sua maioria hexágonos pintados de azul, com baixa geodiversidade e baixa diversidade de anfíbios. Nesse caso também temos um hexágono vermelho em cada mapa, significando que temos alta geodiversidade e alta diversidade de anfíbios em um mesmo ponto, tanto com dados do GBIF, quanto do Species Link.

Gráfico 5. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



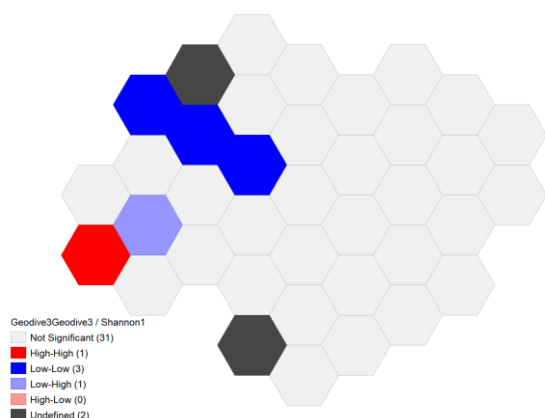
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 6. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)



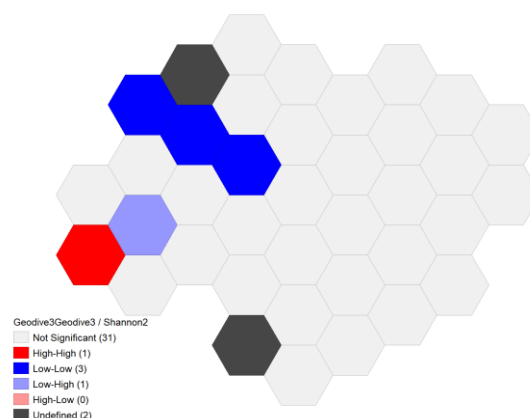
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 52. Mapa de Clusters em índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 53. Mapa de Clusters em índice de Shannon (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)

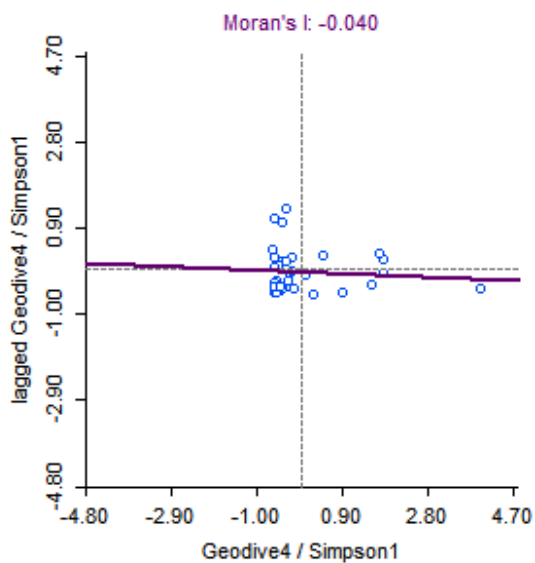


Fonte: Autoria própria (2022)

Nos gráficos 7 e 8 são demonstrados a dispersão de Moran com índice de Simpson, onde temos valores do índice local de Moran de -0,040 para a Geodiversidade com Anfíbios GBIF e 0,009 para a Geodiversidade com Anfíbios Species Link, nesse caso notamos uma autocorrelação negativa para os dados do GBIF e uma autocorrelação positiva para Species Link, ainda assim os valores estão baixos, visto que o índice negativo varia de 0 a -1 e o positivo de 0 a 1, e no caso os dois estão bem próximos a zero, representando quase uma ausência de correlação.

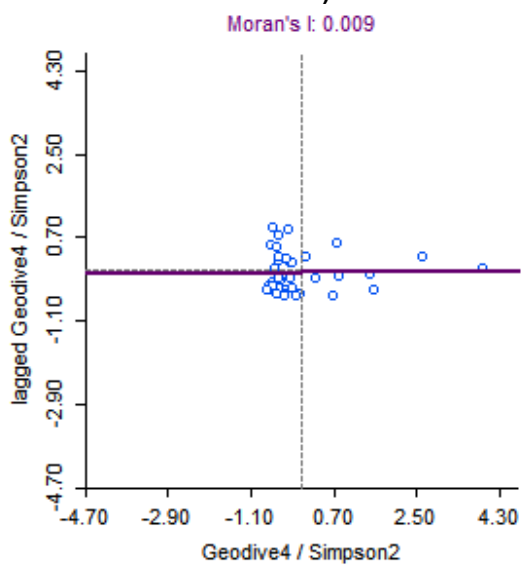
Já nas figuras 54 e 55 está sendo representado os mapas de clusters para Simpson, onde no primeiro está o predomínio de hexágonos pretos, que são clusters indefinidos, e no segundo hexágonos azuis, baixa geodiversidade e baixa diversidade de anfíbios.

