
Conceitos de espécie e suas implicações para a conservação

ALEXANDRE ALEIXO

Coordenação de Zoologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Brasil.
e-mail: aleixo@museu-goeldi.br

RESUMO

Estimativas de diferentes parâmetros da biodiversidade têm em comum a utilização de espécies como as unidades mais fundamentais de análise. Consequentemente, políticas de conservação em diferentes níveis geopolíticos se utilizam de espécies como os principais indicadores de vulnerabilidade, desde o nível populacional até a escala de biomas inteiros. Apesar deste papel central que espécies desempenham na biologia da conservação, somente agora os efeitos complicadores na disciplina do grau de incerteza inerente à delimitação de limites inter-específicos começam a ser discutidos mais amplamente. Dois destes principais fatores são: 1) a existência de diferentes conceitos de espécie na biologia, o que resulta em diferentes estimativas de parâmetros da biodiversidade, dependendo do critério adotado; e 2) a grande discrepância no nível de conhecimento taxonômico de diferentes grupos biológicos, fator que impede a aplicação de critérios de delimitação inter-específicos consistentes e unificadores, comprometendo cálculos de parâmetros gerais de biodiversidade não enviesados por grupos mais bem trabalhados taxonomicamente. Com relação ao primeiro fator, independentemente da discussão acadêmica sobre o tema, uma definição ao mesmo tempo objetiva, pragmática e cientificamente correta de Unidades Evolutivas Significativas (UES) a serem consideradas, tanto na biologia da conservação quanto por agências governamentais de proteção ambiental, é necessária e urgente. Essa definição deve ser amplamente discutida com as sociedades científicas botânicas, microbiológicas e zoológicas, que deverão ser estimuladas a publicar e atualizar periodicamente listas destas unidades evolutivas (não necessariamente coincidentes com listas de espécies) para os seus respectivos grupos biológicos de interesse. Com relação ao segundo fator, há uma necessidade urgente da promoção de estudos taxonômicos como ferramentas fundamentais para a biologia da conservação, com a finalidade de aumentar o volume de recursos tanto de agências governamentais quanto de organizações não governamentais para um programa nacional de pesquisa em taxonomia e formação de recursos humanos especializados nesta área.

ABSTRACT

Species consist the most fundamental unit in biodiversity analyzes. Therefore, conservation strategies spanning from the population level to the scale of entire biomes use species as indicators of vulnerability. Despite the paramount role played by species in conservation biology, the adverse

effects associated with the uncertainty in assigning species limits have only recently been widely acknowledged and debated in the discipline. Among those effects, two can be singled out because of their major importance: 1) the existence of different species concepts, which results in different biodiversity estimates depending on the concept used; and 2) the striking discrepancy in the level of taxonomic knowledge available for different biological groups, which prevents the calculation of unbiased general biodiversity parameters across taxonomic boundaries. Regarding the first main effect, there is an urgent need for the definition of Evolutionary Significant Units (ESU) that are objective, operational, and scientifically correct at the same time, independently of the academic debate over species concepts; those ESU will be used in conservation biology and environmental law-enforcement, and should be agreed on by taxonomic committees put together by the different botanical, microbiological, and zoological professional societies, which should be stimulated to publish and continuously update check-lists of accepted ESU, not necessarily coincident with species limits. As for the second main effect, taxonomic research and training across different biological groups should be widely promoted through improved funding from non-governmental organizations (NGO's) as well as government agencies towards the goal of a comprehensive national research program in taxonomy.

INCERTEZA NA DELIMITAÇÃO DE ESPÉCIES: EFEITOS SOBRE A BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

Apesar do papel central que espécies desempenham dentro de todas as disciplinas da biologia, incluindo a biologia da conservação, a definição técnica em torno deste termo é paradoxalmente ainda controversa entre os biólogos (Sites & Marshall, 2004; Hey *et al.*, 2003). **Contribui bastante para isto a natureza temporal contínua do processo de especiação**, que em muitas circunstâncias dificulta ou mesmo impede a delimitação de unidades totalmente discretas a serem rotuladas como espécies, independentemente do critério adotado (Queiroz, 2005).

Atualmente, o debate em torno de conceitos alternativos de espécie coloca em lados opostos o Conceito Biológico de Espécie (daqui em diante abreviado CBE) e o Conceito Filogenético de Espécie (CFE), ainda que uma alternativa de unificá-los num único conceito – o Conceito Filético Geral de Espécie – tenha sido proposta mais recentemente (Queiroz, 1998, 2005; Sites & Marshall, 2004 – para uma revisão sobre o assunto em Português veja Aleixo, 2007). A diferença principal entre o CBE e o CFE diz respeito ao tratamento de populações diferenciadas e evolutivamente independentes, mas proximamente relacionadas, que no CFE são sempre consideradas espécies, ao passo que no CBE isso vai depender do grau de isolamento reprodutivo entre elas (Aleixo, 2007). **Tipicamente, populações diferenciadas e com um histórico de evolução independente (ainda que recente) de outras populações proximamente**

relacionadas filogeneticamente são automaticamente consideradas espécies distintas pelo CFE, enquanto o CBE as trata apenas como subespécies integrantes de uma única espécie politípica que congrega várias populações diferenciadas uma das outras em maior ou menor grau, mas entre as quais existe fluxo gênico efetivo ou potencial (Aleixo, 2007).

