

Correlação entre diversidade genética e diversidade de espécies (SGDC): uma abordagem da genética de comunidades*



Camila Maria Ribeiro da Silva Filha¹, Aliane D'Oliveira Ricardo¹, Ramilla dos Santos Braga-Ferreira², Mariana Pires de Campos Telles³, José Alexandre Felizola Diniz Filho⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, ICB, Laboratório de Genética & Biodiversidade, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO

²INCT EECBio, Laboratório de Genética & Biodiversidade, ICB, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

³Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Ciências Médicas e da Vida, Laboratório de Genética & Biodiversidade, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

⁴Laboratório de Ecologia Teórica & Síntese, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás. Estrada do Campus, Goiânia, GO

Autor para correspondência - tellesmpc@gmail.com

Palavras-chave: conservação da biodiversidade, medidas de biodiversidade, níveis de biodiversidade, planejamento de conservação

* Artigo desenvolvido dentro do contexto da disciplina "Ensino de genética" do programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da Universidade Federal de Goiás, vinculado ao projeto INCT EECBio.

A Correlação entre Diversidade Genética e Diversidade de Espécies (SGDC, sigla do inglês *Species-Genetic Diversity Correlation*) é uma abordagem de Genética de Comunidades que tem por finalidade investigar e quantificar a correlação entre a diversidade genética e a diversidade de espécies que, sob a influência de fatores ambientais, moldam os padrões de biodiversidade dentro das comunidades. A biodiversidade é didaticamente dividida em três níveis hierárquicos, diversidade de comunidades (ou ecossistemas), diversidade de espécies e diversidade genética (ou de genes). Tradicionalmente, a diversidade genética é estudada pela Genética de Populações, enquanto a diversidade de espécies, também conhecida como riqueza de espécies, fica a cargo da Ecologia de Comunidades. Dessa forma, as pesquisas de SGDCs consistem em abordagens interdisciplinares, que aplicam, simultaneamente, conceitos de Genética e Ecologia estabelecendo uma ponte com a Evolução para a interpretação dos fenômenos naturais estudados.

O que é SGDC? Como surgiu?

Você já reparou o quanto é diversa a natureza? Tantas formas, tantas cores! Já parou para pensar o motivo de tanta coisa diferente? Atualmente pensamos que toda essa variação é consequência de vários processos microevolutivos, como mutação, deriva genética, seleção natural e fluxo gênico, que atuam em populações com diferentes níveis de estrutura espacial e sistemas de acasalamento, gerando e organizando padrões na diversidade genética (diversidade dentro de uma espécie) e que estudamos em “Genética de Populações”. Por outro lado, também podemos pensar na variação sob uma perspectiva mais ampla, como na diversidade de espécies, nos porquês de uma comunidade ser mais rica em termos de quantas espécies abriga, e nos processos macroevolutivos que influenciam essa diversidade, questões estudadas pela “Ecologia de Comunidades”.

Muitas pessoas refletiram sobre questões e identificaram a existência de padrões espaciais e temporais de diversidade biológica simultaneamente no nível das espécies e no nível das comunidades e, mais importante, na tentativa de entender esses padrões, lançaram hipóteses. Primeiro, pode ocorrer sobreposição entre os diferentes níveis da

biodiversidade, o que influencia na quantidade de diversidade de um nível no outro. Segundo, a diversidade genética e a diversidade de espécies respondem de forma semelhante a processos relacionados ao local onde as populações estão inseridas. Essas hipóteses permitiriam entender a correlação que pode aparecer entre a diversidade genética e a diversidade de espécies ao longo do espaço geográfico ou ao longo do tempo.

Assim, para estudar os padrões de biodiversidade no tempo-espaço, são necessários conhecimentos tanto da Genética de Populações quanto da Ecologia de Comunidades. É nesse contexto de interdisciplinaridade que surge a “Genética de Comunidades”, uma área de estudo que visa entender como a diversidade genética dentro de uma espécie e entre as espécies respondem a fatores ambientais e a processos históricos para moldar a composição biológica da comunidade.

Considerando a Genética de Comunidades, é possível que a diversidade genética esteja diretamente relacionada com a diversidade de espécies e vice-versa, uma influenciando a outra, criando-se padrões de correlação dado um ou múltiplos fatores ambientais atuando em diferentes níveis hierárquicos da diversidade biológica. Esses e outros pressupostos podem ser testados por meio do que se denominou de SGDC (do inglês *Species-Genetic Diversity Correlation*).

