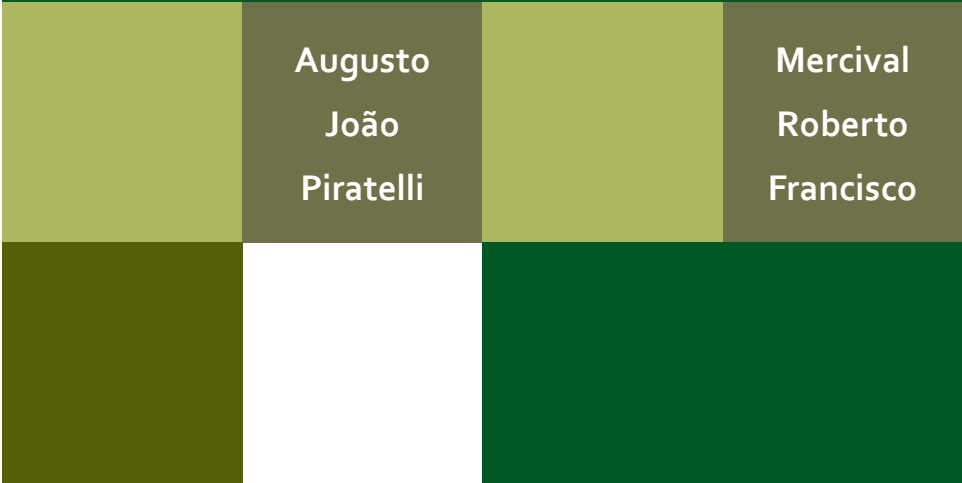




# CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

DOS CONCEITOS ÀS AÇÕES



Augusto  
João  
Piratelli

Mercival  
Roberto  
Francisco

# CAPÍTULO 2

## ECOLOGIA APLICADA À CONSERVAÇÃO

Alexander V. Christianini<sup>1</sup>

Leonardo Galetto<sup>2</sup>

Lucas A. Garibaldi<sup>3</sup>

Maurício Cetra<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos Campus Sorocaba, Departamento de Ciências Ambientais, Rod. João Leme dos Santos km 110, Itinga, CEP 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. E-mail: avchrist@ufscar.br

<sup>2</sup> Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV), Universidad Nacional de Córdoba, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Casilla de Correo 495 (5000) Córdoba, Argentina. E-mail: leo@imbiv.unc.edu.ar

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) - Sede Andina y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Río Negro, Argentina. E-mail: lgaribaldi@unrn.edu.ar

<sup>4</sup> Universidade Federal de São Carlos Campus Sorocaba, Departamento de Ciências Ambientais, Rod. João Leme dos Santos km 110, 18052-780, Sorocaba, SP, Brasil. E-mail: mcetra@ufscar.br

### INTRODUÇÃO

As atividades humanas têm provocado perda e fragmentação de habitats, superexploração de espécies, do solo, da água e degradação ambiental em escalas massivas ao redor do mundo. Essas atividades alimentam a atual crise de extinção global e estão alterando ciclos naturais como, por exemplo, o ciclo de nitrogênio, em razão do uso intensivo de fertilizantes químicos. Esses processos têm modificado o mundo natural de maneira extensa e profunda e devem ter seus efeitos acelerados ao longo das próximas décadas (Sala et al., 2000).

Na região tropical, onde se encontra a maior parte da América do Sul, as ameaças à biodiversidade requerem que as pessoas envolvidas em conservação tomem decisões urgentes. Muitas vezes o tempo disponível para decisão de um técnico ou gestor envolvido em conservação é bem menor do que o tempo requerido por acadêmicos para esclarecer em profundidade as dúvidas envolvidas. Assim, essas decisões precisam ser tomadas com base em pouca informação disponível para a maioria dos casos. Nessas situações, o bom senso e a experiência dos envolvidos, além da disponibilidade de informações para cenários semelhantes em outras localidades (como em outras regiões tropicais ou em países em regiões temperadas) são empregados para subsidiar essas decisões. Felizmente nos últimos anos a disponibilidade de informação sobre nossos sistemas naturais tem aumentado consideravelmente, mas ainda há muito trabalho pela frente. O conhecimento disponível em ecologia já permite uma série de inferências relevantes para a conservação, embora essas inferências estejam sujeitas a variações importantes de acordo com o contexto espacial e temporal envolvidos, sempre importantes em ecologia. Mas do que trata a Ecologia? Vejamos o que dizem Begon et al. (2007) a respeito: “A Ecologia não trata a respeito dos sentimentos das pessoas sobre a natureza, embora os ecólogos possam ter fortes sentimentos sobre o que estudam... A ecologia na verdade é uma ciência que busca compreender onde os organismos são encontrados, quantos ocorrem em determinado local e por quê”. Basicamente a ecologia busca entender como os organismos afetam e são afetados pelo ambiente, e como as interações entre indivíduos e espécies geram a distribuição e abundância dos organismos. Transformar o conhecimento básico de ecologia em uma ciência aplicada como conservação, nem sempre é simples. Segundo Begon et al. (2007):

“Devemos aceitar a proximidade dos problemas ambientais que nos ameaçam e a responsabilidade dos ecólogos de sair de uma posição secundária e assumir seu papel endereçado a esses problemas. A aplicação de princípios ecológicos não é apenas uma necessidade prática, mas também representa um desafio científico... Porém, permanecemos convictos de que a ação ambiental só pode ter consistência quando baseada em princípios ecológicos”.

Assim, o objetivo deste capítulo é indicar algumas implicações do conhecimento em ecologia para a conservação partindo de nossa realidade sul-americana, conhecimento local disponível e da experiência dos autores. Informações adicionais de caráter mais geral que complementam este capítulo podem ser encontradas em outras fontes. Em Inglês uma excelente referência é o livro de Sodhi e Ehrlich (2010): *Conservation biology for all* (disponível para

download gratuito em <http://www.mongabay.com/conservation-biology-for-all.html>). Leitores em língua portuguesa podem encontrar informações gerais úteis também no livro de Primack e Rodrigues (2002). Uma discussão da pertinência da legislação ambiental relacionada com o Código Florestal brasileiro está disponível em Metzger (2010), enquanto uma boa revisão dos impactos, desafios e recomendações para a conservação da Mata Atlântica pode ser encontrada em Tabarelli et al. (2010).

## **A RIQUEZA: QUANTAS ESPÉCIES?**

As estimativas de diversidade de organismos na Terra (excluindo micróbios) são muito variáveis, entre dois milhões a até mais de 50 milhões de espécies, com grande incerteza relacionada com os números de insetos, fungos, nematódeos e organismos do fundo do mar (Scheffers et al. 2012). Anualmente um número razoável de espécies, por exemplo, de peixes e de plantas, continua a ser descoberto e descrito, especialmente em regiões tropicais. Mas para outros grupos, como aves e mamíferos, a velocidade de descoberta de novas espécies é bem menor, sugerindo que já catalogamos a maior parte da biodiversidade existente nesses grupos (Scheffers et al. 2012). Obter uma lista razoável de espécies em uma localidade é uma das primeiras informações que um ecólogo irá buscar para estimar o estado de conservação de uma área, prever os efeitos de alguma ação humana no local, ou propor medidas de mitigação de algum impacto. Para tanto, um bom conhecimento da taxonomia de um grupo é importante, além de informações sobre a biologia básica das espécies envolvidas.

Como saber quantas espécies podemos encontrar em uma localidade? O número de espécies, também conhecido como riqueza, está relacionado com vários fatores como o tamanho da área, diversidade de habitats e proximidade de outras manchas de habitat que podem trocar indivíduos/espécies com essa área (aspectos tratados na teoria de biogeografia de ilhas; MacArthur e Wilson 1967). Assim, quanto maior a área (ou a área amostrada), maior a diversidade de habitats ou a proximidade com outras manchas de habitat, maior deve ser o número de espécies encontradas em comparação a áreas menores, com menor variedade de habitats e isoladas. Outros fatores importantes incluem a intensidade e o tempo decorrido desde a ocorrência de perturbações, como fogo, extração de madeira, caça etc. Grupos diferentes de organismos, como plantas, aves e anfíbios, e espécies distintas dentro destes grupos podem responder de maneira diferente a cada uma destas perturbações. Esses fatores interagem com os indicados anteriormente (tamanho da área, isolamento etc.) aumentando a complexidade de respostas possíveis em relação à riqueza. Por exemplo, embora o tamanho da área tenha forte relação com a riqueza, áreas relativamente pequenas, mas bem conservadas, podem por

vezes comportar mais espécies do que áreas comparativamente maiores, mas muito isoladas e que sofreram perturbações intensas no passado. Atualmente temos informações razoáveis para alguns grupos (como aves e mamíferos) que nos permitem prever o número de espécies esperadas em uma localidade com uma margem de erro aceitável. O uso de métodos de reamostragem e extrapolações a partir do número de indivíduos de cada espécie obtidas em coletas repetidas ou observações preliminares permitem obter números mínimos e máximos de espécies esperadas em uma localidade (embora, claro, não a relação de espécies em si, ver adiante). Para maiores informações sobre o uso e aplicações de técnicas de rarefação, usos de curvas de coletor e extrapolação do número de espécies, boas referências incluem Santos (2003) e Colwell e Coddington (1994). Diversos *softwares*, inclusive gratuitos, permitem obter estimativas do número de espécies a partir de observações preliminares, como o EstimateS (em inglês, disponível em: <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>). Uma consulta a um especialista no grupo de interesse também pode ser útil para calibrar a expectativa do número de espécies que podem ser encontradas em uma área e verificar se o esforço de amostragem está adequado.

