



Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial
Geodiversity: Some Considerations About Quantification and Evaluation of Spatial Distribution

Fernando César Manosso¹ & Ramón Pellitero Ondicol²

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Linha Sta Bárbara, s/n, 85601-970, Cx. Postal 135, Francisco Beltrão, PR

² Universidad de Valladolid, Plaza del Campus Universitario, s/n, 47011, Valladolid – Espanha

E-mail: fmanosso@yahoo.com.br; mon@geo.uva.es

Recebido em: 14/09/2011 Aceito em: 03/05/2012

Resumo

O termo geodiversidade vem sendo utilizado para atender a necessidade dos pesquisadores das áreas de geociências para se referirem ao complexo físico da paisagem, abrangendo os elementos abióticos como rochas, formas de relevo, solos e rios, configurando-se como um análogo ao termo biodiversidade. Os diferentes elementos da geodiversidade e a biodiversidade, combinados entre si, configuram diferentes ambientes físicos, que permitem uma análise quantitativa espacial, de riqueza e abundância. Este trabalho objetiva apontar os principais aspectos convergentes entre a geodiversidade e a biodiversidade, atentando-se para as relações amostrais em cada caso, distribuição espacial, riqueza de diversidade e a relação entre índice de geodiversidade e patrimônio geológico. Ao estabelecer linhas gerais sobre a interpretação quantitativa da geodiversidade e a biodiversidade, percebe-se que ambas utilizam um recorte espacial pré-definido. A biodiversidade geralmente baseia-se em unidades amostrais de diversos tamanhos devido à impossibilidade de quantificação direta da diversidade em toda área. No caso da geodiversidade é preciso estabelecer uma escala máxima e mínima de avaliação, e, partindo dessa escala de referência, estabelecer uma análise da distribuição espacial dos elementos por meio da cartografia (mapas geológicos, pedológicos ou geomorfológicos) como ferramenta instrumental. A avaliação quantitativa da geodiversidade, cujos métodos ainda estão sendo avaliados, pode subsidiar uma melhor compreensão do ambiente físico, inclusive pode oferecer resultados para identificação e avaliação do patrimônio geológico, geomorfológico ou paleontológico. Entretanto, faz-se necessário saber que a diversidade de vida ou de elementos abióticos de um ambiente representa um grande complexo e portanto deve ser entendida além de um mero índice numérico que espacializa a diversidade de partes constituintes do todo.

Palavras-Chave: geodiversidade; biodiversidade; quantificação

Abstract

The geodiversity term has been used to attend the needs of geosciences researchers to refer the complex's physical landscape, covering the abiotic elements such as rocks, landforms, soils and rivers, for example, configured as an analogue to the biodiversity term. The various components of geodiversity and biodiversity, combined, make up different physical environments, which allow a quantitative analysis of space, wealth and abundance. This paper aims to identify the main aspects of convergence between the geodiversity and biodiversity, paying attention to the relationships sample in each case, spatial distribution, richness of diversity and the relationship between rate of geodiversity and geological heritage. By establishing general guidelines on the quantitative interpretation of geodiversity and biodiversity, it is clear that both use a pre-defined spatial area. Biodiversity is generally based on sampling units of several sizes due to the impossibility of direct quantification of diversity in all area. In the case of geodiversity is necessary to establish a maximum and minimum scale of assessment, and based on this scale of reference, establish a spatial distribution of elements through the mapping (geological, geomorphological and pedological) and instrumental tool. The quantitative assessment of geodiversity, whose methods are still being evaluated, can supports a better understanding of the physical environment and can also provides results for the identification and assessment of geological, geomorphological and paleontological heritage. However, it is necessary to know that the diversity of life or abiotic elements of an environment represents a very complex context and therefore must be understood beyond a mere numerical index that spatializes the diversity of the constituent parts of the whole.

Keywords: geodiversity, biodiversity; quantification

1 Introdução

A variação ou diversidade dos elementos abióticos contidos na estrutura de uma paisagem pode ser entendida como geodiversidade. Esse termo procura atender a necessidade dos pesquisadores da área de geociências ao se referirem ao complexo físico da paisagem, ou do ecossistema.

Em meados da década de 1990, esse termo começa a aparecer na bibliografia europeia, sobretudo em analogia ao termo biodiversidade (Carcavilla *et al.*, 2008) que está restrito à diversidade biótica da natureza.

Entretanto, ao contrário da geodiversidade, a biodiversidade, pelo menos enquanto uma ‘temática’ e linha de pesquisa, ao longo dos anos foi adquirindo grande importância científica, política, econômica e ambiental, enquanto que a geodiversidade, somente nas últimas duas décadas, começa a despontar com trabalhos acadêmicos e receber um melhor reconhecimento entre periódicos científicos, grupos de pesquisa e programas governamentais.

Do mesmo modo, a biodiversidade conta com um número de publicações científicas desproporcionalmente superior comparado à geodiversidade. Isso reflete na carência de bases teórico-metodológicas para identificação, classificação, inventário, reconhecimento, valorização, divulgação e proteção da geodiversidade. Configura-se, inclusive, como uma das principais justificativas do presente trabalho.

Entre as áreas das geociências, a geologia e geomorfologia são as áreas que têm contribuído de forma mais expressiva na discussão e formulação do conceito de geodiversidade, bem como na atribuição de importância em nível de igualdade com a biodiversidade. Inclusive cabe destacar aqui, a recomendação do uso do termo geodiversidade, indicada pelo geógrafo Helmut Troppmair (1994), ao se referir aos geossistemas e à diversidade espacial dos elementos na superfície.