É importante ressaltar que nosso objetivo aqui não é detalhar as análises SGDCs, mas sim apresentar os conceitos básicos relacionados à SGDC para, então, mostrar a importância desses estudos no planejamento das ações de conservação simultânea da diversidade genética e de espécies, algo que tem se mostrado mais problemático do que parecia ser até pouco tempo.

Base conceitual das estimativas de biodiversidade

O conceito de Biodiversidade surgiu na década de 1980 em meio a debates sobre a preocupação de alguns pesquisadores e ativistas com a destruição de habitats e o acelerado processo de extinção de espécies que ameaça, até hoje, a diversidade biológica. Biodiversidade é uma forma sintética e integrada de se referir à diversidade biológica, que sempre foi formalmente mais bem definida em um contexto ecológico. Essa conceituação pode ser entendida como sendo a diversidade de genes dentro das espécies, a diversidade de espécies nas comunidades e a diversidade de ecossistemas, uma definição ampla e funcional estabelecida na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), lançada pelo programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO92).

Historicamente, a diversidade de espécies ou de ecossistemas tem sido priorizada no planejamento da conservação, sendo que a diversidade genética é negligenciada nesse contexto considerado, ocasionalmente, em planos de conservação específicos de espécies. Provavelmente, isso acontece porque a amostragem da diversidade genética exige maiores esforços de coleta e laboratorial, sem contar que apenas recentemente o acesso à variabilidade genética por meio de marcadores moleculares tornou-se mais acessível. Assim, os padrões de diversidade genética eram considerados apenas de forma subliminar nos programas de conservação em escalas mais amplas, assumindo-se que a diversidade

nos diferentes níveis é governada por forças semelhantes, ou seja, acreditando-se que locais com alta diversidade de espécies também comportaria alta diversidade genética das mesmas. Entretanto, muitos estudos, como algumas análises SGDCs, têm mostrado que isso nem sempre acontece e que existe a necessidade de se repensar as ações práticas de conservação para desenvolver métodos que consigam abranger os diferentes níveis de biodiversidade.

A diversidade genética intrapopulacional é de grande importância para manter o potencial evolutivo e adaptativo das espécies ao longo do tempo, já que a perda de diversidade genética reduz a capacidade adaptativa das populações em resposta às mudanças ambientais e, conseqüentemente, aumenta o risco de extinção das espécies. Chamamos de diversidade genética a medida de biodiversidade verificada a partir de dois componentes básicos da variação em nível genético, que ocorrem entre e dentro populações e indivíduos de uma determinada espécie. Essa diversidade pode ser mensurada considerando o número (riqueza) de alelos existentes e a frequência com que esses alelos ocorrem em uma população, ou subpopulações.

Para compreender melhor esse conceito de diversidade genética, observar as situações ilustradas na Figura 1. Em P.1 observa-se uma população que não possui diversidade genética, apresentando apenas um alelo. Quanto mais alelos diferentes existirem em uma população, maior será a diversidade genética dessa população, sendo esse um componente da diversidade genética. Entretanto, outro componente importante na quantificação da diversidade genética é a frequência com que esses diferentes alelos ocorrem na população. Na prática, um alelo precisa ter uma frequência mínima para ser considerado um alelo alternativo e ser um indicativo de polimorfismo. As populações P.2 e P.3 têm a mesma quantidade de diversidade genética, considerando o componente de riqueza alélica, ou seja, ambas possuem dois alelos, diferindo apenas em termos de frequência relativa destes alelos nos indivíduos e na população como um todo. Na população P.2, a diversidade genética acontece tanto *entre* quanto *dentro* dos indivíduos, sendo distri-



buída ao acaso. Por outro lado, a população P.3 está estruturada de maneira que não há diversidade genética dentro dos indivíduos, toda a diversidade acontece entre os indivíduos. As populações P.4 e P.5 também possuem a mesma quantidade de diversidade genética considerando o componente riqueza, a diferença entre elas está na frequência em que os alelos ocorrem. Na população P.5, a grande maioria dos indivíduos possui apenas o alelo azul; os alelos verde, vermelho e amarelo, são alelos raros nessa população e não contribuem de maneira efetiva para a diversidade genética. Considerando-se o conjunto de populações (P.1 a P.5), podemos inferir que, em termos de riqueza de formas, as populações P.4 e P.5 têm maior diversidade genética do que as outras populações; em contrapartida, considerando-se a proporção em que as formas ocorrem, as populações P.2 e P.4 são mais diversas. E, considerando-se ao mesmo tempo os dois componentes, riqueza e frequência dos alelos, qual é mais diversa a população, P.2 ou a P.5? A grande questão é: até que ponto a riqueza de alelos é o componente mais importante da diversidade genética? Se a riqueza for mais importante, a população P.5 é mais diversa, porque possui mais alelos. E ainda, até que ponto a proporção em que as formas ocorrem é o componente mais importante da diversidade genética? Se a frequência dos alelos é mais importante, a população P.2 é mais diversa do que a população P.5.

