

Índice de Diversidade de Formas de Relevo do Setor Norte da Apa da Serra da Esperança (PR) com Emprego de Técnica de Classificação Geomorfométrica

Landforms Diversity Index of The Northern Sector of Environmental Protection Area of Serra da Esperança (Parana State, Brazil) With the Use of Geomorphometric Classification

Julio Manoel França da Silva

Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná

juliosilva.geografo@gmail.com

Chisato Oka-Fiori

Universidade Federal do Paraná

chisatofiori@gmail.com

Claudinei Taborda da Silveira

Universidade Federal do Paraná

claudinei.ufpr@yahoo.com.br

Recebido (Received): 18/03/2017
DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.132712

Aceito (Accepted): 30/05/2017

Resumo: O presente artigo especifica o Índice de Diversidade de Formas de Relevo do setor norte da APA da Serra da Esperança, estado do Paraná, vinculando-se, conceitual e metodologicamente, ao componente geomorfológico da geodiversidade. As formas de relevo foram classificadas mediante o Índice de Posição Topográfica, apoiando-se em Sistema de Informações Geográficas; cujo resultado foi posteriormente submetido ao Índice de *Shannon* (SHDI) para estabelecimento de cinco classes de diversidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. Considerando a distribuição de classes de riqueza e equabilidade das formas de relevo em células de quantificação de 500 x 500 m, os resultados indicaram, de maneira geral, relações entre maiores valores de SHDI com relevos mais acidentados; enquanto os menores valores de SHDI estão associados à planícies aluviais ou áreas mais suaves topograficamente.

Abstract: The present paper specifically the Landform Diversity Index in the northern sector of the Environmental Protection Area of Serra da Esperança, Parana State, Brazil, linking, conceptually and methodologically, to geomorphological component of geodiversity. The landforms were classified by the Topography Position Index, based on Geographic Information System; with its result being submitted, subsequently, to Shannon Index (SHDI) for establishment of five classes of diversity: Very Low, Low, Medium, High and Very High. Considering the distribution of classes of richness and evenness of the landforms in quantification cell to 500 x 500 m, the results indicated, in a general way, relations between the highest values of diversity with landforms terrain; while lower values of diversity with alluvial plains or areas of gentle topography.

Palavras-chaves: Geomorfometria, Análise Digital do Relevo, Geodiversidade, Diversidade Geomorfológica.

Keywords: Geomorphometry, Digital Analysis of Landforms, Geodiversity, Geomorphological Diversity.

INTRODUÇÃO

O termo **Geodiversidade**, se referindo à variedade abiótica do meio físico, passou a ser desenvolvido nas geociências a partir da década de 1990, buscando atender a demanda de pesquisadores que buscavam equivalência conceitual entre a diversidade biótica e abiótica da Terra.

Desde então, diferentes autores preocuparam-se em conceituá-lo para especificar a variabilidade: “geológica, geomorfológica, pedológica, de sistemas e processos naturais (...), incluindo provas para a história da Terra e de uma variedade de processos que agem sobre rochas, solos e formas de relevo” (DIXON, 1996, p. 5); “de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra” (STANLEY, 2000, p. 11); “de aspectos geológicos (minerais, rochas e fósseis) geomorfológicos (formas de relevo e processos) e pedológicos, incluindo suas coleções, relações, propriedades, interpretações e sistemas” (GRAY, 2004, p. 8); e “da superfície terrestre, envolvendo seus aspectos geológicos e geomorfológicos, solos e águas superficiais, bem como os demais sistemas resultantes de processos naturais ou antrópicos” (KOZLOWSKI, 2004, p. 3).

A diversidade geomorfológica, integrante da variabilidade do meio abiótico é representativa de um conjunto de formas e processos ocorridos na superfície terrestre, muitas vezes se destacando na interpretação da paisagem, podendo contribuir significativamente para pesquisas de base ou aplicadas em Ciências da Terra. No contexto da geodiversidade, sua abordagem específica deve ser abordada, sobretudo, como uma questão de escala espacial e temporal, considerando a complexidade de fatores internos e externos desencadeados ao longo do tempo geológico, cujas propostas metodológicas necessitam estar em conformidade ao nível analítico requerido: global, regional ou local. (THOMAS, 2012).

Diversas bases conceituais e metodológicas remetem-se diretamente à diversidade geomorfológica, considerando: **a) a variabilidade morfogenética, morfológica e morfodinâmica** – ex. Geomorfodiversidade (PANIZZA, 2009; TESTA *et al.*, 2013), Heterogeneidade Geomorfológica (BURNETT *et al.*, 1998; PIRAINO *et al.*, 2015) e Complexidade Geomorfológica (HUGGETT, 2007; SPILOTRO e PELLICANI, 2015); **b) as escalas possíveis de visualização** – ex. Formas Isoladas e Formas Panorâmicas (PEREIRA *et al.*, 2007) e Geoformas Isoladas, Compostas ou Panorâmicas (PEREIRA e PEREIRA, 2010); e **c) seus potenciais valores patrimoniais** – ex. Áreas de Interesse Geomorfológico (RIVAS *et al.*, 1997; PRALONG, 2005), Sítios Geomorfológicos (RESTREPO, 2004; CARTON *et al.*, 2005), Geomorfossítios (PANIZZA, 2001; REYNARD *et al.*, 2011) e Patrimônio Geomorfológico (BOYER *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 2007).

Essas diferentes abordagens podem contar, atualmente, com o desenvolvimento progressivo das técnicas de análise espacial em Sistema de Informações Geográficas (SIG), bem como com a crescente disponibilização de diversificadas fontes de dados que, conjuntamente, estabelecem um panorama científico favorável para quantificação da variabilidade abiótica, destacando-se as contribuições recentes da Geomorfometria.