Tanto o CBE quanto o CFE já foram defendidos como representando as melhores alternativas de conceito de espécie no contexto da biologia da conservação (Collar, 1997; Peterson & Navarro-Singüenza, 1999; Meijaard & Nijman, 2003; Zink, 1997, 2004; Mace, 2004). Paralelamente a esse debate, foi desenvolvido o conceito de Unidades Evolutivas Significativas (abreviado UES), que representam espécies ou segmentos populacionais de espécies cuja preservação maximiza o potencial de sucesso evolutivo futuro destas unidades taxonômicas (Hey *et al.*, 2003). Ao contrário da discussão acadêmica em torno de conceitos alternativos de espécie, que ainda hoje se encontra bastante polarizada (Aleixo, 2007), um consenso em torno da utilidade das UES em biologia da conservação parece estar emergindo, onde elas são interpretadas como os verdadeiros alvos de ações conservacionistas que coincidem ou não com limites inter-específicos reconhecidos (Crandall *et al.*, 2000; Hey *et al.*, 2003; Mace, 2004).

Ainda assim, o debate acadêmico em torno de conceitos alternativos de espécie continua a ter uma grande importância na biologia da conservação, particularmente na fase de diagnose de espécies vulneráveis, que é sempre feita de modo comparativo dentro de um mesmo

grupo de organismos necessitando, portanto, de listas de espécies para contextos geográficos diversos, desde o nível local até o planetário (Mace, 2004). Essa etapa do ciclo de atividades da biologia da conservação, que precede àquela das ações propriamente ditas, depende completamente do trabalho de taxonomistas que são os responsáveis por definirem limites inter-específicos e produzirem listas de espécies e, em última análise, utilizarem conceitos alternativos de espécie com o CBE e o CFE (Hey *et al.*, 2003; Mace, 2004). Uma revisão com base em 89 estudos taxonômicos e evolutivos relativamente recentes (1990 - 2002) indicou que quando um mesmo conjunto de organismos é **delimitado a nível específico alternativamente pelo CBE ou CFE, este último conceito reconhece em média 48,7% mais espécies que o primeiro, conseqüentemente, ocasionando um aumento também do número de espécies consideradas vulneráveis em função de distribuições geográficas e tamanhos populacionais mais reduzidos** (Agapow *et al.*, 2004). Outros estudos mostraram que a alocação de áreas prioritárias para a preservação de espécies de especial interesse para a conservação também pode sofrer alterações bastante significativas em função do conceito de espécie adotado (Peterson & Navarro-Singüenza, 1999; Bates & Demos, 2001; Meijaard & Nijman, 2003). No México, o CBE reconhece 101 espécies de aves endêmicas, concentradas nas regiões montanhosas do sul e oeste do país, enquanto o CFE reconhece mais que o dobro de espécies nesta mesma categoria (249), por sua vez distribuídas principalmente nas porções oeste; essa discrepância leva à soluções em grande parte conflitantes para a maximização da conservação de espécies de aves endêmicas mexicanas, dependendo do conceito de espécie adotado (Peterson & Navarro-Singüenza, 1999; Navarro-Singüenza & Peterson, 2004).

A marcada tendência ao reconhecimento de um número maior de espécies pelo CFE em relação ao CBE foi batizada com o termo “inflação taxonômica” (Alroy, 2003; Isaac *et al.*, 2004), tendo como seus supostos efeitos deletérios, além do aumento do número de espécies consideradas vulneráveis e ameaçadas, já discutido anteriormente, as seguintes conseqüências (Agapow *et al.*, 2004):

- 1) Necessidade de aumento significativo do montante dos recursos necessários para a preservação do número adicional de espécies vulneráveis reconhecido pelo CFE, com um conseqüente ônus político associado;
- 2) A inviabilidade de se comparar listas de espécies ameaçadas entre períodos distintos, pois ao invés de refletirem tendências de aumento ou diminuição de vulnerabilidade, as mesmas refletirão apenas um

acúmulo progressivo de espécies em função de revisões taxonômicas recentes;

- 3) Um aumento exacerbado do número de espécies (inclusive as ameaçadas) pode ocasionar uma banalização do termo “espécie ameaçada” e uma conseqüente apatia por parte da opinião pública diante deste importante conceito;
- 4) Uma perda geral da credibilidade na metodologia e estratégias utilizadas na biologia conservação, com um conseqüente aprofundamento do questionamento sobre a eficiência da disciplina em atingir os objetivos a que se propõe.