Como manter a riqueza observada em uma área? A primeira observação é manter a extensão e qualidade dos habitats. Tal sugestão simples, contudo, tem sido de execução difícil em paisagens dominadas por atividades humanas como plantações, estradas e cidades que substituem e/ou degradam (diminuem a qualidade) dos ambientes naturais como florestas, cerrados e campos naturais (Tabarelli et al., 2010). A conversão de áreas pelo homem para atender diferentes demandas termina não apenas por reduzir a disponibilidade de habitat, mas também a separar (fragmentar) as manchas de habitat disponíveis, com enormes consequências para a fauna e flora locais (Laurance et al., 2011). A redução da qualidade dos habitats, pode se dar, por exemplo, pela ocorrência de efeitos de borda entre os fragmentos de vegetação remanescente e os habitats modificados. Nas bordas desses fragmentos é comum ocorrerem alterações microclimáticas, como: maior insolação; temperatura e evaporação; um incremento de perturbações ocasionais (como rajadas de vento e queimadas) e penetração por espécies exóticas provenientes dos habitats modificados do entorno. Essas alterações, que podem penetrar em distâncias consideráveis em ambientes florestais (e.g. mais intensas a até 100m da borda para o interior do fragmento [Laurance et al., 2011]), terminam por eliminar espécies intolerantes a estas condições, em geral as espécies de plantas e animais típicas do interior da floresta. Todas essas modificações, ao reduzir a quantidade e qualidade do habitat disponível, modificam a riqueza local de espécies, fenômeno bem conhecido ao redor do mundo. Boas discussões sobre esses efeitos podem ser encontradas em Metzger (2010), Tabarelli et al. (2010) e Laurance et al. (2011). Iniciativas para reduzir efeitos de borda incluem a

manutenção de manchas de hábitat extensas, conectadas e com a menor relação de perímetro (borda) por área (mais circulares, por exemplo) e a manutenção de uma cobertura do solo perene nos arredores das áreas remanescentes (Laurance et al., 2011 e referências indicadas).

Algumas iniciativas simples em paisagens ocupadas pelo homem, como aquelas dominadas por plantações, podem facilitar o trânsito de organismos e aumentar a quantidade ou qualidade de hábitat disponível para várias espécies, o que aumenta as chances de manutenção da riqueza local. Por exemplo, direcionar as linhas de plantio de culturas no sentido de um fragmento de vegetação nativa a outro (como a reserva legal em propriedades rurais) é suficiente para aumentar a chance de movimento de gambás, *Didelphis aurita*; e cuícas, *Philander frenatus*, entre os dois fragmentos, como demonstrado em plantios de mandioca, *Manihot esculenta* no interior do Rio de Janeiro (Predevello e Vieira 2010). Manter cercas-vivas ou quebra-ventos (4 a 12m de largura) com árvores e arbustos dividindo talhões de plantio ou pastagens foi suficiente para auxiliar na ocupação destas áreas por 55 espécies de aves e no deslocamento de seis espécies de aves florestais entre fragmentos de Mata Atlântica no interior de São Paulo (Gabriel e Pizo 2005). Além disso, essas cercas-vivas podem potencialmente aumentar o trânsito de sementes das plantas que essas aves consomem entre diferentes áreas na paisagem, aumentando a chance de permanência de populações dessas plantas em longo prazo. Esses corredores de vegetação podem aumentar o trânsito de insetos polinizadores de uma mancha de hábitat remanescente (como um fragmento de floresta) a outra, incrementando o fluxo de pólen entre plantas nativas (Townsend e Levey 2005). Porém, perguntas simples como “quão largo *deve* ser o corredor” ou “até quão longo *pode* ser um corredor” para que ele seja usado por certa espécie ainda são perguntas para as quais não há generalização. Cada organismo, de acordo com características locais do hábitat, pode aceitar ou exigir diferentes dimensões de um corredor para que possa utilizá-lo. Espécies mais avessas a áreas abertas ou à luz (como aves florestais de sub-bosque) irão requerer corredores mais largos e estruturalmente mais complexos que espécies generalistas que utilizam clareiras e bordas, por exemplo. Não por acaso, um dos efeitos importantes dos corredores é justamente aumentar o hábitat disponível para as espécies mais exigentes. Essas restrições não devem desanimar os produtores interessados em conservação. Mesmo corredores muito estreitos (como simples linhas de árvores) podem ajudar a aumentar a complexidade estrutural e permeabilidade de áreas agrícolas ao movimento de algumas espécies e reduzir o impacto do vento sobre as bordas de fragmentos florestais. Por vezes, mesmo árvores isoladas no interior de pastagens e plantios podem facilitar a movimentação de algumas espécies entre fragmentos, como demonstrado para aves escaladoras de tronco (arapaçus, *Xiphorhynchus fuscus*) em fragmentos distantes cerca de 200m entre si na Mata Atlântica (Boscolo et al., 2008).

Em alguns casos vale lembrar que processos naturais, como sucessão, podem alterar a riqueza de espécies ao longo do tempo de maneira natural. Mais do que o número de espécies, muitas vezes é mais interessante pensar em quais espécies se deseja conservar, em qual escala de tempo etc. (ver adiante). Fragmentos florestais pequenos, por exemplo, são considerados “hiperdinâmicos”, por passarem por transformações abruptas e muitas vezes pouco previsíveis (Laurance et al., 2011). Por exemplo, é comum que esses fragmentos pequenos apresentem uma proliferação acentuada de lianas, em razão da maior entrada de luz, e perturbações recorrentes que impedem o curso natural da sucessão. Como resultado, a vegetação desses fragmentos é gradualmente convertida para estágios iniciais da sucessão, com predominância de espécies pioneiras (Tabarelli et al., 2010). Além disso, certas perturbações como fogo e corte seletivo de madeira são extremamente danosos para a vegetação de nossas florestas. Por outro lado, o fogo pode ser uma perturbação importante e necessária de tempos em tempos (por exemplo, a cada três anos) se a intenção é conservar espécies de plantas, aves e mamíferos de fisionomias abertas de cerrado, como campos limpos, sujos e campos cerrados. Essas espécies necessitam de áreas mais abertas, não florestais, e desaparecem das vegetações de cerrado livres de perturbação que crescem sobre solos relativamente férteis, pois essas áreas tendem com o tempo a se tornar fisionomias florestais, (os cerradões), onde essas espécies de áreas abertas não ocorrem (Durigan e Ratter 2006). Se a intenção é conservar a riqueza dessas espécies de áreas mais abertas de cerrado (muitas das quais endêmicas e com histórico evolutivo único) permitir perturbações ocasionais por fogo pode ser necessário, tratando também de manter as áreas livres de gramíneas exóticas como capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e braquiária (*Urochloa* spp.). A ideia de que o fogo é sempre danoso nem sempre é verdade em se tratando de vegetações de cerrado. Mas vale lembrar que o fogo é bastante danoso para espécies de florestas, como árvores e animais da Mata Atlântica e da Amazônia e, portanto, seu uso em manejo deve ser realizado com cuidado e parcimônia para evitar o dano às áreas florestais.

## A IMPORTÂNCIA DO CONHECIMENTO DA BIOLOGIA DAS ESPÉCIES

Mais importante do que saber quantas espécies ocorrem em uma localidade seria saber quais são essas espécies. Localidades com muitas espécies endêmicas (com distribuição geográfica restrita) possuem maior importância para conservação que aquelas que contêm apenas espécies amplamente distribuídas (Tabarelli et al., 2010). Por exemplo, é comum que áreas de borda de fragmentos de floresta tenham alta riqueza, por vezes até mais alta que áreas do interior dos fragmentos (Laurance et al., 2011 e referências indicadas). Porém, muitas dessas espécies são de hábitos

generalistas e podem ser encontradas na matriz circundante ao fragmento, como plantas e pastagens. Elas não dependem exclusivamente da floresta e muitas estariam presentes mesmo que o fragmento de floresta não estivesse por lá. Essas espécies ocupam as áreas de borda à custa de espécies que são frequentemente mais especializadas e dependentes das condições de maior sombra e menor variação de temperatura, encontradas apenas no interior da floresta. Assim, essas espécies tipicamente florestais não ocorrem nas áreas de borda dos fragmentos e são justamente as espécies de interior da floresta que possuem maior interesse para conservação. Assim, interpretar apenas a riqueza (número de espécies) como sinônimo de qualidade de uma área pode levar a uma interpretação errônea da importância ou grau de conservação do local. É preciso verificar quais são essas espécies e conhecer um pouco sobre sua biologia para uma inferência mais segura.