Existem diversas formas de medir a diversidade genética, cada índice capta um ou outro dos dois componentes (riqueza ou frequência de alelos) ou, ainda, ponderam os componentes. A escolha da medida de diversidade a ser utilizada depende dos objetivos da análise. Outra medida de diversidade genética que pode ser utilizada é o número médio de alelos por locus polimórfico (A_p), calculada pela diferença entre o número de alelos do locus polimórfico pelo número total de loci. Tal medida possui um problema relacionado ao efeito de amostragem, mas é possível corrigir utilizando amostras de tamanhos semelhantes.

A heterozigosidade esperada sob Equilíbrio de Hardy-Weinberg (H_E) é uma medida de diversidade genética bastante utilizada nas

análises em Genética de Populações, que pode ser entendida como sendo a frequência esperada de heterozigotos nas condições de Equilíbrio de Hardy-Weinberg, ou seja, se não há um efeito importante de algum fator evolutivo na população. A partir dessa medida, a população P.2 possui maior diversidade genética do que a população P.5 (Figura 1); assim, os alelos raros pouco contribuem para H_E e a proporção em que as formas alélicas ocorrem têm peso maior do que o componente riqueza para a quantificação da diversidade genética, porque capta o efeito do balanço das frequências alélicas. Todo esse raciocínio pode ser estendido para a comparação entre as diferentes populações, em diferentes níveis hierárquicos, portanto, de modo que a heterozigose nesse nível passa a ser uma medida de diferenciação entre as populações, sendo a base das famosas estatísticas- F de Sewall Wright. Entretanto, no contexto das relações SGDC, o foco, por enquanto, está mais na diversidade genética dentro de cada população ou subpopulação, como discutido anteriormente.

A diversidade ecológica também pode ser avaliada a partir da composição de espécies das comunidades, de habitat ou mesmo de biomas em uma região, também com base nos mesmos dois componentes de riqueza e frequência relativa das abundâncias das unidades básicas. As medidas mais comuns usam espécies como unidades básicas, mesmo considerando uma série de dificuldades na sua definição ou conceituação. A diversidade de espécie, portanto, pode ser expressa também por diferentes métricas combinando a riqueza de espécies e a abundância (número de indivíduos) dessas espécies em um ou mais locais. Essas medidas de diversidade genética e de espécies têm sido extensivamente aplicadas para estudar os padrões espaciais de biodiversidade e para definir estratégias de conservação de forma independente. Recentemente pensou-se que a diversidade genética e a diversidade de espécies podem ser correlacionadas ao longo do espaço geográfico, gerando assim as relações SGDC, avaliando se esses níveis hierárquicos da biodiversidade são controlados por processos não-independentes. As análises SGDCs fornecem um arcabouço teórico e empírico que possibilitam

investigar como a variação genética dentro das espécies, a diversidade de espécies e os fatores ambientais interagem. Assim, forne-

cem informações úteis para compreender as forças que atuam sobre a biodiversidade na formação dos padrões espaciais e temporais.