2 Geodiversidade: Construção de um Conceito

De acordo com Brilha (2005), geodiversidade é um termo de aplicação recente, inclusive Gray (2008) lembra que esse conceito passa a evoluir, bem como a biodiversidade, a partir da Convenção da Biodiversidade realizada na conferência mundial Rio-92.

Entretanto, o termo biodiversidade se difundiu rapidamente em detrimento de uma preocupação mais significativa sobre os aspectos abióticos ou a geodiversidade, incluindo o patrimônio geológico, geomorfológico ou paleontológico. Nesse sentido, as próprias políticas de conservação da natureza integraram em mesmo nível de importância, os patrimônios bióticos e abióticos.

Tanto a geodiversidade como a biodiversidade abrigam um valor funcional na natureza física e biológica e também apresentam um valor patrimonial, que está diretamente associado à história da Terra e da vida aqui existente.

A geodiversidade de uma área também apresenta grande amplitude, ocorrendo desde a escala microscópica, como no caso de minerais, até em grande escala, como montanhas, formações rochosas, feições geomorfológicas e processos ativos.

Gray (2004) se refere à geodiversidade como a diversidade natural dos elementos geológicos e geomorfológicos incluindo os minerais, fósseis, solos, a paisagem e seus processos.

Uma das definições mais usuais da geodiversidade provém da *Royal Society for Nature Conservation* do Reino Unido, que considera a geodiversidade como “a variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem a paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra” (RSNC, 2009).

Nesse caso, aparece um ponto importante e que as ciências ecológicas podem melhor confirmar (Odum & Barret, 2007), ou seja, os elementos da geodiversidade servindo de base para o desenvolvimento da vida, ao longo das diferentes eras geológicas. Partindo do princípio darwiniano, a diversidade de situações físicas dos ambientes contribuiu para as modificações, adaptações e alterações nas características dos seres vivos no decorrer do tempo geológico.

Martínez *et al.* (2008) entendem a geodiversidade como a diversidade natural, em número, frequência e distribuição dos elementos e processos geológicos e que do mesmo modo que a biodiversidade, não é uma constante e está condicionada a um momento, um lugar ou área determinada.

Dixon *et al.* (1997) e Eberhard (1997) apud Pereira (2010) definem geodiversidade

como a diversidade de elementos geológicos, geomorfológicos e edáficos que evidenciam a história da Terra, sugerindo a inclusão dos processos paleobiológicos ou paleoambientais, bem como os processos geológicos, geomorfológicos ou edáficos, que têm lugar na atualidade, dentro do escopo deste conceito.

De forma mais direta e aplicada, temos três conceitos importantes que merecem ser elencados. O primeiro deles é de Nieto (2001), que demarca o conceito de geodiversidade como o número e variedade de estruturas, formas e processos geológicos que constituem o substrato de uma região, sobre as quais assenta a atividade orgânica, incluindo a antrópica.

O segundo é de Kozłowski (2004), que se refere à geodiversidade como a variedade natural da superfície terrestre, incluindo os aspectos geológicos, geomorfológicos, solos, águas superficiais, bem como outros sistemas criados como resultados dos processos naturais endógenos e exógenos e a atividade humana.

Em terceiro tem-se Serrano & Ruiz-Flaño (2007), que usam geodiversidade para definir a variabilidade da natureza abiótica, incluindo os elementos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, edáficos, hidrológicos, topográficos e os processos físicos da superfície terrestre, mares, oceanos, juntos aos processos naturais endógenos, exógenos e antrópicos que compreendem a diversidade de partículas, elementos e lugares.

Esses últimos conceitos fornecem subsídios para uma melhor aplicabilidade prática do conceito de geodiversidade, principalmente quando se refere ao número de elementos (Nieto, 2001), à escala de partícula, elemento e lugar (Serrano & Ruiz-Flaño, 2007) e à distribuição espacial dessa diversidade (Kozłowski, 2004).

É necessário considerar também que existem conceitos de geodiversidade que buscam entender os elementos abióticos de forma mais ampla, incluindo outras variáveis, como Rojas (2005) que discute a geodiversidade enquanto uma diversidade do espaço geográfico, incluindo as estruturas fisiográficas, mas também os resultados dos processos e atividades sociais.

Mas sobre essa divisão conceitual, Carcavilla *et al.* (2008) alertam que assimilar a geodiversidade fora do âmbito abiótico da natureza pode trazer problemas conceituais e práticos.

Essa argumentação está diretamente relacionada ao fato de Carcavilla *et al.* (2009) dizerem que o estudo, ou seja a aplicabilidade do conceito de geodiversidade, está baseado na análise da distribuição, frequência e diversidade do conjunto de entidades geológicas, que permitem quantificar e comparar diferentes áreas.

No Brasil, a CPRM (Serviço Geológico do Brasil), tem inserido a geodiversidade na agenda de pesquisas e programas, inclusive com o conceito de:

“estudo da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico” (CPRM, 2006).

Institutos de Serviço Geológico estaduais, como é o caso dos estados do Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo, Bahia e Rio Grande do Norte também desenvolvem ações acerca do entendimento da geodiversidade brasileira.

O conceito, embora com uma conotação direcionada aos estudos em ecologia, também é aplicado (Xavier, 2004; Santucci, 2005; Martins, 2007; Kateřina & Dušan, 2008; Parks & Mulligan, 2010; Ibáñez, 2005) como um possível indicador para áreas de maior biodiversidade.