A **Geomorfometria** possibilita a análise e modelagem de múltiplos atributos físicos da superfície terrestre, possibilitando sua quantificação e parametrização (CHORLEY, 1957; PIKE, 2000). Seus subsídios teóricos, técnicos e metodológicos são derivados da articulação entre geociências, matemática, estatística, engenharias e ciência da computação, destacando-se como ciência interdisciplinar, aplicável em diversificados campos do conhecimento (TOBLER, 2000; PIKE *et al.* 2009).

Tratando do componente geomorfológico da geodiversidade este avanço repercute em novas proposições metodológicas, especificamente quando consideradas as particularidades de uma determinada área de interesse; caso do recorte espacial adotado: o setor norte da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Esperança, concernente aos municípios paranaenses de Guarapuava (mesorregião centro-sul) e Prudentópolis (mesorregião sudeste). Geograficamente está localizada entre as latitudes de 25°02'36" a 25°31'15" Sul; e longitudes 51°04'04" a 51°20'13" Oeste (**Figura 1**).

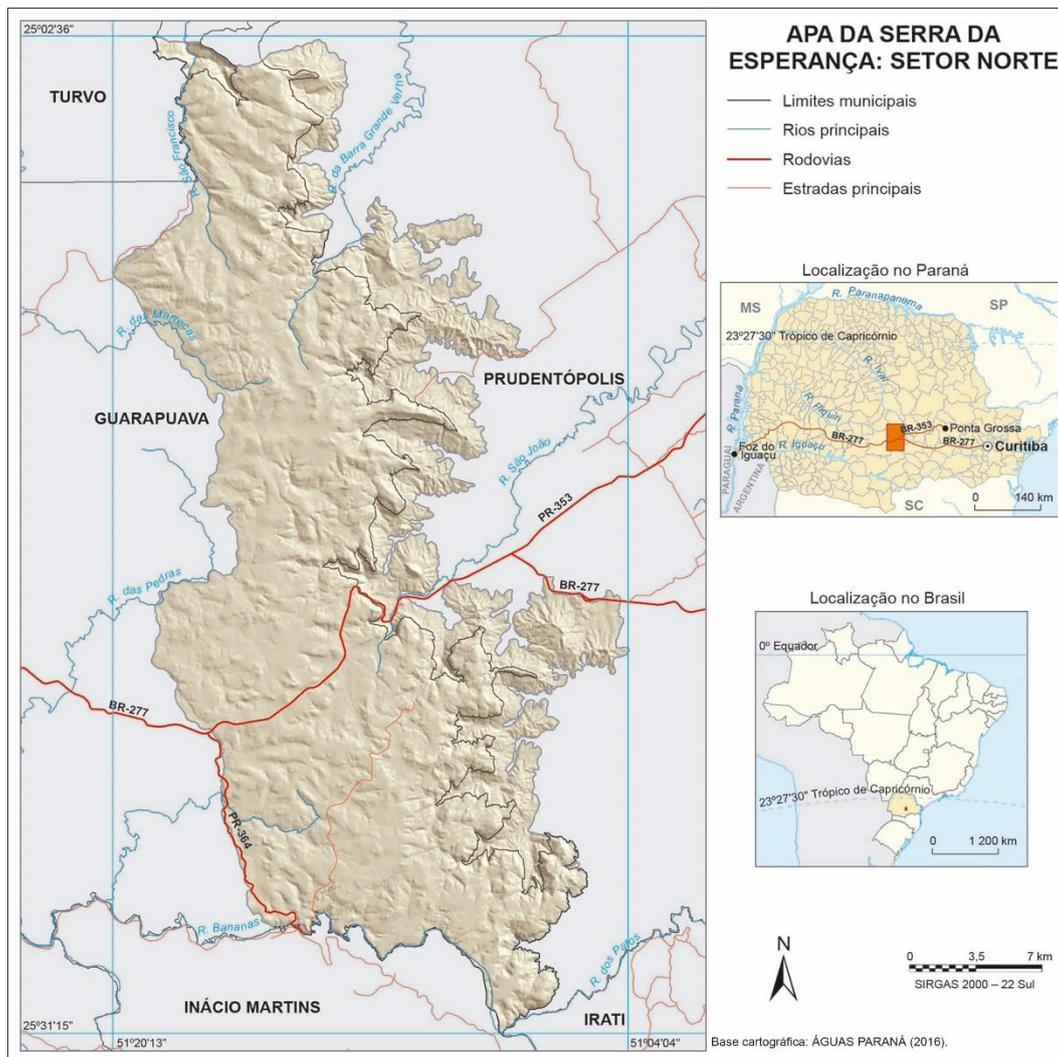


Figura 1: Localização da área de estudo.

A diversidade geomorfológica da APA resulta de processos endógenos e exógenos ocorridos na Bacia Sedimentar do Paraná desde o Devoniano, responsáveis por configurar diversificados padrões de relevo, associados às rochas ígneas e sedimentares que embasam o Segundo Planalto e Terceiro Planalto Paranaense.

Estas unidades em planaltos são consideradas duas das cinco *Grandes Regiões de Paisagens Naturais* (MAACK, 1981) ou *Unidades Morfoesculturais* (SANTOS *et al.*, 2006) do estado do Paraná, delimitadas pela *Escarpa da Esperança*. Esta última, também denominada *Escarpa Triássico-jurássica* na distinção das formações geológicas Mesozoicas das Paleozoicas, recebe regionalmente a denominação *Serra da Esperança*, em virtude da elevada amplitude altimétrica ocorrida nesta zona caracterizada, sobretudo, como uma transição geológico-geomorfológica (MAACK, 1981).

A área compreende colinas em diferentes níveis de dissecação, planícies aluviais estreitas, cristas controladas por lineamentos estruturais, faixas de cornija, depósitos de tálus e relevos residuais (**Figura 2**).