Gráfico 7. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



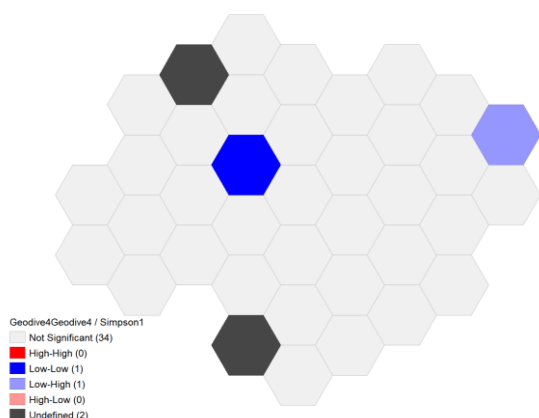
Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 8. Gráfico de dispersão de Moran com índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)



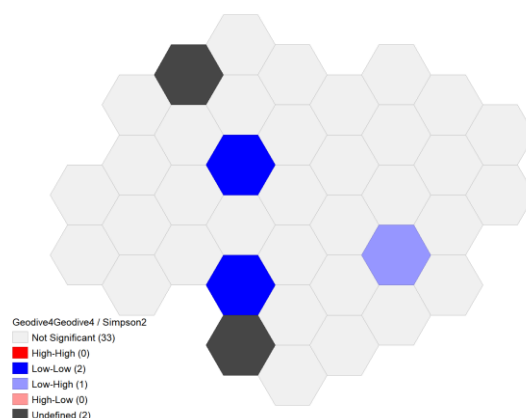
Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 54. Mapa de Clusters em índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios GBIF)



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 55. Mapa de Clusters em índice de Simpson (Geodiversidade x Anfíbios SPLINK)



Fonte: Autoria própria (2022)

Ainda em anexo estão os mapas de significância, que como anteriormente foram realizados com as variáveis Geodiversidade e Diversidade de anfíbios (GBIF e Species Link), por contagem simples, índice de Margalef, índice de Shannon e índice de Simpson. O gradiente mostra basicamente o grau de significância, onde o verde claro mostra maior significância, enquanto os mais escuros representam menores significâncias.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs uma metodologia de avaliação da geodiversidade e da biodiversidade, com o objetivo de quantificar o máximo possível de elementos, baseada em dados cartográficos referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e anfíbios. A escala utilizada para todos os elementos se mostrou adequada até certo ponto, havendo um detalhamento padronizado para todos os índices da geodiversidade até a grade de 100 km, expressando a realidade do local, acima disso houve uma distorção da realidade, fazendo com que possíveis influências não fossem notadas, como por exemplo a influência dos cursos hídricos na geodiversidade.

Outra limitação foi a disponibilidade com homogeneidade espacial dos dados de anfíbios, visto que muitas áreas ainda não foram inventariadas, ou mesmo quando foram, os dados ainda não constam nas plataformas. É notado também na distribuição desses dados, algumas formações lineares na disposição dos pontos, isso porque tais dados coletados estão próximos a estradas, o que permite o avanço de expedições para coleta de anfíbios, visto que a região apresenta desafios para as expedições e coletas de anfíbios devido as formações florestais densas. Mas infelizmente as estradas contribuem muito em outros aspectos negativos também, como o aumento da degradação ambiental, com queimadas e desmatamentos.

O mapa final do índice de geodiversidade e diversidade de anfíbios faz a junção de muitas informações em um só lugar, tornando assim uma ferramenta eficaz e de fácil compreensão para fins de gestão da Amazônia Legal. As células amostrais da grade escolhida que demonstraram maior geodiversidade ou biodiversidade, podem representar um subsídio a definição de possíveis áreas de conservação, áreas de proteção, ou a própria gestão de recursos naturais, além de fins educacionais e de pesquisa.

Em todos os testes de correlação da geodiversidade e diversidade de anfíbios, os resultados demonstraram-se semelhantes, uma autocorrelação positiva em praticamente todas as comparações, apenas a correlação com os índices de Simpson para os dados GBIF mostrou uma autocorrelação negativa, isso porque enquanto um índice era alto, o outro era baixo, por exemplo, enquanto a geodiversidade era alta naquele local, a diversidade de anfíbios era baixa, e isso é considerado uma correlação negativa, ou seja, sempre divergindo.