Considerando os significados da geodiversidade enquanto elementos abióticos que compõem parte da estrutura da paisagem, torna-se inquestionável seu papel funcional na natureza, servindo de base para o desenvolvimento da vida, inclusive a humana, com toda sua demanda por espaço e por recursos.

Lopez (2005), inclusive discute alguns problemas conceituais e inclui na geodiversidade elementos físicos e humanos presentes na paisagem.

Portanto, por um lado, tem-se a geodiversidade enquanto elementos abióticos da natureza e que possuem uma variação espacial e por outro, tem-se os diferentes valores associados a essa geodiversidade, sendo que o principal deles é a sua funcionalidade enquanto parte da estrutura do planeta.

Entretanto, a geodiversidade pode ir além da sua importância funcional, pois seus componentes

podem abrigar informações importantes sobre a evolução e formação do planeta.

Pereira (2010) apresenta o seu conceito de geodiversidade como:

“conjunto de elementos abióticos do planeta Terra, incluindo os processos físico-químicos associados, materializados na forma de relevos (conjunto de geoformas), rochas, minerais, fósseis e solos, formados a partir das interações entre os processos das dinâmicas interna e externa do planeta e que são dotados de valor intrínseco, científico, turístico e de uso/ gestão”.

Além do papel socioeconômico enquanto recurso e também o físico, químico e biológico na natureza, a geodiversidade, em qualquer lugar da superfície, apresenta um conteúdo por meio das suas expressões, que em conjunto, significam importantes registros do tempo geológico da Terra e por isso se configuram como um arquivo do passado geológico, geomorfológico, mineralógico, pedológico, climático e paleontológico.

2.1 Valores da Geodiversidade

Segundo Gray (2004), a geodiversidade deve ser entendida a partir de um conjunto de valores, divididos entre:

Valor intrínseco: associado às particularidades do conjunto de elementos da geodiversidade, que possui este valor independente da conotação antropocêntrica definida por uma sociedade.

Valor cultural: quando determinadas sociedades ou seus traços culturais incorporam elementos ou características da geodiversidade ao seu processo de valorização e reconhecimento cultural do ambiente. Exemplos desse valor são quando se têm registros arqueológicos associados à geodiversidade, como a impressão em rochas de artes rupestres, ou ainda práticas agrícolas, silvopastoris, de artesanato, etc, diretamente vinculadas a uma característica pontual da geodiversidade, como relevo, tipo de solo ou rocha.

Valor estético: embora esse valor também esteja dotado de certo cunho subjetivo, pois envolve os diferentes modos de interpretação humana, é um dos valores mais reconhecidos

pela sociedade. O ‘belo’ da paisagem, muitas vezes evidenciado pelas características da geodiversidade, principalmente a geologia e a geomorfologia configuram o valor estético.

Valor econômico: refere-se ao valor de uso que todos os recursos da natureza habitualmente possuem diante das necessidades humanas. Vários elementos da geodiversidade já são explorados com base nesse tipo de valor, como é o caso de muitos minerais e rochas.

Valor funcional: além do valor utilitário ou de recurso aos próprios seres humanos (Gray, 2004), esse valor está relacionado à sua funcionalidade no contexto dos sistemas físico-naturais e ecológicos da superfície terrestre.

Valor científico e educativo: no domínio das geociências, a geodiversidade configura-se com um valor científico e também educativo, pois a possibilidade de acesso a amostras significativas da geodiversidade permite a sua investigação científica, o seu reconhecimento e também a compreensão da história da Terra.

Portanto, diante das formas de ocupação e exploração atual da superfície, grande parte da geodiversidade do planeta, principalmente o seu conteúdo, bem como os seus diferentes valores, que ainda pouco se conhece, estão sob risco ou ameaçados.

Do mesmo modo que a biodiversidade, quando se perdem as espécies bióticas ainda não estudadas por completo, elementos da geodiversidade também podem se perder, muitas vezes pelo simples desconhecimento sobre sua distribuição espacial, conteúdo e importância (Brilha, 2005).

Bruschi (2007) expõe algumas razões fundamentais para o melhor entendimento e conservação da geodiversidade, dizendo que por um lado a geodiversidade se constitui como um reservatório de informação imprescindível à compreensão do passado do planeta, dos processos que operam a natureza atual e a evolução dos mesmos, resultando na possibilidade de mitigação de problemas à sociedade, derivados do funcionamento da geodiversidade. E que por isso, a perda de elementos da geodiversidade, implica na perda de parte da informação, dificultando assim o avanço do conhecimento científico, além do valor enquanto patrimônio da geodiversidade.

Nesse contexto, justifica-se a necessidade de aprimoramento das bases teóricas e metodológicas

para a quantificação ou o cálculo da geodiversidade, o entendimento dos seus diferentes tipos de valores, sua distribuição e apontamentos sobre pontos e áreas de relevante interesse.

Wartiti *et al.* (2008) reforçam a importância do tema enquanto condição básica para o entendimento do ciclo geológico e que por isso se faz necessário realizar mais estudos empíricos para a avaliação e mapeamento da geodiversidade.

Stanley (2003) avalia quanto a geodiversidade está presente no cotidiano humano por meio do uso eminente de rochas em construções seculares. Entretanto, essa prática, se não controlada pode colocar em risco os valores da geodiversidade e a história geocultural.

3 Métodos de Avaliação Espacial e Quantificação

3.1 Riqueza da Geodiversidade

Para a interpretação da distribuição espacial da geodiversidade por meio do índice de riqueza e a abundância relativa é necessário utilizar um recorte espacial para aplicação em células amostrais pré-definidas.