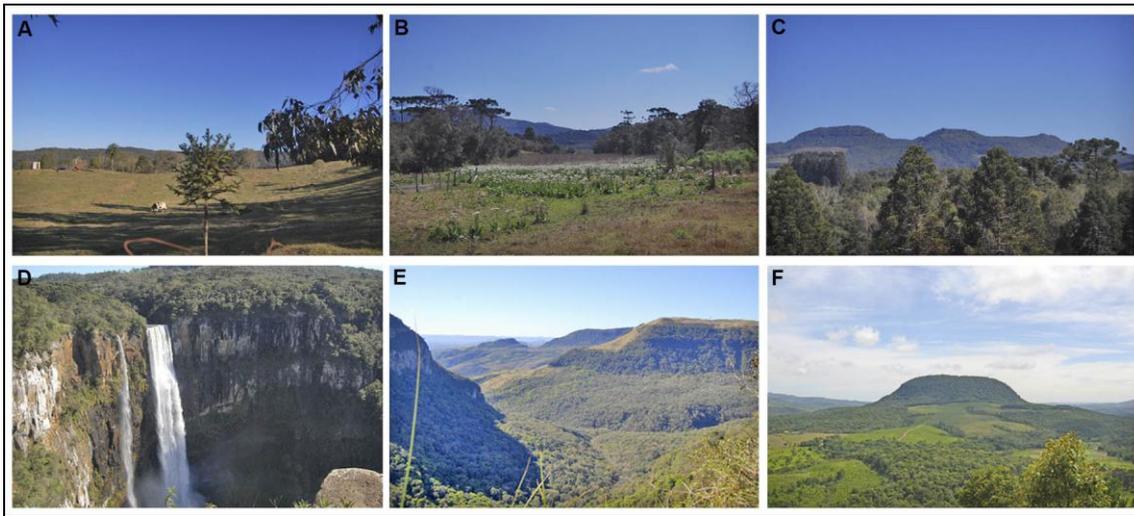


Figura 2: Padrões de relevo predominantes na área de estudo: A) Colina; B) Planície Aluvial; C) Crista; D) Cornija da Escarpa; E) Depósito de Tálus; F) Relevo Residual.

Quando agrupadas nas subunidades morfoesculturais definidas por Santos *et al.* (2006) esses padrões podem ser classificados como: a) colinas amplas e planícies aluviais do Planalto Pitanga/Ivaiporã e do Planalto Foz do Areia, inseridas na unidade morfoescultural Terceiro Planalto Paranaense; b) cristas alongadas e colinas amplas do Planalto de Prudentópolis; pertencente a unidade morfoescultural Segundo Planalto Paranaense; e c) faixas de cornijas, depósitos de tálus e relevos residuais dos Planaltos Residuais da Formação Serra Geral; representativos das formas de relevo ocorridas na zona de transição geológico-geomorfológica supramencionada.

Considerando a variabilidade geomorfológica do setor norte da APA em escala detalhada, o objetivo geral do presente trabalho refere-se ao estabelecimento, em ambiente SIG, do **Índice de Diversidade de Formas de Relevo**, propondo modelo representativo da ocorrência e distribuição espacial (riqueza e equabilidade) de diversificados padrões geomorfológicos, apoiando-se em técnica de classificação geomorfométrica.

As classes quantitativas que compõe o índice devem ser capazes de demonstrar que os maiores valores de diversidade de formas de relevo, apesar de estarem distribuídos ao longo de toda área, tendem a ser mais representativos em áreas de maior acidentalidade; e ao contrário, os menores valores, em planícies aluviais, áreas planas ou áreas topograficamente suaves.

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Modelo Digital do Terreno

A análise digital do relevo e submissão de dado *raster* ao índice de diversidade foi posterior à elaboração de Modelo Digital do Terreno (MDT); adotado como fonte de dados para derivação dos seguintes parâmetros geomorfométricos: hipsometria, relevo sombreado, declividade e formas de relevo.

O MDT foi gerado por meio do interpolador *Topo to Raster*; integrante do módulo *3D Analyst* e *Spatyal Analyst Tools* da plataforma *ArcGIS 10.1*. Projetado a partir do programa ANUDEM – *Australian National University Digital Elevation Model* (HUTCHINSON, 1988; 1989) baseia-se em algoritmo determinístico (drenagem forçada) que remove reentrâncias, falsas depressões e artefatos, possibilitando livre escoamento superficial, estabelecendo, portanto, superfícies topográficas hidrologicamente consistentes.

Basicamente, o algoritmo calcula diferentes resoluções de grade mediante iterações por diferenças finitas (método de *Gauss-Seidel*) até atingir a resolução requerida, calculando valores iniciais por média das amostras, sendo os *pixels* atribuídos pelo valor da amostra mais próxima.

Os procedimentos para elaboração do MDT via SIG baseiam-se em: Aquisição de bases vetoriais em meio digital (ÁGUAS PARANÁ, 2015): pontos cotados, curvas de nível, hidrografia, lagos e seu recorte no polígono envolvente do setor norte da APA; Redefinição de projeção cartográfica: SIRGAS 2000 – Zona 22 Sul; Inserção das bases vetoriais no interpolador *Topo to Raster*; Metodologia de Hengl (2006) para definição do tamanho do *pixel* (p), considerando a relação entre a área do polígono envolvente (A) e o comprimento total das curvas de nível (l). Considerou-se a totalidade da área para definir o limite da menor resolução (**Equação 1**) e amostra dos 5% da área com maior densidade de curvas de nível para estabelecer o limite de maior resolução (**Equação 2**):

$$p < \frac{A}{2 \cdot \sum l} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$p > \frac{A(5\%)}{2 \cdot \sum l(5\%)} \quad \text{(Equação 2)}$$

Com base nesta formulação, chegou-se a resolução de 55 x 55 m (área total) e de 28 x 28m (área amostral – 5%), optando-se em gerar MDT com base na última medida, devidamente arredondada para 30 x 30 m, compondo grade estruturada por 1235 x 1880 *pixels*.