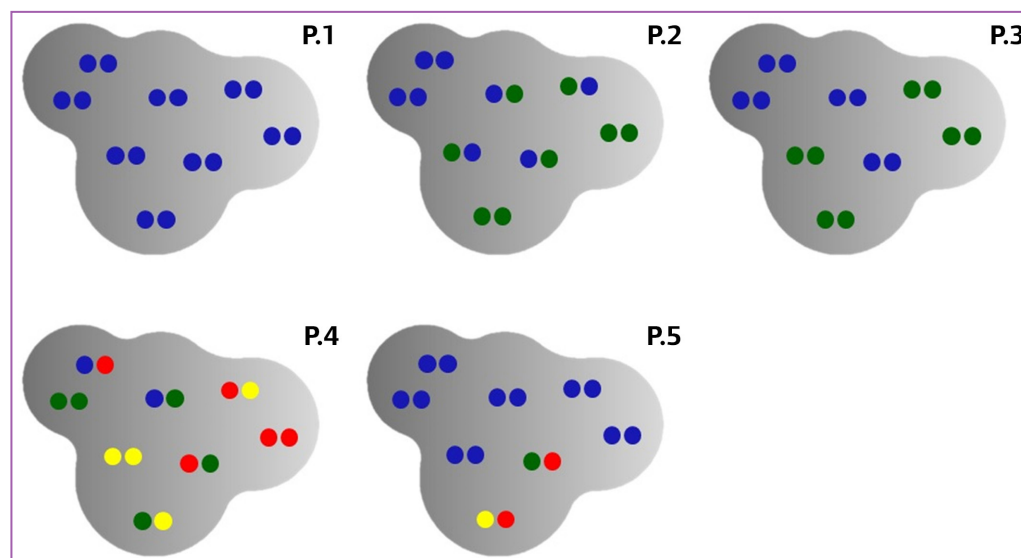


Figura 1. Populações com diferentes quantidades de diversidade genética. Os pares de círculos representam indivíduos diploides e cada cor corresponde a um alelo diferente. Considere: P.1: População 1; P.2: População 2; P.3: População 3; P.4: População 4 e P.5: População 5.

Análises SGDC

As correlações são métodos estatísticos utilizados para quantificar relações entre variáveis, com a finalidade de observar o comportamento de uma variável mediante a variação de outra. Assim, as variáveis podem estar positivamente correlacionadas, quando os valores de uma variável aumentam, os valores da outra, também, aumentam; negativamente correlacionadas, quando os valores de uma variável aumentam, os valores da outra diminuem ou serem independentes, ou seja, não estarem correlacionadas. As relações entre variáveis podem ser expressas estatisticamente por diferentes tipos de coeficientes de correlação, tais como a correlação de Pearson e de Spearman. Esses coeficientes de correlação são bastante utilizados para avaliar as relações entre variáveis e ambos variam em valor de -1 a 1. Dessa forma, podem ser empregados para estimar a SGDC entre essas medidas de diversidade e outras variáveis ambientais ou geográficas.

SGDC é um arcabouço teórico e empírico que reúne uma série de métodos estatísticos para avaliar teorias que têm por objetivo explicar a variação simultânea dos padrões espaciais e/ou temporais nos níveis de diversidade genética e de espécies da biodiversidade.

Em princípio, a ideia é realizar uma correlação entre diversidade genética e diversidade de espécies, buscando-se detectar padrões espaciais ou temporais e, ao mesmo tempo, testar a influência de fatores ambientais nessa correlação para compreender os processos que dão origem ou mantêm esses padrões. À primeira vista, parece uma tarefa fácil, mas isso depende do sistema que será analisado, das hipóteses que serão testadas, dos índices de diversidade utilizados e da quantidade de variáveis ambientais testadas.

A pergunta para tais métodos é: como esse tipo de pesquisa é realizado? As análises de SGDCs seguem uma lógica metodológica, que inclui uma série de modelos matemáticos e testes estatísticos que variam conforme a proposta do estudo. De maneira bastante simplificada, as análises consistem em:

1. Definir a(s) **espécie(s) focal(is)**. A espécie focal é aquela que será utilizada para obter dados de diversidade genética;
2. Definir o grupo de espécies que será correlacionado com a diversidade genética da espécie focal;
3. Obter os dados de diversidade genética (DG) da(s) população(ões) da espécie focal;

4. Obter os dados de diversidade de espécies (DE) de outras espécies que coexistem com a espécie focal, que podem ser dados de comunidade (no qual existem processos de interação biótica entre as espécies, como competição ou predação), ou mais frequentemente, de “assembleias” de espécies (que são na verdade grupos taxonômica ou filogeneticamente definidos);
5. Definir as variáveis do local que serão testadas, como por exemplo, tamanho da área, conectividade e heterogeneidade espacial-temporal, bem como outras variáveis ambientais ou climáticas que poderiam explicar os padrões de biodiversidade nos dois níveis;
6. Realizar a correlação entre os dois níveis de diversidade (DG x DE).

Fatores que influenciam na SGDC

Os fatores que influenciam na SGDC podem ser quaisquer variáveis do local ou da comunidade. Os fatores locais são aqueles re-

lacionados à variação nos tamanhos médios da população, que por sua vez são mediados pelas características ambientais e geográficas do local, tais como conectividade, isolamento, clima, disponibilidade de recursos, tamanho da área e heterogeneidade espaço-temporal. Os fatores da comunidade, também, são relacionados à variação nos tamanhos médios da população, mas diferentemente dos fatores locais, são mediados pelas interações ecológicas entre as espécies que compõem a comunidade, e incluem competição, predação e mutualismo.