A avaliação quantitativa e de distribuição espacial da geodiversidade fundamenta-se na análise da diversidade, frequência e distribuição de um conjunto de elementos abióticos (Carcavilla *et al.*, 2007).

Existe uma tendência natural de se elevar a diversidade de elementos conforme maior for a área amostral, portanto esse tipo de avaliação requer atenção na escala e tamanhos das áreas de estudo adotados.

O cálculo do índice de riqueza da geodiversidade possui como princípio o índice de Shannon-Weaver (1949), que deriva da teoria da informação e é utilizado para medir a diversidade em dados categóricos.

$$H' = - \sum p_i \ln (p_i)$$

H': Índice de Shannon

s : número de elementos

pi: proporção da amostra (i)

Kozłowski (2004) aproxima-se da quantificação da geodiversidade elaborando uma matriz simples incluindo elementos como rochas, solos, relevo e a estrutura da paisagem. Trata-se de uma forma de análise ainda bastante recente, que possui limitações, problemas na classificação de elementos e na escala adotada.

Seguindo a escola polonesa, Zwolinski (2010) propôs uma metodologia de quantificação indireta da geodiversidade geomorfológica para grandes extensões no território polonês, levando em consideração as altitudes mais altas como maior geodiversidade e alto nível de alteração antrópica como baixa geodiversidade. Os resultados são bastante dependentes da topografia do terreno, mas o autor consegue demonstrar a relação entre as diferentes formas de paisagem e sua gênese de acordo com a estrutura geomorfológica presente.

Uma das alternativas é verificar como os métodos de quantificação da biodiversidade estão sendo desenvolvidos e testados, uma vez que as ciências biológicas trabalham nesse sentido há mais tempo, embora com variáveis distintas.

Xavier da Silva (2004) tem aplicado alguns métodos para obtenção de índices de geodiversidade como um indicador da biodiversidade, devido a forte relação entre estes. Entretanto parte de um conceito de geodiversidade mais abrangente e que procura quantificar algumas propriedades específicas dos elementos abióticos, incluindo algumas variáveis dos tipos de usos antrópicos.

Kateřina & Duřan (2003) procuraram estabelecer uma relação entre geodiversidade e habitats por meio de uma análise em malha quadrática (com tamanho de 9 hectares) que inclui na quantificação da geodiversidade os elementos geologia, relevo, drenagem, uso da terra, taxas de insolação, mesoclima, topografia, orientação de vertentes e umidade. Embora seja um trabalho que trata a geodiversidade como indicador da biodiversidade, e por isso os elementos escolhidos são bastante específicos, parece ser a aplicação na literatura que pondera uma maior quantidade de elementos do meio abiótico na quantificação.

Benito-Calvo *et al.* (2009) apontam alguns elementos importantes que condicionam a geodiversidade como a litologia, morfometria e clima, com o objetivo de criar um mapa da geodiversidade em pequena escala de maneira automática. E ao se referir à quantificação da geodiversidade, afirmam que os resultados fornecem uma abordagem objetiva

e por isso os índices precisam ser complementados com uma análise dos elementos da paisagem como um todo, pois a compreensão da geodiversidade deve ir além da mera quantificação de riqueza e diversidade dos elementos, buscando entender a gênese e as relações geocológicas responsáveis pelo modelado da paisagem.

Serrano & Ruiz Flaño (2007), separam os elementos que compõem a geodiversidade associados à topografia, geologia, geomorfologia, hidrologia e solos, podendo ainda se enquadrar em diferentes escalas, como geodiversidade de partículas, de elementos, lugares e paisagens. Esses mesmos autores propõem um método para a quantificação da geodiversidade que permite alcançar um índice de riqueza.

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

Sendo:

Gd: Índice de geodiversidade;

Eg: Número de elementos abióticos

R: Rugosidade do relevo

S: Área

Esta metodologia, segundo Pellitero *et al.* (2011) é utilizada de maneira complementar à identificação e avaliação de locais de interesse geomorfológico. Apesar de que a análise de locais de interesse geomorfológico não possa ser totalmente relacionada com a geodiversidade, existem correlações, uma vez que áreas mais geodiversas concentram locais de interesse geomorfológico.

Hjort & Luoto (2010) aplicam uma quantificação da geodiversidade na Finlândia e incluem elementos da geologia, geomorfologia e hidrologia em uma grade, identificando assim fortes relações entre altos índices de geodiversidade em áreas topograficamente enérgicas, sobretudo aquelas de alta declividade. Também reforçam que dentre os problemas metodológicos, deve-se atentar para a escala e os elementos a serem quantificados com um tamanho de grade adequada.

Baseado nos trabalhos de Serrano & Ruiz Flaño (2007) e Hjort & Luoto (2010), e nos estudos de pedodiversidade de Saldaña *et al.* (2011), Pellitero (2011) tem calculado a geodiversidade

para um espaço natural da região Norte da Espanha. As conclusões são que o índice de riqueza é um indicador ótimo para a análise raster, e os estudos de frequência e distribuição deixam de ser essenciais neste tipo de análise.

3.2 Abundância ou Frequência Relativa da Geodiversidade

Outra maneira de analisar a geodiversidade de uma área amostral, além do número do índice de riqueza, que apresenta uma relação de quantidade e área, é a abundância, dominância ou frequência relativa da geodiversidade.