Por exemplo, espécies de aves de grande porte (como araras, *Ara* spp.; jacutingas, *Aburria jacutinga*; e arapongas, *Procnias nudicollis*) e mamíferos (como antas, *Tapirus terrestris*; onças, *Panthera onca*; e queixadas, *Tayassu pecari*) são mais suscetíveis a perturbações, seja por modificações no hábitat como desmatamento, corte seletivo ou fogo, ou pela caça ou apanha de exemplares. Por que isso ocorre? Essas espécies possuem várias características que as predis põem a esses riscos. Por exemplo, espécies de maior porte necessitam de área de uso maior para atender suas necessidades de alimentação, abrigo e reprodução (Jetz et al., 2004) e conseqüentemente exibem menores abundâncias locais que espécies comparativamente menores (uma floresta que contém milhares de pequenos ratos pode conter apenas algumas poucas antas e ainda menos onças). Assim, espécies de maior porte tendem a ser naturalmente mais raras que espécies de pequeno porte. Além disso, espécies de maior porte tendem a ter número reduzido de filhotes a cada gestação (mamíferos) ou postura (aves), maior tempo de desenvolvimento e dependência prolongada dos pais até a idade adulta. São as preferidas por caçadores, além de frequentemente terem dieta especializada que impõe restrições para ser atendida ao longo do ano (como frutos carnosos que tendem a ser escassos na estação seca) ou que implica em conflitos com humanos (por exemplo, grandes carnívoros como onças-pintadas) (Jerolimski e Peres, 2003).

Há uma relação direta entre o tamanho (peso) e a área de uso de uma espécie de ave ou mamífero. Equações obtidas a partir de regressões (Jetz et al., 2004) permitem obter uma estimativa da área de uso de uma espécie a partir de seu peso. Também para mamíferos brasileiros há uma relação direta (em escala logarítmica) entre o peso e a área de uso (Bergallo, 1990). Para aves não há regressões desenvolvidas exclusivamente para espécies brasileiras, mas há uma profusão de equações baseadas em um grande número de espécies ao redor do globo (Jetz et al., 2004). Uma equação amplamente utilizada para aves (Schoener 1968) estima que a área de uso cresça quase exponencialmente com o peso da ave, segundo a



equação  $3,6 \square \text{Peso}^{1,39}$ , com o peso expresso em quilogramas (kg). Basta multiplicar o valor obtido por 100 para se obter a área em hectares. Por outro lado, variáveis como dieta (herbívoro, carnívoro, onívoro) e se a espécie têm hábitos gregários ou é solitária também interferem nessa relação, com carnívoros e espécies gregárias ocupando maiores áreas de uso do que herbívoros ou espécies solitárias. O mesmo é válido em relação à habitats de diferentes qualidades (Bergallo, 1990). Indivíduos que ocorrem em uma área mais produtiva terão área de uso menor do que aqueles da mesma espécie que ocorrem em áreas menos produtivas. Obviamente essas equações produzem aproximações da área de uso esperada para diferentes espécies. Mas elas podem ser úteis para se ter uma ideia, por exemplo, da área mínima de habitat necessária para se conservar um certo número de indivíduos de uma espécie. Quanto mais se souber sobre a biologia dessa espécie (se defende território ou não, é especialista em um tipo de habitat, é migratória etc.), mais se pode refinar essa informação.

De maneira semelhante, plantas com sementes grandes também sofrem mais os efeitos de perturbações comparados a espécies que produzem sementes pequenas. Isso ocorre por que, em geral, espécies que produzem sementes grandes são típicas da floresta madura, de estágios sucessionais mais avançados, com crescimento lento, alta longevidade, alta densidade da madeira (típicas espécies de madeira de lei) e em geral menor abundância. Essas espécies não toleram as condições que são encontradas em bordas de fragmentos, além de serem alvo de extração ilegal (Tabarelli et al., 2010). Além disso, essas espécies costumam ter sua regeneração fortemente limitada pela dispersão de suas sementes. Sementes que caem nos arredores da planta-mãe (a planta que produziu as sementes) ou sob a copa frequentemente encontram-se em grande densidade e são destruídas por animais granívoros, ou são atacadas por patógenos, fungos etc. de maneira que a regeneração é improvável nos arredores da planta-mãe. Quem dispersa essas sementes grandes? Em geral os únicos animais aptos à dispersa-las são justamente aves e mamíferos de maior porte, que por seu tamanho podem engolir as sementes juntos com os frutos, carrega-las e defeca-las, regurgita-las ou deposita-las a alguma distância, o que aumenta as chances de recrutamento. São justamente esses animais os primeiros a sofrer os efeitos da ação antrópica de destruição de habitat, caça etc. Na sua ausência, a regeneração dessas plantas está comprometida em longo prazo e os adultos representam “mortos-vivos” (ver adiante). Uma ideia do impacto que a perda de dispersores de sementes pode trazer para essas plantas vem do estudo de Silva e Tabarelli (2000). Esses autores estimam que 1/3 das espécies de árvores da Mata Atlântica do Nordeste do Brasil esteja com a regeneração comprometida em longo prazo nos remanescentes desta floresta porque já não conseguem dispersar suas sementes, dado a extinção generalizada de aves e mamíferos frugívoros de grande porte nos remanescentes por caça,

apanha ou perda de hábitat. Plantas que necessitam de polinização cruzada e são autoincompatíveis também tendem a sofrer maiores efeitos negativos da fragmentação e perda de hábitats, pois esses processos afetam, por exemplo, a composição, abundância e comportamento dos polinizadores (Aguilar et al., 2006).

## **A IMPORTÂNCIA DE SE CONHECER O NÚMERO DE INDIVÍDUOS DAS ESPÉCIES DE INTERESSE**

Uma informação relevante para se conservar uma determinada espécie, além de sua biologia, diz respeito ao número de seus indivíduos no local em um dado intervalo de tempo. Em geral quanto menor a população, maiores serão as dificuldades na sua manutenção em longo prazo. Por que isso ocorre? Populações pequenas e isoladas sofrem endogamia acelerada (consanguinidade) e perda de diversidade genética. Isso pode acarretar na perda de vigor reprodutivo (a chamada depressão endogâmica) e menor capacidade de responder às mudanças ambientais, doenças etc. (Frankham et al., 2008). Além disso, populações pequenas estão mais sujeitas a efeitos estocásticos (probabilísticos, imprevisíveis), como incêndios catastróficos e deriva genética levando à perda de variabilidade.

Por exemplo, tomemos uma população de uma espécie de ave isolada em um fragmento composta por apenas dois machos e três fêmeas. A espécie forma casais instáveis, de maneira que todas as fêmeas podem se cruzar com um dos dois machos. Em um ano esses casais produzem quatro filhotes, dos quais três (por chance, podem ser todos machos) chegam à idade adulta (uma proporção de sobreviventes otimista em se tratando de condições naturais). Porém, até lá uma das fêmeas que se reproduziu foi predada, sobrando então cinco machos e duas fêmeas no fragmento. No ano seguinte há um novo ciclo reprodutivo, mas uma tempestade destrói um dos ninhos ocasionando a perda de toda a postura e a morte de um dos machos mais velhos. A outra fêmea consegue se reproduzir, mas a tempestade e o esforço da estação reprodutiva a debilitam e ela morre por uma doença junto com um dos dois filhotes. O outro filhote, uma fêmea, sobrevive, mas sem o cuidado parental da mãe termina predada por um gato doméstico que perambulava pelos arredores do fragmento. Sobram assim quatro machos e uma fêmea adulta. A fêmea pode se reproduzir com sucesso, mas há chance de produzir apenas machos na nova postura. Como essa fêmea já possui idade avançada para a espécie e boa parte dos machos são aparentados (por exemplo, filhos), ela talvez não consiga se reproduzir nos anos seguintes. Embora a espécie ainda esteja presente no fragmento, ela está condenada, pois não tem mais como se reproduzir caso não cheguem indivíduos fêmeas de outras

populações. Um cenário como esse é muito menos provável se a população tivesse um número maior de indivíduos desde o início. Qual seria então um tamanho mínimo aceitável?