Tanto os fatores locais quanto da comunidade podem induzir efeitos paralelos sobre os genes e as espécies, por meio de processos microevolutivos tais como mutação, deriva genética, endogamia, seleção natural e fluxo gênico. Dessa forma, os processos microevolutivos interferem diretamente na diversidade genética e indiretamente na diversidade de espécies sob a influência de fatores do local e/ou da comunidade. Essas relações entre diversidade genética e de espécies mediadas por fatores locais e da comunidade podem ser analisadas por meio da SGDC e quando detectada correlação, a SGDC apresenta um sinal positivo ou negativo, como demonstrado na Figura 2.



Figura 2. Influência de processos microevolutivos na diversidade genética e suas consequências na diversidade de espécies. Considere DG x DE: Correlação entre diversidade genética e diversidade de espécies; DER: deriva genética; END: endogamia; FLG: fluxo gênico; MUT: mutação SEL: seleção natural.

Diferença entre α e β -SGDC

Podemos pensar em pelo menos dois tipos de SGDC: α -SGDC e β -SGDC. A α -SGDC consiste na correlação entre a diversidade genética e diversidade de espécies, dado

um fator e o efeito que ele causa na SGDC, focando em diversidade genética e de espécies local. Já a β -SGDC é utilizada para analisar correlações de diversidade genética e diversidade de espécies entre pares de comunidades e populações, considerando a localização geográfica e a composição genética e de espécies que detêm (Figura 3).