Classificação de Formas de Relevo

A partir do MDT, as formas de relevo foram discretizadas pelo **Índice de Posição Topográfica – IPT** (*Topographic Position Index – TPI*), proposto inicialmente por Weiss (2001), adotando-se algoritmos de estatística focal e álgebra de mapas em ambiente *ArcGIS 10.1*.

Podendo utilizar janelas de vizinhança de diferentes formatos o IPT calcula diferenças entre valores de um ponto central (Z_0) e valores médios do seu entorno (\bar{Z}), (**equação 3**), a partir de raio pré-definido:

$$IPT = Z_0 - \bar{Z} \quad \text{(Equação 3)}$$

As células de grade com valores idênticos podem remeter-se a contextos geomorfológicos distintos, e a derivação do IPT em formas de relevo necessita considerar a variabilidade de vizinhança existente por meio de valores de **Desvio Padrão**. De acordo com as características da área de estudo, optou-se pela classificação em seis classes de relevo, amparando-se, após testes preliminares, em janela circular de 15 metros de raio, ponderando-se os seguintes valores: IPT > 1 desvio padrão: **Cristas e Topos**; IPT > 0,5 e ≤ 1 desvio padrão: **Vertentes Superiores**; IPT > -0,5 e < -0,5 desvio padrão; declividade < 5°: **Vertentes Intermediárias**; IPT ≥ -0,5 e ≤ -0,5 desvio padrão, declividade ≥ 5°: **Áreas Planas**; IPT ≥ -1 e < 0,5 desvio padrão: **Vertentes Rebaixadas**; IPT < -1 desvio padrão: **Vales e Canyons**.

Os dados de declividade correlacionados às classes de Vertentes Intermediárias e Áreas Planas foram igualmente extraídas do MDT em ambiente SIG, cujo cálculo considera análise de vizinhança para quantificar a variação máxima da inclinação da célula central em relação aos seus oito vizinhos; estruturando-se sobre as variáveis direcionais do modelo teórico de Horn (1981), (**Equações 4 e 5**):

$$fx = \frac{[(Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7)]}{8L} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$fy = \frac{[(Z_1 + 2Z_6 + Z_3) - (Z_7 + 2Z_8 + Z_9)]}{8L} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde fx é o gradiente leste-oeste da janela, fy o gradiente norte-sul e L o espaçamento de cada grade do MDT (30 metros).

Índice de Diversidade de Shannon

O Índice de Diversidade de Shannon (*SHDI*), derivado da Teoria da Informação (SHANNON, 1948; SHANNON e WEAVER, 1949), foi utilizado para quantificar, em células de 500 x 500 m, o número de ocorrências das classes de formas de relevo e suas respectivas proporções (**Equação 6**):

$$SHDI = - \sum_{i=1}^s pi = \frac{n_i}{N} * Ln pi \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde: n_i refere-se ao número de células relativas à cada classe, N o número total de classes da amostra (Riqueza) e pi à proporção das mesmas (Equabilidade) em relação à área, expressa em Logaritmo Natural (Ln).

Os valores do índice aumentam conforme maior número de diferentes tipos de classes e/ou sua proporção nas células de análise, ou seja, considerada uma determinada variável, o valor máximo possível é alcançado quando todas as classes possuem a mesma área (EIDEN *et al.*, 2000).

O estabelecimento do SHDI sobre o IPT foi realizado mediante o algoritmo *Landscape Ecology Statistics* (LecoS), estruturado em linguagem de programação *Python* (OLIPHANT, 2007), originalmente aplicado para cálculo de métricas básicas e avançadas no campo da ecologia da paisagem (JUNG, 2013).

Compondo *plug-ins* compatíveis com a plataforma *QGIS-SAGA-GRASS*, possibilita que formulações específicas sejam incorporadas ao algoritmo básico, viabilizando a inserção da equação do SHDI ao *raster* de formas de relevo na grade de quantificação, utilizando-se do *script Landscape Vector Overlay*. Os valores derivados foram registrados em arquivo de banco de dados (*Data Base File – DBF*) e posteriormente convertidos em novo *raster* para classificação de cinco classes de diversidade de Formas de relevo: *Muito Baixa (1)*, *Baixa (2)*, *Média (3)*, *Alta (4)* e *Muito Alta (5)*.

A categorização dos valores de diversidade baseou-se em algoritmo de *Intervalo Geométrico* do *ArcGIS 10.1* – método que correlaciona Intervalo Iqualitário, Cortes Naturais e Quantil. Como resultado, dentro do número de classes estipulado, se estabelece um equilíbrio entre valores centrais e valores extremos (ESRI, 2010).

A **Figura 3** demonstra como as classes de formas de relevo são submetidas ao SHDI, considerando a distribuição de sua riqueza e equabilidade em células de quantificação de 500 x 500 m, por seu turno, elaboradas no algoritmo *Fishnet* do *ArcGIS 10.1* (*ArcToolbox/Data Management Tolls/Feature Class/Create Fishnet*).