Esse número, conhecido como população mínima viável, depende de características da espécie (como comportamento reprodutivo, se forma casais monogâmicos ou não, da variabilidade genética da população etc.) e da escala temporal em que se deseja manter a população no local. Os números variam de 500 indivíduos ou mais para se ter uma probabilidade alta de manter uma população por 50 gerações. Tal número é muito difícil de ser alcançado em uma única localidade para certas espécies de animais e plantas, como as de grande porte mencionadas anteriormente. Assim, é necessário trabalhar com a perspectiva de conservação de metapopulações (populações conectadas por dispersão, cujos indivíduos que dispersam de uma população à outra podem repor populações extintas localmente, como se fossem uma única população de tamanho maior). Áreas extensas e melhor conservadas, que possuem uma população maior (como unidades de conservação), podem atuar como fontes de indivíduos para áreas menores nos arredores (por exemplo, fragmentos imersos em paisagens agrícolas). Os fragmentos funcionam como drenos da população, já que neles a mortalidade tende a ser maior, mas eles são importantes para se manter a espécie com uma população viável em longo prazo. Essa é uma das razões, dentre várias, que podem ser invocadas para reforçar a necessidade de se criar e manter Unidades de Conservação (Parques) de grande tamanho e bem conservados. Tais áreas possuem valor único e realmente funcionam para a conservação (Peres, 2005). Mas em longo prazo mesmo essa estratégia pode não funcionar, dada a intensa escala de alteração de nossos ambientes. Assim, é necessário não apenas possuir áreas voltadas para conservação (como parques nacionais, estações ecológicas etc.), mas trabalhar também nas áreas voltadas a atividades humanas para que essa conservação seja mais eficiente em longo prazo (Christianini, 2006), o que inclusive pode impactar positivamente atividades humanas (ver adiante).

Um modo de se verificar a eficácia de medidas de conservação de uma espécie é justamente monitorar suas tendências populacionais ao longo do tempo (se em declínio, aumento ou estável). Essa medida pode ajudar a compreender os fatores que governam essas flutuações, muitas vezes naturais, e que podem ou não ser motivo de preocupação desde uma perspectiva de conservação. Há uma profusão de métodos para se monitorar tendências populacionais que variam de acordo com a espécie ou grupos de interesse, os recursos disponíveis etc. Uma consulta à bibliografia disponível (Cullen Jr. et al., 2003) pode ajudar na escolha do método a ser utilizado. É importante que o método de monitoramento seja empregado de forma consistente ao longo do tempo (mesmas áreas, método de amostragem compatível etc.), de forma a permitir comparações.

## O QUE É A DIVERSIDADE BIOLÓGICA?

Embora o conceito de biodiversidade seja relativamente novo, ele adquiriu uma enorme repercussão pública nas últimas décadas. É amplamente utilizado tanto por cientistas como por comunicadores sociais, políticos e público em geral. Contudo, se trata de um conceito complexo, pouco preciso, e assim, dúbio. Em ciência, como em outras atividades humanas, é importante a clareza conceitual para o desenvolvimento do conhecimento, para alcançar uma boa comunicação e também para implementar ações tecnológicas e políticas adequadas.

Para a maioria das pessoas o conceito de biodiversidade representa uma referência sobre uma grande variedade de formas de vida ou, por vezes, sobre um subconjunto das espécies que têm um interesse particular, ou porque são carismáticas ou familiares a um determinado grupo humano. É muito comum que textos de biologia e ecologia caracterizem a biodiversidade em função do número de espécies presentes em uma certa área ou comunidade de organismos. Essa caracterização e eventual comparação com outros sítios ou comunidades são realizadas por meio de descrições ou comparações por meio de índices de riqueza de espécies. Por vezes se agrega a essa representação extremamente simplificada as abundâncias populacionais de um subconjunto de espécies de interesse. Neste último caso, se estaria representando por meio do conceito de biodiversidade, o conjunto de populações de algumas ou todas as espécies que coexistem em uma determinada área ou comunidade biológica. Neste caso, pode-se utilizar outra série de índices para comparar a diversidade biológica entre comunidades (como índices de diversidade de Shannon, de Simpson, índices de similaridade etc. [Magurran, 2004]).

Contudo, essas são apenas algumas medidas da biodiversidade que se referem majoritariamente ao atributo composicional da biodiversidade (quais e quantas espécies estão presentes e em que abundância) e a uns poucos níveis de organização em que podemos separar a biodiversidade. Ou seja, os atributos estruturais e funcionais da biodiversidade têm sido muito menos estudados. Os níveis de organização podem ir desde moléculas e genes até paisagens e ecossistemas, assim, as populações e comunidades são níveis de organização intermediários da biodiversidade que não representam toda a complexidade biológica envolvida no conceito.

Como consequência do exposto anteriormente, o crescente interesse em defesa da biodiversidade está baseado em medidas pobres, incompletas e comumente enviesadas, o que se reflete no conhecimento ainda incipiente sobre como restaurar e manter a biodiversidade. Por exemplo, a percepção parcial do conceito impede a tomada de consciência por parte de pesquisadores envolvidos com o desenvolvimento tecnológico, técnicos, tecnocratas e políticos sobre a perda

da biodiversidade frente a distintas atividades antrópicas, e menos ainda sobre a urgência de resolver esse problema para a sociedade. É necessária a clareza conceitual para em seguida desenvolver conhecimento mais profundo e confiável, antes de propor desenvolvimentos tecnológicos em conservação e manejo dos recursos naturais. O tratamento simplificado de ecossistemas e comunidades, considerando somente com seu componente composicional da biodiversidade, tem provocado equívocos e manejos inadequados. Por exemplo, quando agências governamentais propõem conservar parte do dossel da floresta, mas semeando pastagens para o gado ou café debaixo das árvores, não está conservando o bosque com todas suas interações que garantem seu funcionamento e sustentabilidade, e sim simplificando o bosque, e mantendo apenas algumas espécies mais carismáticas (as árvores, nesse caso).

Um exemplo interessante é o cultivo de cacau, *Theobroma cacao*, na região sul da Bahia, zona de ocorrência da Mata Atlântica. Como o cacau depende de sombreamento, realiza-se um sistema de produção conhecido regionalmente como cabruca. Na cabruca o sub-bosque da vegetação nativa foi substituído pelo cultivo do cacau, mas a maior parte das árvores da floresta foi mantida para sombreamento. É claro que essa prática ocasionou simplificação do sistema natural, mas poderia ser muito pior se, ao invés de manter as cabrucas, ocorresse uma substituição por um sistema de cultura agrícola que retirasse também as árvores de grande porte. Faria et al. (2006) investigaram como as comunidades de aves e morcegos respondem a esse cultivo e evidenciaram que ambas comunidades apresentaram maior riqueza de espécies em cabrucas quando comparadas a grandes fragmentos vegetais bem conservados no entorno. Em um primeiro momento esse resultado surpreende, porém, as assembleias de aves nas cabrucas foram caracterizadas pela perda de espécies florestais especialistas de sub-bosque e pelo aumento de espécies generalistas de áreas abertas. Por outro lado, as cabrucas distantes de grandes fragmentos, ou seja, inseridas em paisagens formadas basicamente pelo cultivo do cacau, apresentaram riqueza de espécies menor que aquelas com fragmentos bem conservados no seu entorno, evidenciando a importância da preservação de grandes áreas que funcionam como sistemas fonte de dispersão de espécies. Assim, o trabalho evidencia que a paisagem dominada por cabrucas provavelmente não garantiria sozinha a conservação em longo prazo de muitas espécies de grande interesse para a conservação.

Embora essas iniciativas sejam menos impactantes que pastagens e plantios não consorciados com a floresta (Faria et al., 2006), se considerarmos uma escala de tempo prolongada (100-300 anos), essa floresta não pode se regenerar em razão do manejo inadequado que impede processos ecológicos chave (por exemplo, polinização, regeneração e estabelecimento de plântulas, e jovens). Isso torna as árvores nesses consórcios um conjunto de espécies “mortas em pé”, já que quando

essas árvores adultas morrerem e não estiverem nessa comunidade ou ecossistema, a paisagem será muito diferente daquele original que se pretendia conservar. Se o objetivo é promover a conservação da biodiversidade, é indispensável ter em conta distintos processos ecológicos e biogeoquímicos fundamentais que, em geral, até o momento não tem sido estudados e compreendidos ou têm sido simplesmente desconsiderados.

Em resumo, é de fundamental importância transmitir uma definição ampla e completa sobre o conceito da biodiversidade para poder estudar e gerar um conhecimento profundo e compreender que quando desaparece um componente da biodiversidade (por exemplo, um gene, uma população, uma espécie, uma comunidade ou uma floresta completa) não se perde apenas o componente em si, mas também suas relações estruturais e interações funcionais com os demais componentes do sistema biológico considerado. Por exemplo, ao eliminar ou introduzir uma população de árvores de um local, também desaparecem ou aparecem componentes estruturais da comunidade (por exemplo, muda o dossel que provê alimento ou refúgio para outras espécies; muda o regime hídrico ou as condições físicas de micro-habitats distintos) e se altera o componente funcional (por exemplo, mudam as interações de polinização e dispersão com animais; mudam as interações entre raízes, fungos e distintos micro-organismos no solo) de todo o sítio.