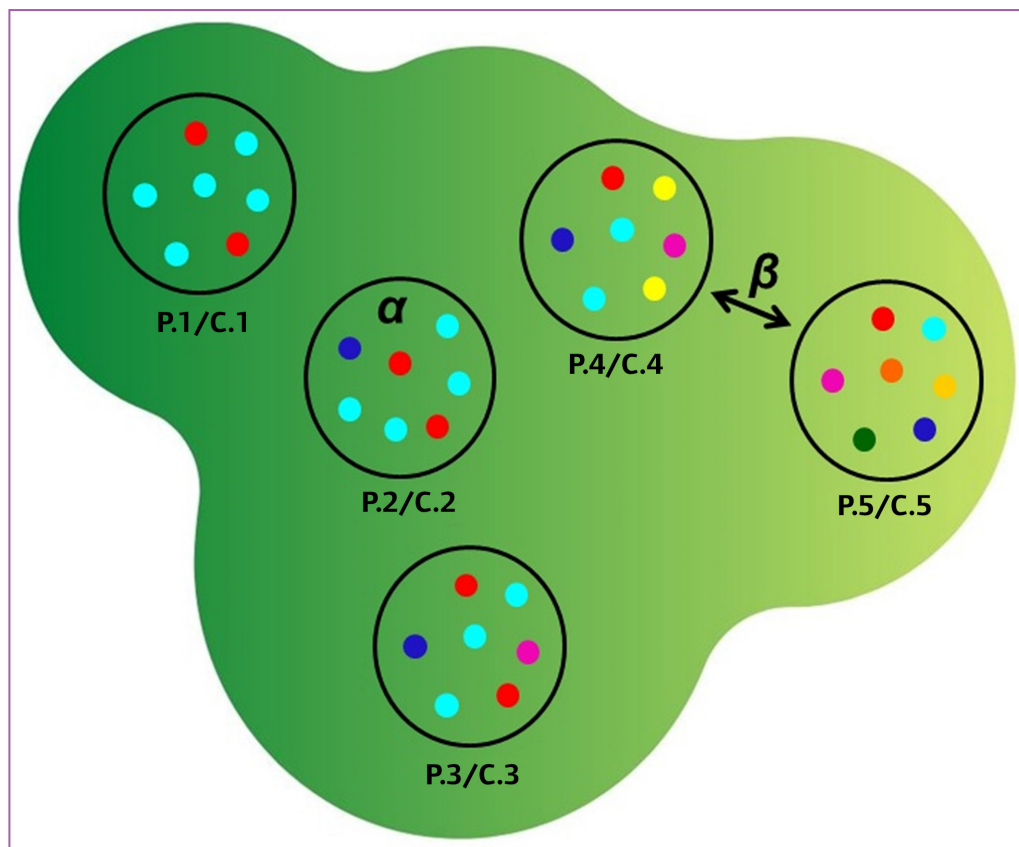


Figura 3. Diferença entre α -SGDC e β -SGDC. Considere α : α -SGDC; β : β -SGDC; P.1/C.1: População 1/Comunidade 1; P.2/C.2: População 2/ Comunidade 2; P.3/C.3: População 3/ Comunidade 3; P.4/C.4: População 4/ Comunidade 4; P.5/C.5: População 5/ Comunidade 5. Populações (de P.1 a P.5) referem-se às populações da espécie focal representadas pelos pontos em azul-claro, e Comunidades (de C.1 a C.5) corresponde às comunidades com diferentes composições de espécies, sendo que cada cor representa uma espécie diferente.

A α -SGDC pode ser calculada utilizando-se coeficientes de correlação bem conhecidos em estatística, como a correlação de Pearson ou de Spearman, variando no intervalo de -1 a 1. Resultados iguais a 0, indicam a inexistência de correlação entre as variáveis testadas (sendo esta a hipótese nula). Por outro lado, correlações positivas ou negativas indicam que a α -SGDC é significativa e que processos ecológicos e evolutivos, como os descritos anteriormente, devem estar envolvidos em sua origem.

A α -SGDC é calculada, por exemplo, a partir da relação entre o número de alelos ou heterozigiosidade nas populações de uma **espécie-focal** e o número de espécies que encontramos nas comunidades nas quais essas populações estão inseridas, levando em consideração fatores locais e/ou de comunidade. Por outro lado, a β -SGDC é estimada correlacionando-se a dissimilaridade genética entre populações de uma **espécie focal** por exemplo, FST: estimador de variabilidade genética entre populações, com a dissimilaridade de espécies entre comunidades. No caso da β -SGDC, como se trata de uma correlação de matrizes, a relação pode ser verificada por meio de Testes de Mantel, que são

correlações de Pearson ou Spearman entre matrizes e não entre variáveis.

Para visualizar melhor essas relações, lançaremos mão de hipóteses relacionadas à origem e manutenção da diversidade genética e de espécies já bem estabelecidas: (1) em um contexto de α -SGDC, ao analisar simultaneamente a diversidade genética e a diversidade de espécies sob a influência da variável tamanho da área, espera-se que a variação no tamanho da área gere um efeito positivo na diversidade genética dentro das populações e na riqueza de espécies nas comunidades, considerando os princípios da teoria do equilíbrio da biogeografia de ilhas (MACARTHUR; WILSON, 1967) e o modelo de ilha da genética populacional (WRIGHT, 1940). Isto é, quanto maior a área, maior será a diversidade genética e de espécies (Figura 4A); (2) em β -SGDC o esperado é que locais espacialmente próximos sejam mais semelhantes do que os mais afastados em composição de espécies se considerado o padrão de decaimento por distância (SOININEN et al, 2007) que se refere à estrutura genética, aparece na forma que chamamos de “isolamento por distância” (ROUSSET, 1997) (Figura 4B).