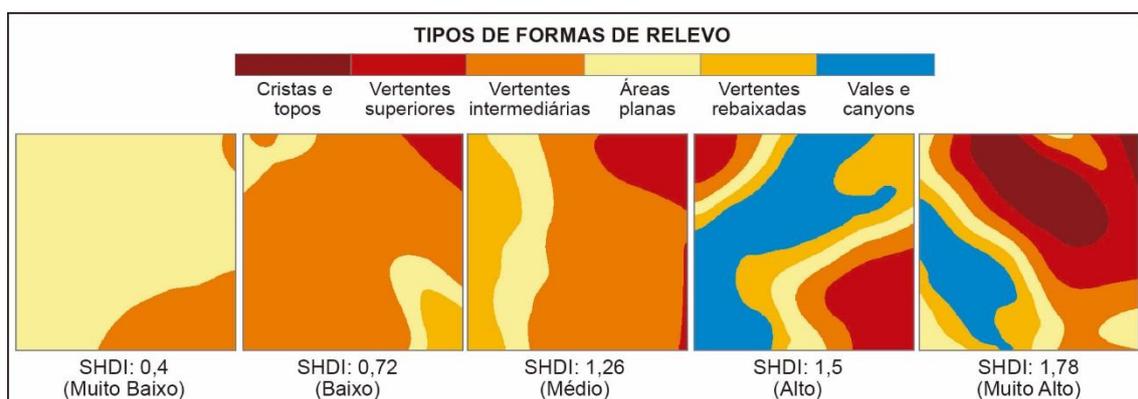


Figura 3: Células amostrais de riqueza e equabilidade de formas de relevo.

Interpolação das Classes de Diversidade

A definição do SHDI de formas de relevo configurou-se, inicialmente, em arquivos *raster* compostos pelas células de quantificação de 500x500 m, interpolados posteriormente para obtenção de resultados cartográficos com percepção visual mais atrativa. Para tanto, as mesmas grades poligonais que contêm os valores de diversidade foram convertidas para vetores de pontos, sendo em seguida submetidas ao interpolador *Spline*, disponível no *ArcGIS 10.1*.

Para estimar valores, o *Spline* perpassa os pontos de amostra através de funções que minimizam curvaturas, resultando em superfícies mais suaves. Na função *Spline Tension* a interpolação restringe-se aos dados contidos no intervalo amostral; enquanto a função *Spline Regularized* considera valores que podem estar fora do intervalo de dados de amostra (ESRI, 2010). Após testes preliminares optou-se pelo segundo tipo, cujo algoritmo se baseia na formulação expressa na **Equação 7**:

$$S(x, y) = T(x, y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde: $j = 1, 2, \dots, N$; N refere-se a quantidade de pontos; λ são coeficientes determinados para solucionar sistema de equações lineares, r_j é distância do ponto (x, y) ao ponto j . Na opção *Spline Regularized*, $T(x, y)$ se define conforme a **Equação 8**:

$$T(x, y) = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde: a_i são os coeficientes determinados; enquanto $R(r)$ se define segundo a **Equação 9**:

$$R(r) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{r^2}{4} \left[\ln \left(\frac{r}{2\tau} \right) + c - 1 \right] + \tau^2 \left[K_0 \left(\frac{r}{\tau} \right) + c + \ln \left(\frac{r}{2\pi} \right) \right] \right\} \quad \text{(Equação 9)}$$

Sendo: r a distância definida entre o ponto e a amostra, τ^2 o parâmetro de peso, K_0 a função de *Bessel* modificada e c uma constante igual a 0,577215.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classes de Formas de Relevo

Os tipos de formas de relevo e suas respectivas proporcionalidades espaciais são apresentados na **Figura 4**. Reiterando, a discretização deste parâmetro se baseou em seis classes de Índice de Posição Topográfica (IPT), cujos valores numéricos variaram entre -292.3 e 265.3, apresentando média de -2.01 e desvio padrão de 39.9; sendo este último, base primordial para o estabelecimento das classes, conforme procedimentos apresentados anteriormente.