A interpretação da abundância ou a frequência relativa para cada célula amostral pode ser visualizada por meio de um gráfico de função decrescente, que mostra a ocorrência do somatório dos elementos quantificados na unidade e desse modo verifica-se a heterogeneidade ou equabilidade entre os elementos.

Nesse caso, considera-se que quanto melhor a distribuição em quantidade entre os elementos ponderados, maior a equabilidade, ou seja, o caso inverso, quando alguns ou um elemento concentra a maior parte das ocorrências demonstra que há uma baixa frequência ou uma equabilidade muito baixa (Figura 1).

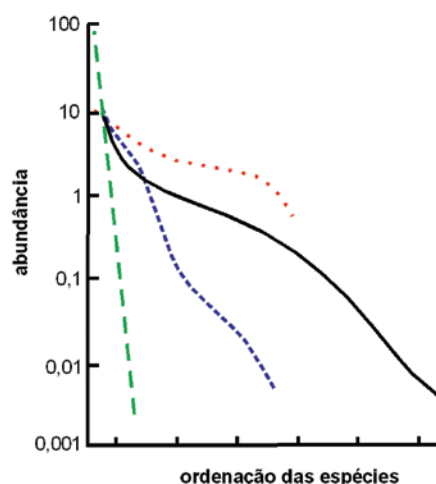


Figura 1 Diagrama de Whittaker (Martins & Santos, 1999)

A partir desse gráfico é possível criar uma linha de tendência (diagrama de Whittaker) que pode representar as taxas de frequência ou equabilidade, pois quanto mais inclinada, menor a dominância entre os elementos (Figura 1). No caso de áreas

amostrais de tamanhos distintos para se quantificar a geodiversidade, a organização de forma decrescente da quantidade de elementos classificados permite identificar a distribuição relativa em cada área amostral. Por exemplo, uma área amostral com maior quantidade de elementos abióticos, mas que apresentam uma distribuição mais homogênea que outra área com a mesma quantidade de elementos.

Essa aplicação subsidia o entendimento de que nem sempre pode haver uma relação direta entre o índice de riqueza da geodiversidade com a sua frequência ou equabilidade. Entretanto, é necessário ressaltar que os valores de distribuição em geodiversidade devem ser tomados sob a ótica espacial (Ibáñez *et al.*, 1995), como quantidade de espaço por cada classe. Este método pode estar limitado em determinados territórios, pois o mesmo espaço pode ser entendido como resultado de várias geomorfogêneses e pertencente a vários elementos.

A análise da abundância relativa dos elementos classificados pode perder sua funcionalidade se for utilizado o método para áreas amostrais bastante reduzidas (pixels com menos de 1 km², por exemplo) e de mesmo tamanho, uma vez que dessa maneira é possível obter diretamente a distribuição espacial dos elementos por meio da cartografia.

3.3 Geodiversidade e Biodiversidade

Santucci (2005) considera que a biodiversidade possui uma relação direta com a geodiversidade e inclusive a elevada geodiversidade tem sido utilizada como um forte indicativo de maior biodiversidade.

Nas avaliações quantitativas da biodiversidade há um predomínio no estudo da diversidade (riqueza e abundância) de elementos taxonômicos e somente nos últimos anos crescem os estudos em nível de diversidade genética. Menor ainda é o número de trabalhos sobre a diversidade funcional, que nem mesmo está bem entendida (Zak *et al.*, 1994 apud Matos *et al.*, 1999).

Já para as poucas avaliações quantitativas da geodiversidade, os trabalhos ainda estão mais pautados na diversidade enquanto riqueza, mas podem basear-se desde a escala de mineral e elementos químicos até conjuntos de formas de relevo e formações rochosas. Por outro lado o entendimento e quantificação da geodiversidade ponderando seus processos funcionais, talvez estejam em outros campos de estudo como o da paisagem

e geocologia, mas não com esse termo e sempre contemplando elementos antrópicos também.

Os índices estatísticos propostos para tratar a riqueza e abundância da biodiversidade foram criados para modelar ou estimar a biodiversidade de um ambiente sobre o qual o pesquisador trabalha com amostragens. E com a geodiversidade, os elementos classificados para avaliação podem ser quantificados em toda área, não necessitando de áreas amostrais. Exceto em escalas de detalhe como a diversidade mineralógica, por exemplo, mesmo assim ainda podem existir meios de não utilizar amostras parciais.

Os estudos de biodiversidade, por meio da estatística da variação dos elementos bióticos, podem apresentar indicativos sobre o equilíbrio natural do ambiente (ecossistema), inclusive entender as mudanças causadas por distúrbios naturais e/ou antrópicos.

Adinâmica de aparecimento e desaparecimento de elementos da geodiversidade ocorre em escala bastante diferente da biodiversidade. E embora exista um número elevado de trabalhos baseados na dinâmica dos elementos abióticos para determinar seu equilíbrio, estes não estão embasados no parâmetro diversidade. Eles residem na geomorfologia, pedologia, geologia, etc.

Na biodiversidade os trabalhos possuem objetos bem variados, pois buscam entender tanto a diversidade biológica do ambiente como um todo, na escala de reinos, filos, classes, ordens, famílias, gêneros até espécies, bem como trabalhos em que o objetivo está restrito à comparação entre algumas assembleias.

Em geodiversidade, o objetivo é a riqueza e abundância de todos os elementos abióticos, ou pelo menos o máximo que se possa mensurar. Entretanto muitos trabalhos não separam elementos bióticos e antrópicos dos abióticos ou ainda consideram apenas parte dos elementos abióticos. Nesse caso há uma predominância pelo uso do substrato geológico (formações rochosas). Este é um elemento básico, mas a geodiversidade deve ir além dos constituintes geológicos passando pela hidrografia, pelas geoformas, pelos registros paleontológicos, pela cobertura pedológica e até mesmo os processos ativos, responsáveis por significativas mudanças na geodiversidade.