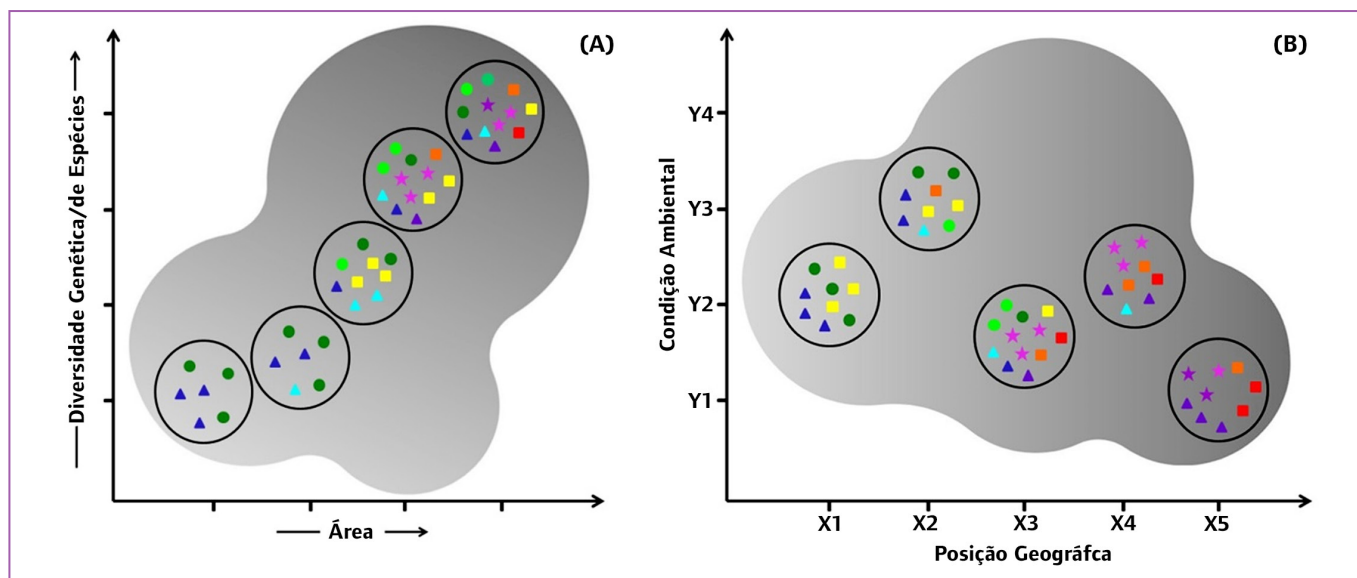


Figura 4.

(A) Variação simultânea da diversidade genética dentro de populações e da diversidade de espécies nas comunidades em função da variável tamanho da área. (B) Dissimilaridade genética e de espécies em função da distância espacial entre as populações e as comunidades sob a influência de diferentes condições ambientais. Os diferentes formatos dos pontos (triângulo, círculo, quadrado e estrela) referem-se às diferentes espécies que compõem as comunidades; as cores representam diferentes alelos das populações, ou seja, a diversidade genética das espécies.

Aplicações e importância dos estudos de SGDC

Vellend (2003) foi o primeiro trabalho com o objetivo explícito de investigar as SGDCs. Nesse estudo foram compilados 14 conjuntos de dados na literatura sobre diferentes grupos de organismos (plantas, aves, mamíferos, répteis etc.) para testar a hipótese de correlação positiva de diversidade de espécies e diversidade genética em uma variedade de arquipélagos (Ilhas Galápagos, Ilhas Britânicas, Ilhas do Caribe etc.) e, ao mesmo tempo, verificar a influência das variáveis área e isolamento da ilha nessa correlação. Nessa pesquisa, descobriu-se uma correlação significativamente positiva entre a diversidade genética e a diversidade de espécies para as duas variáveis testadas, assim locais mais ricos geneticamente em termos populacionais abrigavam também um maior número de espécies.

Entretanto, SGDCs significativamente negativas, bem como, a inexistência de correlação entre diversidade genética e de espécies já foram também relatadas. Uma SGDC negativa foi identificada por Marchesini et al. (2018) em uma metacomunidade de anfíbios da região alpina, Trentino, na Itália. Eles correlacionaram a diversidade genética neutra de uma espécie de rã comum (*Rana temporaria*) com a riqueza de espécies das comunidades de anfíbios para verificar se a

diversidade genética e de espécies covariavam nas comunidades. Esses autores utilizaram conceitos já bem estabelecidos para a interpretação dos processos determinantes da SGDC, a similaridade ecológica, sobreposição de nicho e interações interespecíficas. Dessa forma, eles chegaram à conclusão de que a relação negativa observada, provavelmente, ocorrerá porque a espécie focal e as outras espécies não são ecologicamente similares. Essa interpretação faz sentido visto que a espécie focal possui preferências ecológicas, principalmente, relacionadas à temperatura, diferentes das outras espécies que compõem a comunidade. Assim, reforçaram a ideia de que nem sempre é possível prever os padrões de diversidade genética a partir da amostragem da diversidade de espécies como estratégia para conservação.

Reisch e Schmid (2019) correlacionaram a diversidade de espécies de 18 prados secos remanescentes nos vales dos rios Naab e Lamber, na Alemanha, com a diversidade genética de várias espécies de plantas de prados secos para verificar a influência das variáveis, fragmentação da paisagem e condições do habitat, sob esses níveis de biodiversidade. Na verdade, eles trataram de várias espécies focais. Por conseguinte, observaram ausência de correlação entre diversidade genética e de espécies. Esse estudo concluiu que a proteção da diversidade de espécies não garante, obrigatoriamente, a conservação da diversidade genética, o que torna necessário repensar as estratégias de conservação.