Mesmo mostrando uma autocorrelação espacial, os valores são baixos considerando a área toda da Amazônia Legal, aproximando de valores iguais a zero, que representam a ausência de correlação, mas é importante destacarmos sobre áreas “*low-low*” e “*high-high*”, pois mesmo sendo uma quantidade pequena de hexágonos, representam espacialmente uma grande extensão de área.

Analisando os resultados, é possível afirmar que mesmo com algumas limitações em relação aos dados espaciais e os níveis de detalhamento das grades, os procedimentos metodológicos utilizados neste estudo se revelaram adequados no processo de avaliação dos índices da geodiversidade e biodiversidade em um dado território, acreditando de que tal metodologia pode ser empregada também em estudos de outras esferas. Espera-se também que esse trabalho tenha contribuído para leitores que estudam tais conceitos e que possivelmente irão aplicar em suas pesquisas relacionadas ao tema.

REFERÊNCIAS

ANSELIN, Luc. Local indicators of spatial association—LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.

ARAÚJO, Miguel. Avaliação da biodiversidade em conservação. **Silva Lusitana**, v. 6, n. 1, p. 19-40, 1998.

AVILA-PIRES, Teresa CS; HOOGMOED, Marinus S.; VITT, Laurie J. **Herpetofauna da Amazônia**. Herpetologia no Brasil II, p. 13-43, 2007.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA. A Convenção sobre Diversidade Biológica-CDB, Cópia do Decreto Legislativo nº 2, de 5 de junho de 1992. **MMA. Brasília**, p. 30, 2000.

BRILHA, José. *et al.* Definition of the Portuguese frameworks with international relevance as an input for the European geological heritage characterisation. 28, n. 3, p. 177-186, 2005.

BRUSCHI, Viola Maria. **Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad**. Universidad de Cantabria, 2007.

CARCAVILLA URQUÍ, Luis. Patrimônio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. 2006.

DE OLIVEIRA, Paula Cristina Almeida; DE SOUSA PEDROSA, António; RODRIGUES, Silvio Carlos. Uma abordagem inicial sobre os conceitos de geodiversidade, geoconservação e patrimônio geomorfológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 29, p. 92-114, 2013.

DE PAULA SILVA, Juliana et al. The Geodiversity of Brazil: quantification, distribution, and implications for conservation areas. **Geoheritage**, v. 13, n. 3, p. 1-21, 2021.

DEMATTE, José Luiz Ioriatti; DEMATTE, José Alexandre Melo. Manejo de solos e produtividade agrícola. In: **Congresso Latino Americano de Ciências do Solo**. 1996.

DEMATTE, José Luiz Ioriatti. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos: região amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988.

DINERSTEIN, E. et al. A workbook for conducting biological assessments and developing Biodiversity Visions for ecoregion conservation. **Part I: Terrestrial Ecoregions. WWF, Conservation Science Program**, 2000.

DO VALE JÚNIOR, José Frutuoso et al. Solos da Amazônia: etnopedologia e desenvolvimento sustentável. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 158-165, 2011.

DUELLMAN, William E. (Ed.). **Patterns of distribution of amphibians: a global perspective**. JHU Press, 1999.

DUELLMAN, William E. Patterns of species diversity in anuran amphibians in the American tropics. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, p. 79-104, 1988.

DUELLMAN, William E. Tropical herpetofaunal communities: patterns of community structure in neotropical rainforests. In: **Vertebrates in complex tropical systems**. Springer, New York, NY, 1989. p. 61-88.

DUELLMAN, W. E. Herpetofaunas in Neotropical rainforests: comparative composition, history, and resource use. **Four neotropical rainforests**, p. 455-505, 1990.

FRANCO, José Luiz de Andrade. O conceito de biodiversidade e a história da biologia da conservação: da preservação da wilderness à conservação da biodiversidade. **História (São Paulo)**, v. 32, p. 21-48, 2013.

GRAY, Murray. **Geodiversity: developing the paradigm**. Proceedings of the Geologists' Association, v. 119, n. 3-4, p. 287-298, 2008.

GRAY, Murray. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. John Wiley & Sons, 2004.

HAMILTON, Andrew J. Species diversity or biodiversity? **Journal of environmental Management**, v. 75, n. 1, p. 89-92, 2005.

IBGE, Geociências, 2020. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?edicao=30963&t=o-que-e>

JORGE, Maria do Carmo Oliveira; GUERRA, Antônio José Teixeira. Geodiversidade, geoturismo e geoconservação: conceitos, teorias e métodos. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 151-174, 2016.