Parâmetros que definam tanto a biodiversidade como a geodiversidade deveriam estar muito além

da mera quantificação da riqueza e abundância de elementos/espécies e sua distribuição. Mais importante que isso, embora de difícil mensuração, são os infinitos processos combinatórios de interação entre os elementos e que configuram o ambiente.

Martins & Santos (1999) ressaltam que uma medida de diversidade pode se configurar como um parâmetro reducionista, que objetiva expressar toda a complexidade estrutural, a riqueza específica e as interações bióticas e abióticas de uma comunidade ecológica através de um único número.

Na comparação entre extinção biológica e geológica, Gray (2004) aponta que “em muitos casos, espécies raras ou ameaçadas podem ser reproduzidas ou criadas em cativeiro, enquanto que as características ou registros geológicos, geomorfológicos ou paleontológicos, são essencialmente relictos ou fósseis, que uma vez perturbados, nunca vão se recuperar ou serão perdidos para sempre”.

4 Elementos da Geodiversidade

A seleção de elementos abióticos para compor uma avaliação quantitativa e de distribuição espacial da geodiversidade pode ser muito particular de cada trabalho e se o objetivo é apenas quantificar a diversidade ou não.

Entretanto, alguns apontamentos podem ser considerados importantes como:

- a seleção de elementos que apresentam características mapeáveis e que, de fato, possam ser mensurados sob o aspecto da diversidade;

- a escolha da escala de trabalho, tanto sob o aspecto do tamanho da área, unidades amostrais e a escala dos elementos, como por exemplo, formações rochosas que possuem diferentes classes de rochas ou solos que possuem vários níveis de classificação;

- a sobreposição entre elementos que possam ser reflexos de suas características. Um exemplo típico pode ser o comportamento de um sistema de drenagem fluvial que está controlado pela presença de alta diversidade de rochas.

Dentre os elementos que são citados nesse tipo de avaliação pela literatura e que parecem apontar um caminho teórico e metodológico a se seguir, respeitando as limitações de escala e instrumentos disponíveis em cada caso, parte pode ser vista no quadro 1.

Sob o ponto de vista prático, um dos principais objetivos da definição de um conjunto de ferramentas para avaliação da geodiversidade e sua distribuição no espaço, bem como a distinção de lugares com interesse geológico e geomorfológico ou de valorização do geopatrimônio é subsidiar a geoconservação.

Essa geoconservação é entendida como a preservação da diversidade natural de elementos e processos geológicos, geomorfológicos, sistemas de solos e manutenção de valores e processos (Sharples, 2002).

Efetivar a geoconservação é gerenciar o conteúdo e valores da geodiversidade e de seu patrimônio, seja público ou privado, individual ou coletivo, o objetivo final do trabalho técnico, e que vai ser capaz de estabelecer políticas eficazes para proteger o meio ambiente natural.

Neste sentido, um campo de trabalho cuja perspectiva é interessante, é avaliar a sensibilidade dos elementos e processos que podem alterar a geodiversidade induzida pela atividade humana, a fim de estabelecer políticas de proteção para minimizar essas alterações.

Em estudos de impacto ambiental na metodologia Conesa Fernández-Vítora (Granero *et al.*, 2010) avaliam-se os potenciais impactos de uma ação sobre os elementos do ambiente de acordo com dois fatores: intensidade e extensão. De acordo com esses parâmetros, a classificação é a seguinte:

- Baixo: O impacto afeta uma pequena parte do item, sem uma mudança significativa na natureza ou a extensão dele.

- Médio: O impacto afeta uma parte considerável do elemento, ou uma mudança na natureza ou extensão.

- Alto: O impacto é uma redução drástica no comprimento do elemento ou uma mudança rápida na natureza.

- Catastrófico: O impacto supõe o desaparecimento completo do elemento.

Esta metodologia é aplicada em estudos de impacto ambiental, e pode muito bem ser aplicado ao trabalho de geoconservação.

Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial
Fernando César Manosso & Ramón Pellitero Ondicol