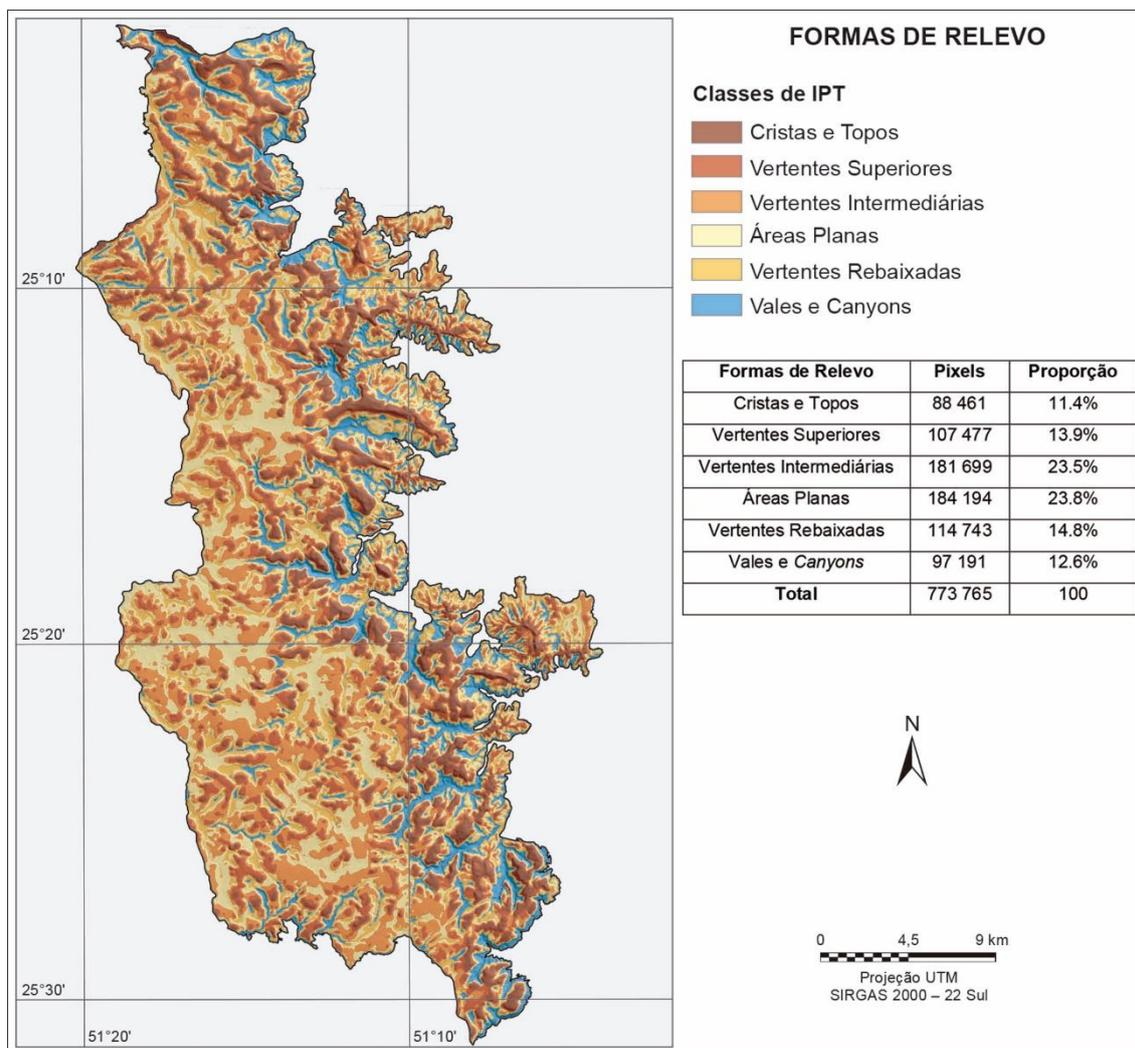


Figura 4: Classificação de Formas de Relevo com base no IPT.

As formas de relevo de maior extensão são designadas como **Áreas Planas** (23.8%), agregando colinas amplas, minimamente dissecadas, e planícies aluvionares.

As formas com menor extensão são denominadas **Cristas e Topos** (11.4%), que atribuídos de valores de altitude mais elevados, representam a posição superior de: a) cristas dissecadas de estrutura linear; b) formas residuais da Formação Serra Geral; e c) formas elevadas localizadas entre as colinas ou nas zonas de contato entre as mesmas com terrenos mais dissecados.

Os valores numéricos determinados pelo IPT discriminam as vertentes em três subunidades: **Vertentes Superiores** (13.9%), **Vertentes Intermediárias** (23.5%) e **Vertentes Rebaixadas** (14.8%), sendo as duas primeiras contíguas às posições mais elevadas dos relevos dissecados e a última adjacente às áreas planas ou quase planas.

As vertentes rebaixadas também representam setores de transição, já que seus limites inferiores se conectam à última forma de relevo considerada no estudo – denominada **Vales e Canyons**. Esta classe ocupa 12.6% da área pesquisada, abrangendo vales fluviais abertos ou encaixados, que em alguns casos são contíguos se interpretados com base na intercalação entre setores definidos por lineamentos e sua abertura quando entrecruzam, gradualmente, os planaltos.

A designação *Canyon* especifica áreas onde a amplitude altimétrica entre topo de cristas e talvegues é mais acentuada, normalmente, coincidindo com rugosidades extremas, ocorrendo particularmente, em setores de festonamento da escarpa.

Índice e Diversidade de Formas de Relevô

O Índice de Diversidade de Formas de Relevô estabelece valor mínimo de 0.04, máximo de 1.78, média de 1.2 e desvio padrão de 0.36. Sua designação em intervalos de classes e respectiva proporcionalidade espacial são fornecidas na **Figura 5**.

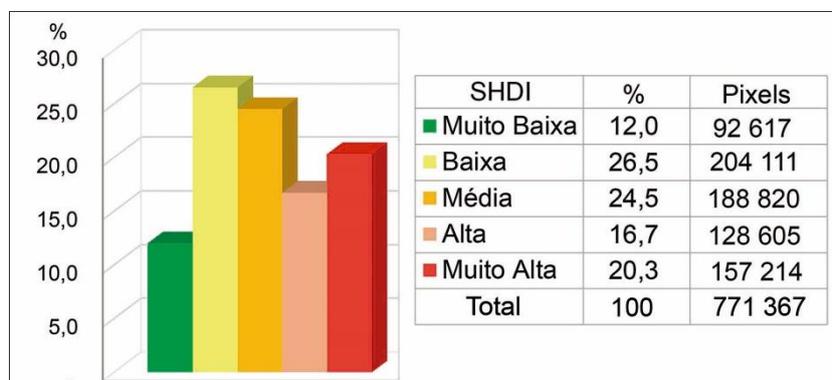


Figura 5: Área ocupada por cada classe de SHDI.

Como produto cartográfico síntese dos resultados obtidos apresenta-se, conforme procedimentos metodológicos explicitados, representação matricial (valores em grade) e vetorial (interpolados pelo algoritmo *Spline*) do SHDI de Formas de Relevô (**Figura 6**).