Estas observações sugerem uma relação de independência entre os dois níveis de diversidade biológica em resposta aos processos ecológicos e evolutivos decorrentes de mudanças nas condições ambientais, que pode estar relacionada, por exemplo, com a história evolutiva das espécies e a dinâmica espacial de habitats adequados. Outra questão bastante discutida, nesse sentido, é que a abundância de uma espécie correlaciona-se positivamente com sua diversidade genética, ao mesmo tempo que correlaciona-se negativamente com a abundância de outras espécies em uma localidade (LAMY et al., 2013).

É necessário, portanto, maior cuidado na elaboração de planos para conservação da biodiversidade e, nesse sentido as SGDCs fornecem informações valiosas. O sinal da α -SGDC informa diretamente se a conservação de um nível de biodiversidade interfere negativamente ou positivamente no outro. Uma α -SGDC positiva indica que, ao conservar a diversidade de espécies em um local, conserva-se também a diversidade genética intrapopulacional (ou vice-versa), sendo possível aplicar uma estratégia única ou geral de conservação. Em contrapartida, uma α -SGDC negativa sugere que a preservação da diversidade de espécies local pode comprometer a diversidade genética dentro da população (ou vice-versa), sendo necessário, nessa situação, mesclar estratégias de conservação para abarcar os diferentes níveis de diversidade. A β -SGDC fornece informações sobre a composição genética e de espécies entre localidades e isso é extremamente útil se pensarmos em um nível mais abrangente de conservação como, por exemplo, a possibilidade de criar redes de conservação com localidades biologicamente complementares.

Os estudos de SGDCs são cada vez mais importantes como uma primeira aproximação combinando os trabalhos de Genética de Populações e Ecologia de Comunidades que se propõem a investigar a influência dos processos microevolutivos na diversidade genética e de espécies, ajudando na compreensão simultânea de processos ecológicos e evolutivos. Além disso, esses estudos são essenciais na determinação da estrutura e dinâmica das comunidades e, em uma perspectiva mais

aplicada, podem ser importantes para auxiliar na elaboração de ações para conservação da diversidade biológica levando em consideração diferentes níveis hierárquicos.

Referências/ Para saber mais

- KAHILAINEN, A.; PUURTINEN, M.; KOTIAHO, J. S. Conservation implications of species–genetic diversity correlations. *Global Ecology and Conservation*, v. 2, p. 315 – 323, 2014.
- LAMY, T.; JARNE, P.; LAROCHE, F.; POINTIER, J.-P.; HUTH, G.; SEGARD, A.; DAVID, P. Variation in habitat connectivity generates positive correlations between species and genetic diversity in a metacommunity. *Molecular Ecology*, v. 22, n. 17, p. 4445-4456, 2013.
- LAMY, T.; LAROCHE, F.; DAVID, P.; MASSOL, F.; JARNE, P. The contribution of species–genetic diversity correlations to the understanding of community assembly rules. *Nordic Society Oikos*, v. 126, p. 759 – 771, 2017.
- MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. Press, Princeton, 1967.
- MARCHESINI, A.; VERNESI, C.; BATTISTI, A.; FICETOLA, G. F. Deciphering the drivers of negative species–genetic diversity correlation in *Alpine amphibians*. *Molecular ecology*, v. 27, n. 23, p. 4916-4930, 2018.
- REISCH, C.; SCHMID, C. Species and genetic diversity are not congruent in fragmented dry grasslands. *Ecology and evolution*, v. 9, p. 664 – 671, 2019.
- ROUSSET, F. Genetic differentiation and estimation of gene flow from F-statistics under isolation by distance. *Genetics*, v. 145, n. 4, p. 1219-1228, 1997.
- SCBD (2010). *COP-10 Decisão X/2: Plano Estratégico para Biodiversidade 2011–2020*. Secretariado da Convenção sobre Diversidade Biológica. Nagoya, Japan, 2010.
- SOININEN, J.; MCDONALD, R.; HILLEBRAND, H. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*, v. 30, n. 1, p. 3-12, 2007.
- VELLEND, M. Island biogeography of genes and species. *The American Naturalist*, v. 162, p. 358 – 365, 2003.
- VELLEND, M.; GEBER, M. A. Connections between species diversity and genetic diversity. *Ecology Letters*, v. 8, p. 767 – 781, 2005.
- WRIGHT, S. Breeding structure of populations in relation to speciation. *The American Naturalist*, v. 74, n. 752, p. 232-248, 1940.