A biodiversidade, em sua definição ampla, está determinada e constituída por três atributos dos ecossistemas: composição; estrutura; e função (Franklin, 1988). A composição da diversidade inclui a identidade e variedade de elementos dos sistemas biológicos: genes; populações; espécies; comunidades; ecossistemas; e paisagens. A diversidade estrutural considera a disposição e ordenamento dos componentes em cada nível de organização (por exemplo, estrutura genética de uma população, classes etárias, estratos de uma floresta). Já a diversidade funcional, como se exemplificou anteriormente, se refere à variedade de processos e interações que ocorrem entre os componentes biológicos. Esses processos podem ser ecológicos (por exemplo, para que algumas plantas se reproduzam elas necessitam que uma ou várias espécies de aves dispersem suas sementes), biogeoquímicos (por exemplo, fixação de carbono realizada pelas árvores) ou evolutivos (por exemplo, a interação entre plantas com determinadas morfologias florais e uma certa guilda de polinizadores). Uma vez que os atributos composicionais, estruturais e funcionais dos sistemas (por exemplo, comunidade, paisagens e ecossistemas) são interdependentes, as três esferas que representam cada componente (Figura 2.1) estão interconectadas e limitadas por uma esfera maior (a biosfera). Esses atributos podem ser caracterizados por distintos níveis de organização biológica (moléculas, genes, populações, espécies, comunidades,

ecossistemas, paisagens, ou como se queira descrevê-los) que podem ser apresentados em um esquema hierárquico (Noss, 1990) e que tem propriedades intrínsecas dentro de cada nível, mas também propriedades emergentes ao se mudar de nível, como todo sistema complexo. Dessa forma, os níveis de organização superiores incluem e condicionam o comportamento dos níveis inferiores.

Se levarmos em conta essa definição da biodiversidade que contempla os atributos de composição, estrutura e função, além de múltiplos níveis de organização, fica claro que a presença e atividades desenvolvidas por distintas populações humanas condicionam a dinâmica e conservação da biodiversidade. Por sua vez, a sobrevivência das populações humanas em distintas regiões está condicionada pela estabilidade e conservação não apenas dos componentes de uma comunidade biológica ou ecossistema, mas também da manutenção de sua estrutura e funcionamento da biodiversidade. Dessa forma, as mudanças que as populações humanas produzem em um determinado território provocam, direta e

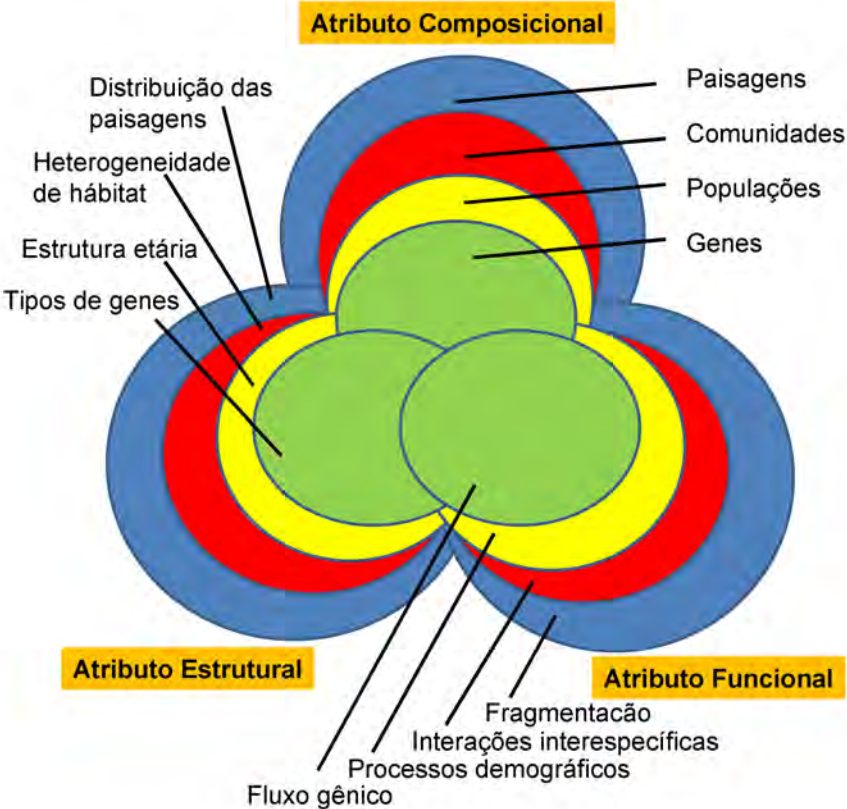


Figura 2.1 Componentes da biodiversidade. Adaptado de Noss, 1990.

indiretamente, mudanças na biodiversidade e, em última instância, mudanças nos benefícios que os ecossistemas provêm aos humanos. Por isso, a biodiversidade e o bem estar das populações humanas estão fortemente relacionados (Rozzi et al., 2006).

## **COMO SE RELACIONAM AS MUDANÇAS NA DIVERSIDADE SEGUNDO AS ESCALAS ESPACIAIS E TEMPORAIS DE ANÁLISE?**

A biodiversidade é dinâmica no espaço e no tempo. Ou seja, a diversidade de componentes, estruturas e processos biológicos muda naturalmente em múltiplas escalas temporais e espaciais. A escala pode afetar tantos os fenômenos observados quanto às inferências que deles se extraem. Por isso é imprescindível poder discernir cuidadosamente entre esses ciclos ou tendências naturais e as perturbações antropogênicas atuais que, em geral, superam amplamente as primeiras em extensão, frequência e intensidade. Por exemplo, as mudanças no uso da terra e nas comunidades que o homem desenvolveu nos últimos séculos têm provocado a eliminação de imensas extensões de distintos ecossistemas para desenvolver monoculturas, promovido desertificação ou contaminação do solo e da água por manejo inadequado, ou facilitado invasões biológicas que alteram a biodiversidade e componentes físicos dos ecossistemas (Foley et al., 2009; Metzger, 2010).

Essas mudanças têm ocorrido em uma escala temporal muito curta e em escalas espaciais gigantescas, o que tem levado à “naturalização” dessas novas paisagens alteradas por atividades econômicas por parte das novas gerações de humanos. Claramente essa situação tem consequências sobre a percepção da biodiversidade, as possibilidades de estudo, conceitualização e para as propostas ou ações de conservação. Por exemplo, as distintas leis sobre desmatamento consideram porcentagens de florestas que devem ser preservados em um determinado território, ou corredores biológicos que não deveriam ser eliminados ou faixas de distinta extensão de vegetação natural que deveriam se conservar de ambos os lados de cursos de água, para mencionar somente uns poucos casos. Contudo, qual é a base de conhecimento sobre a biodiversidade presente nos distintos ecossistemas para definir determinadas escalas espaciais? Qual é a escala temporal que se tem em mente quando se definem estas disposições? Do mesmo modo, o princípio de precaução (mesmo não havendo evidência científica ou empírica de dano uma ação pode ser evitada se se suspeita que possa provocar efeitos muito negativos ou irreversíveis) é um dos princípios mais conhecidos quando se analisam ações legais para frear ou mitigar a devastação de distintos ecossistemas. Contudo, há sentido em invocar esse princípio dentro do marco de uma determinada escala



espaço-temporal, definindo claramente o conceito de biodiversidade que se pretende conservar. Em síntese, o conceito de biodiversidade e as escalas espaço-temporais dão o contexto para estudar, analisar, utilizar e conservar a diversidade biológica. É papel dos cientistas e técnicos disponibilizarem o conhecimento acerca de alguns ecossistemas para aperfeiçoar a legislação vigente e as práticas de atividades econômicas com menor impacto sobre a biodiversidade (veja Metzger, 2010 para uma discussão da base científica por detrás da defesa do Código Florestal no Brasil).

## **QUAIS AS IMPLICAÇÕES DA MANEIRA DE CONCEITUAR A BIODIVERSIDADE E A ESCALA DE ANÁLISE PARA A CONSERVAÇÃO? ALGUMAS PROPOSTAS PARA PROMOVER A CONSERVAÇÃO**

Algumas das implicações já foram explicitadas anteriormente. Aqui faremos novas considerações e algumas propostas. É esperado que nas próximas décadas as mudanças globais de origem antrópica continuem se intensificando, principalmente as mudanças no regime de uso da terra, com grandes impactos ecológicos, econômicos, sociais e políticos (Saunders et al., 1991; Lindenmayer e Fisher, 2006; Didham et al., 2012). A partir de um ponto de vista de conservação, e considerando a necessidade de sustentar o funcionamento dos ecossistemas em seu papel de “prestadores de serviços fundamentais”, é necessário conhecer e valorizar os efeitos (econômicos, sociais, éticos) que são produzidos pelo desaparecimento dessas comunidades de organismos e grupos sociais marginalizados que são realocados como consequência da remoção das matas. As evidências disponíveis indicam que a perda de vegetação nativa (como matas e cerrados) promove a perda de muitas plantas e insetos polinizadores, diminui a produção de frutos e sementes, afeta as interações predador-presa, permite invasões por espécies exóticas, entre outras consequências negativas para a biodiversidade, o funcionamento dos sistemas e para o homem (Galetto et al., 2007; Aguilar et al., 2009).