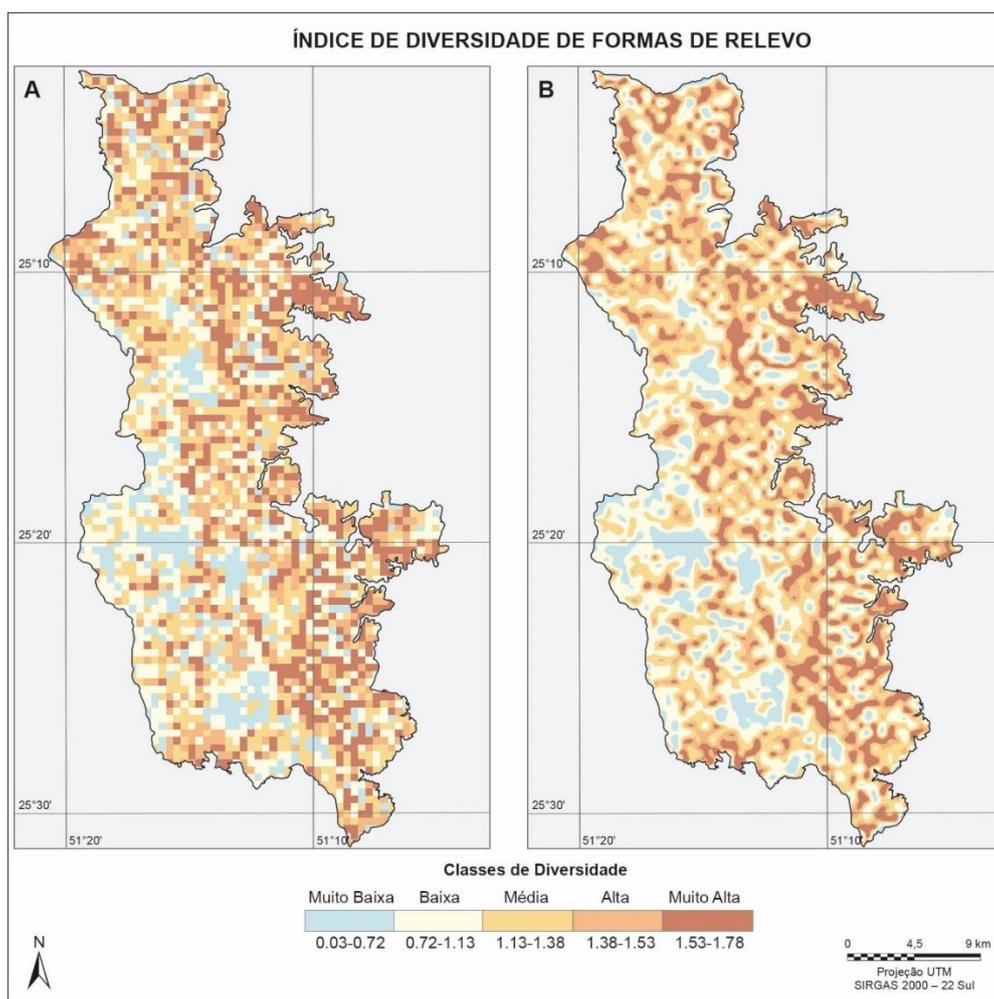


Figura 6: SHDI de Formas de Relevô: A) grades de 500 x 500 m; B) classes interpoladas.

As formas de relevo, quando interpretadas com base no SHDI, apresentam uma distribuição bastante nivelada, ligeiramente predominante na classe de diversidade *Baixa*, com valores muito próximos, porém, das áreas ocupadas pelas classes de diversidade *Média* e *Muito Alta*. Esse relativo nivelamento entre as classes pode ser atribuído às características do Índice de Posição Topográfica, cujos padrões espaciais de classes (Formas de Relevo) distribuem-se de maneira equivalente sob as células de quantificação.

Considerando os setores da área de estudo que possuem classes de diversidade *Muito Baixa* e *Muito Alta*, se evidencia a predominância desta última. Sua distribuição se dá no entorno de terrenos mais dissecados, onde as formas de relevos são amplamente diversificadas e proporcionalmente distribuídas nas células de quantificação; enquanto a primeira classe resulta, principalmente, da quantificação de terrenos planos ou quase planos, correspondendo a menor variabilidade geomorfológica dentro das respectivas células de 500 x 500 m.

A classe de SHDI *Baixa* possui leve predomínio de área em relação à classe de SHDI *Média*, as quais representam, respectivamente, setores onde o Índice de *Shannon* pondera terrenos mediantemente dissecados; e setores onde uma mesma célula de quantificação agrega, de maneira geral, vertentes rebaixadas, áreas planas e vales/*canyons*.

A classe de SHDI *Alta*, por sua vez, possui ampla representatividade espacial, sendo a riqueza e equabilidade de classes, assim como na classe superior de diversidade (*Muito Alta*), representativa de elevada heterogeneidade de formas, apresentando valores abaixo desta última apenas por não compreender as porções superiores das vertentes e os topos dos relevos em cristas.

CONCLUSÃO

As formas de relevo, particularmente quando delineadas em unidades homogêneas, possuem funções importantes nos procedimentos envolvidos na quantificação da geodiversidade ou, mais especificamente, do seu componente geomorfológico.

Quando contextualizada em unidades fisiográficas homogêneas, a área de estudo pode ser compreendida pela transição abrupta entre o Terceiro e Segundo Planalto paranaense, evidenciando a função da Escarpa da Esperança na compartimentação de contextos geológico-geomorfológicos particulares.

Por outro lado, considerando a escala adotada e a classificação resultante do Índice de Posição Topográfica, a variabilidade geomorfológica é avaliada sobre um nível analítico mais detalhado, e as formas de relevo passam a ser compreendidas com base na sua continuidade e conectividade espacial.

Conforme o pressuposto introdutório, os maiores valores de diversidade do relevo foram verificados em áreas de relevos de maior acidentalidade, significando uma maior variabilidade de formas quantificadas nas grades de 500 x 500 m. Ao contrário, como em áreas planas as mesmas grades de quantificação tendem a agregar menos classes de formas de relevo, os valores de riqueza e equabilidade resultantes foram reduzidos.

Como o presente artigo tem conotação metodológica, cabe reiterar que foi adotado um único modelo para classificação geomorfométrica das formas de relevo (Índice de Posição Topográfica); mesma premissa para a quantificação de sua diversidade (Índice de *Shannon*). Neste sentido, oportunamente, são necessárias análises comparativas de resultados gerados a partir de outros métodos potencialmente aplicáveis na classificação geomorfométrica da diversidade geomorfológica, bem como para demais componentes da geodiversidade, em abordagens escalares compatíveis.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS PARANÁ – Instituto das Águas do Paraná. **Mapas e Dados Espaciais**. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br>. Acesso em: 5 abril 2016.