KANIESKI, Maria Raquel et al. Diversidade e padrões de distribuição espacial de espécies no estágio de regeneração natural em São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 509-518, 2012.

MANOSSO, Fernando; PELLITERO ONDICOL, Ramon. Geodiversidade: considerações sobre quantificação e avaliação da distribuição espacial. **Anuário do Instituto de Geociências**, 2012.

MANOSSO, Fernando César. **Potencialidades da paisagem na Região da Serra do Cadeado-PR: abordagem metodológica das relações entre a estrutura geocológica, a geodiversidade e o geoturismo**. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, 2012.

MARGALEF, Ramón. Modelos simplificados del ambiente marino para el estudio de la sucesión y distribución del fitoplancton y del valor indicador de sus pigmentos. 1963.

MARSTON, Richard A. Geomorphology and vegetation on hillslopes: interactions, dependencies, and feedback loops. **Geomorphology**, v. 116, n. 3-4, p. 206-217, 2010.

- MARTHA JUNIOR, Geraldo Bueno; CONTINI, Elisio; NAVARRO, Zander. Caracterização da Amazônia Legal e macro-tendências do ambiente externo. **Embrapa Estudos e Capacitação-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.
- MEINE, Curt; SOULÉ, Michael; NOSS, Reed F. "A mission-driven discipline": the growth of conservation biology. **Conservation biology**, v. 20, n. 3, p. 631-651, 2006.
- METZGER, Jean Paul; CASATTI, Lilian. Do diagnóstico à conservação da biodiversidade: o estado da arte do programa BIOTA/FAPESP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, p. 0-0, 2006.
- MITTERMEIER, Russell A. *et al.* Wilderness and biodiversity conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 18, p. 10309-10313, 2003.
- NIETO, Luís Miguel. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. **Boletín geológico y minero**, v. 112, n. 2, p. 3-12, 2001.
- OLIVEIRA, Damallys Assis *et al.* Análise fatorial e espacial em dados de crimes e acidentes de trânsito do estado de Mato Grosso. **Biodiversidade**, v. 17, n. 3, 2018.
- PEREIRA, Diamantino Insua *et al.* Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. **Environmental management**, v. 52, n. 3, p. 541-552, 2013.
- RAWAT, U. S.; AGARWAL, N. K. Biodiversity: Concept, threats and conservation. **Environment Conservation Journal**, v. 16, n. 3, p. 19-28, 2015.
- REINHARDT, Liam *et al.* Dynamic interactions of life and its landscape: feedbacks at the interface of geomorphology and ecology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 35, n. 1, p. 78-101, 2010.
- RODRIGUES, Miguel Trefaut. Conservação dos répteis brasileiros: os desafios para um país megadiverso. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 87-94, 2005.
- SANTOS, Vanessa Souza dos. **Deteção de clusters espaciais em modelos de regressão beta**. Dissertação de mestrado, 2015.
- SARKAR, Sahotra. Defining "biodiversity"; assessing biodiversity. **The Monist**, v. 85, n. 1, p. 131-155, 2002.
- SERRANO CAÑADAS, E.; RUIZ FLANO, P. Geodiversity: Concept, assessment and territorial application. The case of Tiermes-Caracena (Soria). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, n. 45, p. 79, 2007.
- SERRÃO, E. A. S. *et al.* **Produtividade de pastagens cultivadas em solos de baixa fertilidade das áreas de floresta do trópico úmido brasileiro**. EMBRAPA-CPATU, 1978.
- SHARPLES, Chris. A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes. 1993.
- SHARPLES, Chris. Geoconservation in forest management-principles and procedures. **TASFORESTS-HOBART**, v. 7, p. 37-50, 1995.

SOLDATELI, Andresa; BARBOZA, Eduardo Guimarães; DA CAMARA, Maria Luiza Correa. AS RELAÇÕES ENTRE A BIODIVERSIDADE E A GEODIVERSIDADE NO SETOR COSTEIRO DO PARQUE ESTADUAL DA ITAPEVA, TORRES, RS. In: **Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário-ABEQUA. Rio de Janeiro. 2011.**

VEIGA, A. Tadeu C. A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. **Terra das Águas**, v. 1, p. 88-102, 1999.

XAVIER DA SILVA, Jorge. *et al.* Índices de geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade. **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão novas metodologias de avaliação e monitoramento. Rio de Janeiro, Vozes**, p. 299-316, 2001.

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

ANEXO A – MAPAS DE SIGNIFICÂNCIA