GEOLOGIA	MÉTODO
Formações	Quantidade de formações ocorrentes em cada unidade amostral.
Rochas	Quantidade de rochas diferentes ocorrentes em cada unidade, incluindo preferencialmente as fácies que afloram na superfície.
Ambientes Pretéritos	Em cada formação ocorrente na unidade amostral, quantidade de diferentes ambientes pretéritos que aparecem registrados. Mais usual para ambientes sedimentares, uma vez que se trata de processos pretéritos que aconteceram na superfície. Para associações metamórficas e ígneas intrusivas, desde que incorporem os registros de ambientes pretéritos na estrutura ou composição da rocha, também podem ser incluídas.
Fósseis	Quantidade de fósseis diferentes já encontrados na formação de cada unidade
Densidade de lineamentos	Alinhamentos estruturais que marcam e controlam as formas de relevo ou a rede hidrográfica. Podem ser mensurados a partir de classes de densidade ao longo da área.
SOLOS	MÉTODO
Classes de Solo	Quantidade de diferentes classes de solo em cada unidade. Conforme a escala do trabalho pode-se utilizar vários níveis da classificação dos solos.
HIDROGRAFIA	MÉTODO
Tipo de Drenagem	Ponderar áreas que apresentam formação de padrão de drenagem específico ou não.
Densidade de drenagem	Ponderar em classes de densidade ao longo da área. Mas como esse sistema é um reflexo de outros elementos já considerados como densidade de lineamentos e tipo de rocha, se possível pode-se classificar a drenagem por porte, poder erosivo, sinuosidade e até mesmo o gradiente.
GEOMORFOLOGIA	MÉTODO
Orientação de Encosta	Direção de exposição da encosta, considerando o maior peso para geodiversidade nas áreas com uma distribuição mais equitativa entre as diferentes orientações cardeais das mesmas. Se há predominância de uma direção, menos heterogeneidade do ambiente, por isso, serve como indicador de baixa geodiversidade para este parâmetro.
Declividade	Se para a área de estudo em questão, a declividade for um indicativo de maior geodiversidade, pode-se estabelecer um limite de declive apropriado à área, mesmo que de forma relativa. Após mapear toda área que apresente declive superior ao estabelecido, aplica-se maior peso para geodiversidade nas áreas que possuem maior extensão de terras acima desse valor pré-estabelecido.
Rugosidade	Maior rugosidade da superfície, aplica-se maior indicativo de geodiversidade para área.
Gradiente do Relevo	Intervalo entre altitude máxima e mínima no interior de cada unidade amostral. Pode-se classificar os resultados e ponderar maior geodiversidade para áreas de maior amplitude altimétrica do relevo.
Formas de relevo	Interpretação da quantidade de diferentes formas de relevo encontradas em cada unidade, contabilizadas a partir de aferições de campo e base cartográfica. Depende da escala cartográfica adotada e controle de campo para classificar as diferentes formas de relevo encontradas na área.

Quadro 1 Elementos sugeridos para avaliação quantitativa e espacial da geodiversidade por unidade amostral.

5 Considerações Finais

A avaliação da distribuição espacial e quantitativa da geodiversidade, diante da revisão apresentada requer uma interpretação integrada dos elementos abióticos classificados. E mesmo sabendo que a sociedade e os organismos interagem de maneira muito direta com a natureza abiótica, a geodiversidade deve ser avaliada quantitativamente apenas a partir de elementos naturais abióticos para não resultar em demais sobreposições e problemas teóricos.

Os modelos propostos e aplicados para quantificação da geodiversidade ainda encontram-se em fase de avaliação e testes, entretanto têm mostrado importantes resultados no âmbito de subsidiar a interpretação da natureza de maneira holística, não apenas prezando pela variação e quantificação exclusiva de elementos biológicos contidos na paisagem.

Essa avaliação da natureza incluindo a distribuição espacial e quantificação da geodiversidade é necessária também para subsidiar avaliações sobre o patrimônio geológico, geomorfológico ou paleontológico existente.

Trabalhos empíricos dessa natureza poderão fornecer subsídios para uma maior popularização das geociências, o conteúdo geodiverso da paisagem e os seus diferentes valores.

A relação entre geodiversidade e patrimônio geológico ou geomorfológico é complementar, pois sua avaliação implica a identificação de lugares excepcionais, os quais podem ser protegidos e valorizados. O entendimento da distribuição e riqueza da geodiversidade pode auxiliar no ordenamento do território, inclusive em políticas de conservação da natureza.

A geoconservação a partir de estudos quantitativos da geodiversidade pode partir da proteção de lugares de elevada geodiversidade, como também de sítios com alto valor científico mas que não se situam necessariamente em áreas de elevada geodiversidade. Portanto, uma área pode ter um valor patrimonial por sua elevada geodiversidade, mas isso não é uma regra, pois sítios de elevado interesse geológico ou geomorfológico podem ocorrer sobre áreas de baixa geodiversidade.

A quantificação da geodiversidade consegue resumir todos os elementos do complexo abiótico em um só valor, acessível aos gestores da natureza.

Portanto, faz-se necessário um conhecimento mais detalhado da variação horizontal da

geodiversidade para que, de fato, as intervenções e explorações que apresentem algum tipo de ameaça, possam ser limitadas ou controladas, efetivando-se assim a promoção da geoconservação.

6 Agradecimentos

Para a CAPES, PGE-UEM, UTFPR-Francisco Beltrão, professores Edivando Vitor do Couto (UTFPR), Maria Teresa de Nóbrega (UEM), Marcos Antônio Leite do Nascimento (UFRN), Edson Fortes (UEM) e Edvard Elias de Souza Filho (UEM).

7 Referências

- Benito-Calvo A.; Pérez-González, A.; Magri, O. & Meza, P. 2009. Assessing regional geodiversity: the Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34 (10): 1433-1445.
- Brilha, J. 2005. *Patrimônio Geológico e Geoconservação: A conservação da Natureza na sua Vertente Geológica*. Braga: Palimage Editores, 183 p.
- Bruschi, V. M. 2007. *Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias – Universidad de Cantabria, Santander, 263p.
- Carcavilla, L.; Durán, J. J. & López-Martínez, J. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, In: CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 7, Las Palmas de Gran Canaria, p.1299-1303. Disponível em: http://www.igme.es/internet/patrimonio/descargas/concepto_Geodiversidad.pdf. Consultado em: 31-05-2010.
- Carcavilla, L.; Durán, J. J.; García-Cortéz, Á. & López-Martínez, J. 2009. Geological Heritage and Geoconservation in Spain: Past, Present, and Future. *Geoheritage*, 1: 75-91.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2006. *Mapa geodiversidade do Brasil*. Brasília: CPRM, 68 p.
- Granero, J.; Ferrando, M.; Sánchez, M. & Pérez, C. 2010. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Fundación CONFEMETAL, Madrid, 447 p.
- Gray, M. 2004. *Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature*. Londres: John Wiley & Sons Ltd., 434 p.
- Gray, M. 2008. Geodiversity: a new paradigm for valuing and conserving geoheritage. *Series Geoscience Canada*, 35 (2): 51-59.
- Hjort, J. & Luoto, M. 2010. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. *Geomorphology*, 115: 109-116.