Uma análise recente dos estudos realizados sobre fragmentação da paisagem na América Latina (Grez e Galetto, 2011), com implicações diretas para a conservação da biodiversidade, mostrou que quando se analisam os distintos níveis de organização, se observa uma clara tendência à concentração de artigos científicos que buscam padrões gerais sobre a composição ou estrutura em níveis altos de organização (por exemplo, paisagens e comunidades), enquanto que estudos que analisam processos funcionais se concentram em níveis baixos de organização (por exemplo, populações ou umas poucas espécies). Assim, é necessário promover o estudo de processos em níveis de organização de complexidade crescente (redes tróficas, comunidades, paisagens) para aprofundar o entendimento sobre

a dinâmica da biodiversidade, tentar uma abordagem preditiva que permita desenvolver ferramentas tecnológicas em ecologia e propor melhores estratégias de manejo e conservação em escalas espaço-temporais em médio e longo prazos.

É por isso que a biodiversidade deve ser descrita e monitorada com uma perspectiva hierárquica em seus distintos níveis de organização considerando, além disso, distintas escalas espaciais e temporais. Embora os esforços conservacionistas apoiando-se em uma ou poucas espécies carismáticas são louváveis, a falta de compreensão do conceito complexo e amplo da biodiversidade provê uma percepção distorcida do que realmente está em risco. Com uma visão estreita e enviesada da biodiversidade não é possível chegar a um nível adequado de entendimento ao público em geral, nem muito menos modificar atitudes e comportamentos que promovam a conservação.

Um dos principais objetivos para a conservação da biodiversidade deveria ser a possibilidade de promover o pensamento crítico em distintas instâncias educativas e assim motivar a reflexão relacionada com o bem estar de populações humanas com a conservação de outros seres vivos e da estrutura e funcionamento dos ecossistemas. A compreensão desse princípio básico provê argumentos suficientes para questionar a atual dicotomia entre conservação biológica e desenvolvimento econômico e mostra claramente que a conservação das matas e cerrados não é um capricho dos acadêmicos, mas uma necessidade extrema. Deve-se proteger a biodiversidade em distintos sistemas regionais, principalmente aqueles semidesérticos, as bacias de captação de água, as áreas inundáveis ou regiões com uso intensivo da terra por distintas atividades econômicas. Além disso, é necessário respeitar as comunidades de povos originais, camponeses e de pequenos agricultores, já que muitas vezes podemos aprender sobre o manejo de recursos que realizam e sobre o conhecimento de muitas espécies biológicas. Porém, vale lembrar que nem todo manejo se qualifica como adequado simplesmente por ser realizado por “populações tradicionais” (cuja definição é difícil e varia de acordo com a formação do estudioso) e há vários exemplos de atividades que, apesar de realizadas em pequena escala por essas populações humanas, são insustentáveis no atual cenário fundiário, populacional e de necessidades de bens de consumo dessas populações (Olmos et al., 2001).

Por outro lado deveriam ser enfatizadas ações políticas e legais que premiem e incentivem a conservação e restauração dos sistemas ecológicos mais que seguir enfatizando o castigo legal por devastá-los. Está claro que essa política punitiva não tem contribuído para preservar nossas matas, sendo necessário mudar o enfoque para a educação, conscientização e promoção do ordenamento territorial que contemple a conservação da biodiversidade. Governos, funcionários, produtores e cidadãos não têm tomado plena consciência da gravidade de continuar perdendo biodiversidade no desenvolvimento de atividades produtivas e as consequências

negativas tanto para poder seguir desenvolvendo atividades econômicas quanto para a inaceitável perda de ecossistemas completos em distintas regiões. Para tanto, é necessário assessorar os organismos governamentais para a implementação de novas leis que detenham o desmatamento, promovam a conservação da biodiversidade e realizem ações adequadas para a remediação ambiental que promovam a restauração da biodiversidade composicional, estrutural e funcional. Em particular, desenvolver ações cidadãs que mostrem ao governo a importância de desenvolver um marco legal tendendo ao ordenamento territorial com ampla participação de distintas organizações sociais, considerando a diversificação dos cultivos, a soberania alimentar e a conservação da biodiversidade.

Em síntese, para começar a analisar a perda da biodiversidade e as possibilidades de implementar práticas adequadas de conservação é fundamental ter em mente que o conceito de biodiversidade implica considerar que esta é complexa, multidimensional e portanto não pode ser simplificada, assim para entender e propor ações de manejo é necessária uma perspectiva multidisciplinar. Se considerarmos a intrincada rede de interações entre a biodiversidade e a diversidade cultural de cada região, é evidente que a atual crise da biodiversidade é também uma crise social e cultural. Em consequência, é cada vez mais urgente e necessário começar a considerar as múltiplas e complexas inter-relações entre os problemas ambientais, sociais e culturais para poder desenvolver um conhecimento adequado sobre a biodiversidade e as possibilidades de sua conservação. A conservação da biodiversidade requer um grande esforço por parte dos cientistas para incrementar o conhecimento disponível, mas também um compromisso ético e político que necessariamente demanda uma mudança na hierarquia de valores de nossa sociedade.

## **COMO USAR OS CONHECIMENTOS EM ECOLOGIA DE COMUNIDADES NO ATUAL CENÁRIO AMBIENTAL?**

Podemos definir comunidade biológica como um agrupamento interagente de populações de espécies que ocorrem juntas no espaço e no tempo. A Ecologia de Comunidades busca entender como os agrupamentos de espécies são distribuídos na natureza e as formas pelas quais tais agrupamentos podem ser influenciados pelo meio abiótico (Begon et al., 2007). A questão atual, do ponto de vista prático, é buscar aplicações dos estudos de ecologia de comunidades na conservação biológica.

Historicamente o ser humano foi retirado do cenário desses estudos, pois se julgava ser necessário entender todas essas complexas relações bióticas que ocorrem em uma comunidade biológica, assim como as relações das populações

com o ambiente físico, independente da interferência humana. Porém, é premente a inclusão dos seres humanos, dada a nossa grande capacidade de alteração das paisagens, característica da nossa espécie; afinal de contas a biologia da conservação é uma área de estudos que não tem sentido algum se não colocarmos a espécie humana, que é o grupo biológico mais interessado na manutenção das outras formas de vida além dela própria.

Nesse sentido, novas ideias surgiram relacionando a dinâmica das populações com as paisagens fragmentadas, o que conceitualmente foi definido como dinâmica de metapopulações (definido anteriormente). Nessa abordagem é incorporada a ideia de que existem várias populações distribuídas em manchas dentro de uma única paisagem e que, se essas manchas estiverem conectadas, essas populações, provavelmente, irão se manter em longo prazo a partir de processos de dispersão e recolonização. Além disso, assume-se que em determinados momentos pode ocorrer extinção local promovida por processos aleatórios. A conexão entre as manchas não basta, pois se as condições locais de uma dada mancha não permitirem o estabelecimento dos propágulos provenientes de outra mancha, esta garantia de possibilidade de dispersão de nada vai adiantar. Portanto, a manutenção da conexão deve estar atrelada a manutenção das condições locais para fixação e manutenção das populações.

Como definido anteriormente, a ecologia de comunidades lida com agrupamentos de populações (assembleias), portanto, não foi difícil, do ponto de vista teórico, definir metacomunidades, ou seja, um conjunto de comunidades ou assembleias dentro de uma paisagem, ligadas por processos de dispersão com a possibilidade de ocorrer extinção local. Ressalta-se a definição do ponto de vista teórico, pois do ponto de vista prático, tal definição tem grandes dificuldades de ser implementada.

A primeira dificuldade é a delimitação espacial de uma comunidade, visto que dificilmente existe um limite claro entre duas comunidades adjacentes. Outra dificuldade é provar as interações biológicas como estruturadoras dessas comunidades, principalmente a competição interespecífica. Uma vez que o que é positivo para uma espécie pode ser negativo para outra, é difícil detectar o que é “bom” para a comunidade em termos de conservação, reafirmando a necessidade de clareza em relação ao que se pretende conservar, em que escala etc. Além disso, podemos destacar a dificuldade em entender e quantificar como a dispersão se dá entre as manchas.

A ideia central aqui é introduzir um conceito que integra os estudos de ecologia de comunidades com a situação atual de fragmentação das paisagens e a possibilidade de medir as propriedades adjacentes à abordagem de metacomunidades e permitir o uso dessas informações por parte dos tomadores de decisão, sejam eles gestores ambientais ou cidadãos que atuam nas questões

ambientais. Aqui não serão tratadas questões teóricas embutidas na abordagem de metacomunidades. Na sequência é apresentado um conjunto de estratégias para quantificar e verificar a existência de tais metacomunidades, porém, como se trata de uma área de estudos recente, não se pretende abordar de forma exaustiva as técnicas de análise. A cada dia aparecem novidades principalmente após a incorporação da linguagem R (<http://www.r-project.org/>), por parte dos ecólogos, o que permitiu a colaboração e rápida disponibilização de métodos de análise (como o pacote VEGAN) desenvolvidos por estudiosos no mundo inteiro.