BOYER, L.; FIERZ, S.; MONBARON, M. Geomorphological heritage evaluation in karstic terrains: a methodological approach based on multicriteria analysis. **Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.**, n. 5, p. 103-113, 1998.

BURNETT, M. R.; AUGUST, P. V.; BROWN-JR, J. H.; KILLINGBEC, K. T. The influence of

- Geomorphological Heterogeneity on Biodiversity. A patch scale perspective. **Conservation Biology**, v. 12, n. 2, p. 363-370, 1998.
- CARTON, A.; CORATZA, P.; MARCHETTI, M. Guidelines for geomorphological sites mapping: examples from Italy. **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, v. 3, p. 209-217, 2005.
- CHORLEY, R. J. Climate and morphometry. **Journal of Geology**, n. 65, p. 628-638, 1957.
- DIXON, G. Geoconservation: An International Review and Strategy Significance on Tasmania. **Occasional Paper**, n. 35, Parks & Wildlife Service, Tasmania. 1996.
- EIDEN, G; KAYADJANIAN, M; VIDAL, C. Quantifying Landscape Structures: spatial and temporal dimensions, 2000. In: **From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/ch2.htm#>. Acesso em: 10 set. 2016.
- ESRI. **ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst. Version 10.1**. Environmental Systems Research Institute, 2010.
- GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature**. Londres: John Wiley & Sons Ltda, 434 p., 2004.
- HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geosciences**, n. 32, p. 1283-1298, 2006.
- HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. **Proceedings of the IEEE**, n. 69, v.1, p. 14-47, 1981.
- HUGGETT, R. A history of the systems approach in geomorphology. **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, v. 13, n. 2, p. 145-158, 2007.
- HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: **Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney**, Australia, 1988.
- HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, n. 106, p. 211-232, 1989.
- JUNG, M. LecoS - A QGIS plugin for automated landscape ecology analysis. **PeerJ PrePrints**, online, v. 2, p. 1-10, 2013.
- KOZŁOWSKI, S. The concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, v.52, n.8/2, p.833-837, 2004. Disponível em: www.pgi.gov.pl/pdf/pg_2004_08_2_22a.pdf. Acesso em: 10 jan. 2016.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2ª ed. José Olympio, Rio de Janeiro, 1981.
- OLIPHANT, T. E. Python for scientific computing. **Computing in Science & Engineering**, n. 9:3, p. 10-20, 2007.
- PANIZZA, M. Geomorphosites: Concepts, methods and examples of geomorphological survey. **Chinese Science Bulletin**, n. 46, p. 4-6, 2001.
- PANIZZA, M. The Geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): A Keyof Geoheritage Assessment. **Geoheritage**, n. 1, p. 33-42, 2009.
- PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P., ALVES, M. I. C.; BRILHA, J. Avaliação do Património Geomorfológico: proposta de metodologia. Lisboa: **Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos**, v. 5, p. 235-247, 2007.
- PEREIRA, P.; PEREIRA, D. Methodological guidelines for geomorphosite assessment. **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, n. 2, p. 215-222, 2010.
- PIKE, R. J. Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography**, n. 24:1, p. 1-20, 2000.
- PIKE, R. J.; EVANS, I., HENGL, T. Geomorphometry: a brief guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Eds.) **Geomorphometry – Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p. 3-30, 2009.
- PIRAINO, S.; ABRAHAM, E. A.; DIBLASI, A.; JUÑENT, F. A. R. Geomorphological-related heterogeneity as reflected in tree growth and its relationships with climate of Monte Desert *Prosopis flexuosa* DC woodlands. **Trees**, v. 29, p. 903-916, 2015.

- PRALONG, J.P. A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites. **Geomorphologie: relief, processus, environment**, n. 3, p. 189-196, 2005.
- RESTREPO, C. Patrimonio geomorfológico de la región central antioqueña (Colombia). In: MATA-PERELLÓ, J. (Ed.) **Actas del Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero**. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero, Madrid, p. 211-219, 2004.
- REYNARD, E.; CORATZA, P.; GIUSTI, C. Geomorphosites and Geotourism. **Geoheritage**, n. 3, p. 129-130, 2011.
- RIVAS, V.; RIX, K.; FRANÉS, E.; CENDERO, A.; BRUNSDEN, D. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non-consumable geomorphological resources. **Geomorphology**, n. 18, p. 169-182, 1997.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 03-12, 2006.
- SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **The Bell System Technical Journal** (reprinted). v. 27, n. 623-656, p. 379-423, 1948.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1949.
- SPILOTRO, G.; PELLICANI, R. Geomorphological Complexity in Landslide Susceptibility Modelling. **Engineering Geology for Society and Territory**, v. 5, p. 415-419, 2015.
- STANLEY, M. Geodiversity. In: BARETTINO, D., WINBLETON, W. A. P., GALLEGO, E. (Eds.). **Geological heritage: its conservation and management**. Madrid: ITGE, p. 15-18, 2000.
- TESTA, B.; ALDIGHERI, B.; BERTINI, A.; BLENDINGER, W.; CAIELLI, G.; DE FRANCO, R.; GIORDANO, D.; KUSTATSCHER, E. Geomorphodiversity of the San Lucano Valley (Belluno Dolomites, Italy): a Well-Preserved Heritage. **Geoheritage**, n. 5, p. 151-172, 2013.
- THOMAS, M. F. A Geomorphological Approach to Geodiversity – its applications to Geoconservation and Geotourism. **Quaestiones Geographicae**, v. 31, n. 1, p. 81-89, 2012.
- TOBLER, W. R. The development of analytical cartography – a personal note. **Cartography and Geographic Information Science**, n. 27 (3), p. 189-194, 2000.
- WEISS, A. Topographic Position and Landforms Analysis – Poster presentation. **ESRI User Conference**, San Diego, CA, 2001.