- Ibáñez, J.J.; De-Alba, S.; Bermúdez, F.F. & García-Alvarez, A. 2005. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena*, 24: 215-232.
- Kateřina, J. & Dušan, R. 2008. The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Křivoklátsko pla (Czech Republic): a quantitative analysis approach. *Journal of Landscape Ecology*, 1(1): 23-38.
- Kozłowski, S. 2004. The concept and scope of geodiversity. *Przegląd Geologiczny*, 52 (8/2): 833-837. Disponível em: http://www.pgi.gov.pl/pdf/pg_2004_08_2_22a.pdf. Consultado em: 02-06-2010.
- López, J. R. 2005. Los desafíos del estudio de la geodiversidad. *Revista Geográfica Venezolana*, 46(1): 143-152. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24639/2/nota2.pdf>. Consultado em: 09-2010.
- Martínez, E. D.; Mondéjar, F. G.; Perelló, J. M. M. & Bové, C. S. 2008. *La conservación de la naturaleza debe incluir la geodiversidad y el patrimonio geológico como parte del patrimonio natural*. Tribuna de Opinión, Boletín Europarc25, 61p.
- Martins, C. R. 2007. *A geodiversidade litológica da bacia do rio Guandu-RJ*. Trabalho de Conclusão de curso – Faculdade de Geologia – UFRRJ, Seropédica. 56p.
- Martins, F.R. & Santos, F.A.M. 1999. Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. *Holos*, ed. Especial, p. 236- 267.
- Matos, R. M. B.; Silva, E. M. R. & Berbara, R. L.L. 1999. *Biodiversidade e índices*. Embrapa Agrobiologia – CNPAB, Seropédica, Documentos, 107, 20p.
- Nieto, L. M. 2001. *Patrimonio Geológico, Cultura y Turismo*. Boletín del Instituto de Estudios Ginnenses, n. 182, p. 109-122.
- Odum, E. P. & Barret, G. W. 2007. *Fundamentos de Ecologia*. Thomson Learning : São Paulo. 612p.
- Parks, K. E. & Mulligan, M. 2010. On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. *Biodivers. Conserv.*, 19 (9): 2751–2766.
- Pellitero, R. 2011. Evaluación de la geodiversidad en el macizo de Fuentes Carrionas (Cordillera Cantábrica). *Avances y retos en la conservación del Patrimonio Geológico en España*. In: REUNIÓN NACIONAL DE LA COMISIÓN DE PATRIMONIO GEOLÓGICO, 9, *Actas*, Sociedad Geológica de España, Universidad de León, p. 212-219.
- Pellitero, R. González-Amuchastegui, M.J.; Ruiz-Flaño, P. & Serrano, E. 2011. Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage*, 3 (3): 163-174.
- Pereira, R. G. F. A. 2010. *Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia-Brasil)*. Tese de Doutorado – Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga. 318p.
- Rojas, J. 2005. Los desafíos del estudio de la geodiversidad. *Revista Geográfica Venezolana*, 46 (1): 143-152. Disponível em: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24639/2/nota2.pdf>. Consultado em 02-2010.
- RSNC – Royal Society for Nature Conservation. Online. Disponível em: <http://www.rscn.org.jo/orgsite/ContactUs/tabid/269/language/en-US/default.aspx>. Consultado em: 02-2009.
- Saldaña, A.; Ibáñez, J.J. & Zinck, J.A. 2011. Soilscape analysis at different scales using pattern indices in the Jarama–Henares interfluvium and Henares River valley, Central Spain. *Geomorphology*, 135 (3-4): 284-294.
- Santucci, V. L. 2005. Historical Perspectives on Biodiversity and Geodiversity. The George Wright Forum, USA. *Geodiversity & Geoconservation*, 22 (3): p.29-34.
- Serrano Cañadas, E. & Ruiz Flaño, P. 2007. *Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tierras Caracena (Soria)*. Boletín de la A. G. E. N. 45, p.79-98.
- Sharples, C. 2002. *Concepts and Principles of Geoconservation*. Tasmanian Parks & Wildlife Service website (version 3). [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf)
- Stanley, M. 2003. *Geodiversity: our foundation*. Blackwell Publishing Ltd, *Geology Today*, 19 (3): 104 – 107.
- Tropmair, H. 1994. *Biogeografía e Meio Ambiente*. Ed. do autor, 4ª ed., Rio Claro. 259 p.
- Wartiti, M. E.; Malaki, A.; Zahraoui, M.; Ghannouchi, A. E. & Gregorio, F. 2008. Geosites inventory of the northwestern Tabular Middle Atlas of Morocco. *Environ Geol*, 55, p. 415–422.
- Xavier-Da-Silva, J. 2004. Geodiversity: Some simple geoprocessing indicators to support environmental biodiversity studies. *Directions Magazine*, p. 1-4. Disponível em: http://www.directionsmag.com/printer.php?article_id=473. Consultado em: 22-06-2010.
- Zwolinsk, Z. 2010. The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. *Landform Analysis*, 11, p. 77–85.