Estudos de comunidades biológicas, geralmente, envolvem a tomada de informações do número de indivíduos por espécie, assim como das variáveis ambientais em um dado local. Destacamos aqui a característica multivariada dessas informações, pois teremos várias espécies com suas abundâncias assim como diversas variáveis ambientais. Nesses trabalhos tomam-se essas variáveis em diversos locais, que, do ponto de vista aplicado, deveriam responder a uma pergunta, dentre elas: as comunidades de peixes de riachos sofrem efeito da urbanização no entorno do riacho? Ou então, as comunidades de plantas superiores sofrem efeito do tamanho do fragmento? Tais fatos devem ser ressaltados, pois a definição de uma questão antes da coleta de dados é fundamental para que ocorra uma resposta científica, ou seja, que possa ser analisada estatisticamente. Nesse momento é importante definir a unidade amostral adequada a essas perguntas em particular, ou seja, no caso dos peixes, precisaríamos de vários trechos de riachos em pelo menos duas situações: riachos próximos às áreas urbanas e riachos distantes de áreas urbanas. Para o caso das plantas, necessitaríamos da tomada de informações, no mínimo, em vários fragmentos grandes e pequenos.

Esses desenhos amostrais são clássicos em ecologia aplicada. A atualização desses desenhos se dá no sentido de que esses riachos ou mesmo os fragmentos estão interligados por processos de dispersão, o que dá uma característica dinâmica ao que anteriormente era tratado como pontual e fixo, pois não existem dúvidas de que os riachos estão conectados dentro de uma bacia hidrográfica, assim como os fragmentos que estão dentro de uma grande paisagem estão conectados via dispersão individual das espécies, ou mesmo por deslocamento de propágulos por espécies animais, sejam peixes, aves ou mamíferos.

Estas situações foram, durante muito tempo, a “pedra no sapato” dos ecólogos e foram tratadas marginalmente, pois sugerem a dependência entre as observações e isso, do ponto de vista estatístico, é muito ruim, pois fere uma das premissas básicas da Estatística, que é a independência das amostras. Nesse sentido, existem atualmente algumas alternativas para tratar essa característica dos dados biológicos. Por exemplo, a utilização de

modelos mistos que levam em consideração a tomada de informações em vários locais dentro de uma dada localidade, tratando esses locais como um efeito aleatório (riachos dentro de uma mesma sub-bacia, portanto, com certa dependência entre si) permitindo a verificação do efeito fixo (riachos urbanos e não urbanos) (Zuur et al., 2009).

A estratégia de análise anterior permite a inserção do contexto de locais dentro de uma paisagem, mas não trata da questão da dispersão, característica fundamental da abordagem de metacomunidades. Nesse sentido, podemos utilizar modelos de distribuição de abundância de espécies como é o caso da distribuição lognormal ou mesmo o modelo ZSM (*zero-sum model*) (Forster e Warton, 2007) que estima o nível de diversidade ( $\theta$ ) assim como a limitação na dispersão ( $m$ ), dentro de um contexto de inexistência de diferenças nas características de dispersão das espécies em locais similares do ponto de vista de disponibilidade de recursos, ou seja, trata-se de um modelo nulo que assume que todas as espécies são iguais em termos de habilidade competitiva e que a estrutura da comunidade é determinada predominantemente por processos regionais que controlam as taxas de ganho e perdas nas comunidades locais, como preconizado pelo modelo neutro de Hubbel (Leibold et al., 2004).

Na ferramenta anterior, não são levadas em consideração as variáveis ambientais, pois se trata de um modelo que utiliza dados de abundância das espécies nas distintas comunidades locais sem diferenças na disponibilidade de recursos. Nesse sentido, algumas ferramentas podem ser utilizadas para definir quais locais são mais parecidos do ponto de vista ambiental, ou seja, da disponibilidade de recursos. Como descrito anteriormente, nesses estudos tomaríamos nota de um conjunto de variáveis ambientais em vários locais e, caso não saibamos quais locais são mais similares do ponto de vista ambiental, poderemos aplicar uma análise multivariada, pois, partindo de uma organização na forma de planilha teremos várias linhas (os locais onde as amostras foram coletadas) e várias colunas (as diversas variáveis ambientais tomadas nos locais).

Tradicionalmente (Legendre e Legendre, 1988) podemos utilizar uma análise de componentes principais (PCA) que busca ordenar os pontos de amostragem a partir de relações lineares entre as variáveis, ou mesmo uma análise de coordenadas principais (PCoA) que utilizará uma medida de similaridade/distância como é o caso da distância euclidiana ou o índice de Bray-Curtis muito utilizado em estudos ecológicos. Destaca-se que essas análises estão sendo sugeridas como uma forma descritiva de buscar quais os pontos amostrais que mais se assemelham para daí verificar a existência de metacomunidades. Nesse sentido, no caso de existirem grupos previamente formados e se o objetivo

do estudo é avaliar a similaridade dentro desses grupos, pode-se utilizar uma análise não métrica multidimensional (NMDS). Geralmente, após esta análise exploratória, aplica-se uma análise de similaridade (ANOSIM) para verificar se esses grupos são estatisticamente distintos dentro do espaço multivariado. De forma alternativa pode-se utilizar uma análise de variância multivariada não paramétrica (Permanova) (Anderson, 2005) que busca responder probabilisticamente se os grupos de locais são mais similares dentro do que entre os agrupamentos prévios.

Após a definição desses locais ambientalmente similares pode-se buscar qual é a similaridade da comunidade biológica dentro desses grupos e caso isso fique evidente, pode-se seguir à verificação da dinâmica de metacomunidades conforme proposto por Forster e Warton (2007) que buscará evidenciar a necessidade da manutenção de conexão além da verificação das condições ambientais necessárias para a manutenção em longo prazo das espécies ali encontradas. Ressalta-se que esses métodos sugeridos buscam auxiliar na detecção de um padrão ecológico que, do ponto de vista aplicado, remete à pergunta inicialmente apresentada, ou seja, como a fragmentação ou qualquer outra ação antrópica altera a conexão e a persistência das populações.

O valor da abordagem de metacomunidades é consequência dos benefícios conservacionistas e ecológicos que oferece aos campos da ecologia de comunidades e biologia da conservação devido ao fato de que esses estudos exigem a obtenção de dados sobre as distribuições das populações biológicas, ou seja, é necessário obter dados de abundância das espécies, não somente a informação de presença ou ausência. Ao realizar uma análise de processos em múltiplas escalas espaciais torna-se necessária a tomada de dados locais, mas também sua contextualização regional. Além disso, essa abordagem necessita a tomada de dados ao longo do tempo, o que não é muito comum em estudos de ecologia de comunidades, pois geralmente os financiamentos estão relacionados com a busca de padrões espaciais (um grande número de locais) em detrimento dos projetos de longa duração que são fundamentais para o bom entendimento dos fenômenos ecológicos.

Avaliar a dinâmica espacial permite realçar ainda mais a importância da conectividade dos habitats, que pode ser o aspecto mais importante da biologia da conservação no futuro. Ao considerar a dinâmica e as respostas de múltiplas espécies ou grupos taxonômicos, essa abordagem permite que os pesquisadores e gestores usem os agrupamentos de populações, a fim de tirar conclusões mais realistas sobre as melhores maneiras de conservar os habitats e a conectividade entre os habitats. Com isso deve haver benefícios para um maior número de organismos e suas funções ecológicas. Essas funções dos organismos frequentemente têm implicações diretas nas atividades humanas.

## SERVIÇOS DO ECOSISTEMA

Nossa sobrevivência depende de muitos processos naturais, como a produção de oxigênio, a purificação da água, a polinização de cultivos por insetos silvestres ou introduzidos (como as abelhas do gênero *Apis*), a ciclagem de nutrientes ou o controle de pragas por insetos silvestres. Esses processos, em geral, não têm valor de mercado e são conhecidos como “serviços do ecossistema”. Um aspecto-chave da biologia da conservação é proteger estes serviços oferecidos pela fauna e flora silvestres. Durante as últimas décadas, a quantidade e o fluxo de água, dos nutrientes e de polinizadores, entre outros, foram alterados reduzindo a capacidade de muitos serviços do ecossistema para manter as atividades humanas (Foley et al., 2009; Schröter et al., 2010). Durante os últimos 50 anos, a ciência ecológica tem realizado um forte avanço em demonstrar que a biodiversidade, em geral, promove os serviços ecossistêmicos, incluindo sua estabilidade ao longo do tempo (Balvanera et al., 2006; Cardinale et al., 2012). Desse modo, a conservação da biodiversidade é importante em razão de nossa herança cultural e também para nossa sobrevivência.

## USO DO SOLO: DESAFIO PARA A HUMANIDADE

A produção agrícola precisa duplicar até 2050 para satisfazer as demandas de uma maior população humana, mudanças na dieta e maior produção de biocombustíveis (Bruinsma, 2009; Roberts, 2011; Foley et al., 2011). Esse aumento pode se dar pela maior superfície de cultivo ou rendimento (toneladas por hectare). A área cultivada atualmente cobre cerca de 12% da superfície terrestre livre de gelo (algo comparado ao tamanho da América do Sul), enquanto que as terras dedicadas ao gado e pastagens cerca de 38% (o tamanho da África) (FAOSTAT, 2011; Foley et al., 2011). As atividades agropecuárias já modificaram 70% das vegetações de campos, 50% de savanas, 45% das florestas decíduas temperadas e 27% das florestas tropicais (Foley et al., 2011). A agricultura segue em expansão e 80% das novas terras agrícolas estão substituindo florestas e reduzindo a biodiversidade (FAOSTAT, 2011). Essa perda de biodiversidade (riqueza e equabilidade), reduziria os serviços oferecidos pela vida silvestre à agricultura, ocasionando menor rendimento e maior demanda de superfície para compensá-lo (Garibaldi et al., 2011a; b). Dado que a superfície do planeta é limitada e boa parte das terras aptas já está em uso, coloca-se um desafio sério: aumentar o rendimento agrícola sustentavelmente (Royal Society of London, 2009). É importante, então, quantificar o efeito da biodiversidade sobre os serviços do ecossistema, tanto em escala global quanto regional. Além disso, os fatores que regulam a produção agrícola têm sido amplamente discutidos, mas pouca atenção tem sido prestada aos fatores que regulam a estabilidade interanual da produção



agrícola. Alta estabilidade na produção promove a segurança alimentar e a economia das pessoas e de países, mais ainda dado o aumento de eventos meteorológicos extremos em razão de mudanças climáticas (Schmidhuber e Tubiello 2007).

## **USO COMPARTILHADO VS. USO SEPARADO**

Atualmente existe um debate se a terra destinada para conservação ou para produção agrícola deveria ser compartilhada em uma mesma paisagem ou estabelecida em paisagens separadas (Tschardt et al., 2012). Por um lado, o uso compartilhado promoveria a biodiversidade e, portanto, a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola e os serviços que estes oferecem à sociedade. Por outro lado, algumas espécies silvestres necessitam de uma superfície de habitat nativo grande para manter populações viáveis (por exemplo, felinos), e, portanto, não é factível o uso compartilhado. Além disso, coloca-se que o uso agrícola intensivo em algumas áreas reduz as taxas de expansão da fronteira agrícola e assim libera mais terra para atividades de conservação. Já que em alguns ambientes seria mais eficiente o uso compartilhado e em outros o uso separado, não há dúvidas de que os ambientes destinados à produção agrícola devem ser sustentáveis, ou seja, devem ter a capacidade de produzir em curto e em longo prazos sem degradar os ambientes. Nesse sentido, a conservação da biodiversidade e seu papel na provisão de serviços do ecossistema deve ser considerada tanto em sítios destinados à conservação quanto em sítios destinados à produção (Tschardt et al., 2012). Desse modo o “ambiental” não pode ser separado do “agrícola”.

## **BIODIVERSIDADE E PRODUÇÃO AGRÍCOLA**

O rendimento do cultivo aumenta com a adição de recursos a uma taxa decrescente, ou seja, nutrientes, água ou pólen entre outros (Cassman, 1999; Garibaldi et al., 2011a). O rendimento tem aumentado durante os últimos 50 anos em conjunto à adição de recursos, mas existem evidências de uma desaceleração nesse crescimento (Cassman et al., 2010; Godfray et al., 2010; Foley et al., 2011), em parte por degradação ambiental (Lobell et al., 2011).

A flora e fauna nativas poderiam contribuir com serviços do ecossistema, e, portanto, com a produção agrícola, por meio de três aspectos: abundância; riqueza; e equabilidade. Em geral, maior abundância de uma espécie que provê serviços do ecossistema, como controle de pragas ou polinização, aumentaria a provisão de serviços do ecossistema a uma taxa decrescente até um máximo. Acima desse limite mais indivíduos não aumentariam ou inclusive diminuiriam os serviços

oferecidos (Garibaldi et al., 2011a). A um nível de abundância fixo, a riqueza de espécies promoveria a média e a estabilidade dos serviços do ecossistema (Winfree e Kremen, 2009) devido à complementaridade entre espécies (Hoehn et al., 2008; Blüthgen e Klein, 2011), facilitação (Greenleaf e Kremen, 2006), ou efeito de amostragem (Cardinale et al., 2006) entre outros mecanismos (Tscharntke et al., 2005). A complementaridade funcional ocorre quando as espécies provêm serviços em diferentes escalas temporais ou espaciais, assim como em diferentes eficácias (Blüthgen e Klein, 2011). A facilitação ocorre quando uma espécie aumenta o papel funcional de outra (Greenleaf e Kremen, 2006) enquanto que o efeito de amostragem ocorre quando maior riqueza aumenta a probabilidade de incluir uma espécie importante para a provisão de serviços (Tscharntke et al., 2005; Cardinale et al., 2006). Os efeitos da equabilidade na distribuição de abundâncias das espécies sobre os serviços ecossistêmicos são ainda pouco compreendidos (Hillebrand et al., 2008; Crowder et al., 2010). A equabilidade poderia aumentar a provisão de serviços ecossistêmicos porque maximiza o efeito da complementaridade entre as espécies (Crowder et al., 2010). Contudo, se o efeito de amostragem é o principal mecanismo pelo qual a riqueza aumenta os serviços ecossistêmicos, menor equabilidade poderia aumentar os serviços ecossistêmicos quando as espécies dominantes são as melhores provedoras de serviços (Hillebrand et al., 2008). Os efeitos interativos da abundância, riqueza e a equabilidade sobre a provisão de serviços ecossistêmicos são desconhecidos. Por exemplo, a influência da riqueza ou da equabilidade sobre os serviços ecossistêmicos poderia ser importante somente quando a abundância total de organismos é baixa.

## **MANEJO PARA PROMOVER A DIVERSIDADE E ABUNDÂNCIA DE POLINIZADORES SILVESTRES EM PAISAGENS AGRÍCOLAS**

Dado que a conservação da biodiversidade traz benefícios nas paisagens agrícolas, a próxima questão diz respeito às práticas de manejo para promover a biodiversidade. Aqui mencionamos algumas práticas, utilizando como exemplo os animais que visitam flores, predominantemente insetos, os quais provêm serviços de polinização mediante a entrega de uma quantidade e qualidade de pólen em cerca de 70% dos cultivos (Klein et al., 2007). Em escala local, a adição de recursos de nidificação (por exemplo, troncos de árvores ou áreas livres da ação de maquinário agrícola [Figura 2.2]) ou recursos florais, assim como o uso prudente de pesticidas e herbicidas, beneficia a diversidade e abundância de polinizadores silvestres. Na escala de paisagem, a conservação ou restauração de áreas naturais ou semi naturais e a promoção da heterogeneidade do uso da terra (uso em manchas) são práticas recomendadas (Tscharntke et al., 2005; Klein et al., 2007; Kremen et al., 2007). Por

exemplo, de Marco e Coelho (2004) observaram que fazendas na região de Viçosa, MG, que mantinham uma área de vegetação nativa sob a forma de reserva legal na propriedade apresentavam produtividade em cafezais cerca de 15% superior à de propriedades sem manchas de vegetação nativa. Essa diferença na produção de café era resultante da maior visitação de abelhas durante a floração dos cafezais, e essas abelhas eram provenientes justamente das áreas de vegetação nativa da propriedade (de Marco e Coelho, 2004). Algumas dessas recomendações implicam em um custo financeiro ou custo de oportunidade, mas os benefícios de implementar essas práticas transcendem os serviços de polinização e incluem a mitigação contra a erosão do solo, bem como melhoria do controle de pragas, ciclagem de nutrientes e provisão de água (Wratten et al., 2012).



**Figura 2.2** Exemplo de uma prática de aumento dos recursos de nidificação recentemente instalada nos laboratórios do INRA (Avignon, França) (imagem maior) e uma abelha que faz ninhos em cavidades (*Osmia* sp.) inspecionando uma das cavidades (imagem menor). Dispositivos simples como esses (pequenos orifícios perfurados em madeira ou pedaços de bambu) podem aumentar a disponibilidade de sítios de nidificação em áreas que já não dispõem de tais sítios em razão de extensa modificação pelo homem. Locais de nidificação são recursos críticos para manutenção de várias espécies de abelhas que são importantes polinizadoras de cultivos. Fotos de Lucas A. Garibaldi.

Nossa trajetória enquanto espécie dependerá de mantermos condições ambientais adequadas para nós e para as demais espécies do planeta. Por outro lado, deve-se ressaltar que independente do valor monetário ou utilitário que se pode assinalar ao papel de uma espécie ou processo natural para o homem, a conservação da natureza é antes de tudo um imperativo ético. A capacidade humana de modificação ambiental em escala global não encontra paralelo em nenhuma outra espécie na natureza. Assim, nossa responsabilidade sobre o destino de outras espécies é ainda maior. A abordagem de serviços ambientais sem dúvida é um aliado importante para a conservação de processos naturais no dia a dia, mas o valor intrínseco da natureza não pode ser medido apenas por cifrões. É necessária uma reflexão profunda dos valores relacionados com o modelo de produção e consumo para descobrir o que realmente necessitamos e sobre essa base definir o que queremos conservar, para quê e para quem. A ecologia tem muito a contribuir a partir dessas definições que envolvem toda a sociedade.