Por outro lado, o uso prolongado do CBE na biologia, que somente agora começa a ser desafiado de modo mais intenso, também pode levar a conclusões equivocadas e com graves conseqüências do ponto de vista da conservação. Talvez o principal problema do CBE neste aspecto é que ele admite a existência de espécies bastante inclusivas em termos evolutivos, cujas populações podem ser tão distintas em relação a caracteres comportamentais, ecológicos, morfológicos e genéticos que as mesmas podem apresentar níveis bastante distintos de vulnerabilidade, causados por fatores igualmente distintos, que podem não ser diagnosticados quando elas são tratadas como componentes de uma única espécie (Zink, 1997, 2004; Zink *et al.*, 2000). Posto de uma outra maneira: uma mesma espécie biológica pode ter uma ou mais UES que não são diagnosticadas quando a unidade de análise é a espécie politípica ou, ainda, todas são consideradas uma entidade uniforme em bancos de dados com informações biológicas utilizados amplamente na definição de políticas de conservação em vários níveis geopolíticos (e.g., Oren, 2001).

Um contraponto frequentemente levantado em relação aos problemas do CBE mencionados acima é que o uso da categoria subespécie por este conceito corrige em grande parte essas deficiências, pois subespécies automaticamente chamam a atenção para soluções de conservação específicas para populações diferenciadas (e reconhecida como subespécie) de uma determinada espécie politípica (Mace, 2004; Haig *et al.*, 2006). Mace (2004) foi ainda mais longe ao argumentar que no momento da diagnose comparativa de espécies vulneráveis, é indiferente para uma população diferenciada de gorila, por exemplo, aparecer numa lista de táxons ameaçados como espécie filogenética ou subespécie biológica; segundo Mace (2004), a alternativa de listá-la como espécie à parte (neste caso seguindo o CFE) é redundante em relação a listar toda a espécie biológica gorila, aí incluindo automaticamente todas as suas subespécies. Segundo ela e, como argumentado acima,

existem vários inconvenientes em se “inflacionar” listas de espécies ameaçadas simplesmente elevando-se ao nível de espécie táxons de animais carismáticos antes considerados subespécies sob a argumentação que isso será benéfico para sua conservação (Mace, 2004). Independentemente de entrar no mérito dos supostos inconvenientes levantados por ela e Agapow *et al.* (2004) com relação à “inflação taxonômica” de listas de espécies ameaçadas, é indiscutível que o problema da conservação de populações diferenciadas (ou UES) depende em última análise do reconhecimento destas como entidades taxonômicas discretas, sejam elas denominadas de espécies ou subespécies. No entanto, se já existe considerável controvérsia em relação ao uso do termo espécie, e listagens que apenas incluem essa categoria já são de compilação dispendiosa em vários aspectos e circunstâncias, o problema é muito maior quando a categoria subespécie é considerada, especialmente naqueles grupos onde o CBE teve historicamente uma maior influência como a ornitologia e mastozoologia (Barrowclough & Flesness, 1996; Groves, 2001; Zink, 2004; Aleixo 2007). Neste sentido, já existe uma proposta para a compilação de listas de subespécies válidas nos diversos grupos biológicos para que a diagnose de UES vulneráveis se torne um processo mais direto e menos dependente do debate em torno de conceitos de espécie (Haig *et al.*, 2006). No entanto, é possível prever que esta proposta certamente encontrará os mais diversos entraves para sua implantação por um motivo principal bastante simples: ela simplesmente transfere para uma categoria taxonômica imediatamente inferior à de espécie a necessidade de revisão ampla da validade dos táxons descritos até hoje, o que constitui de todo modo um processo bastante lento em razão principalmente da carência de pessoal qualificado e recursos financeiros (Mace, 2004; Remsen, 2005).

Desse modo, se as unidades de trabalho da biologia da conservação são as UES, então, tanto espécies filogenéticas quanto subespécies válidas servem como entidades taxonômicas úteis nos contextos de diagnose de espécies vulneráveis e planejamento quanto de ação na biologia da conservação. Os argumentos levantados por Mace (2004) e Isaac *et al.* (2004) sobre a maior adequação do CBE com relação às atividades de planejamento na biologia da conservação (devido a sua suposta maior estabilidade) e de subespécies ou do CFE nas atividades de ação / planos de manejo estão em forte contradição com o consenso emergente na disciplina sobre a utilização das UES como unidades de análise (Crandall *et al.*, 2000; Hey *et al.*, 2003). O maior problema com o raciocínio destes autores é fazer o elo entre as UES e taxonomia apenas durante as ações

diretas da conservação, mas não durante a fase de planejamento e diagnose de vulnerabilidade. Ainda que estes sejam momentos bastante distintos no ciclo de atividades da biologia da conservação, a separação entre eles pode levar, por exemplo, à não diagnose de UES ameaçadas dentro de espécies politípicas de ampla distribuição, que no momento do planejamento necessariamente são tratadas como uma única entidade e têm seus efetivos populacionais e áreas de distribuição calculados em conjunto. Seguindo a lógica defendida por estes autores, essas UES apenas seriam consideradas na etapa de planejamento e diagnose de vulnerabilidade se os seus parâmetros populacionais e áreas de distribuição somados (correspondentes ao de toda a espécie biológica) fossem reduzidos o suficiente para se encaixarem nos critérios de ameaça rotineiramente utilizados em compilações de listas de espécies ameaçadas (e.g., IUCN 2007). Portanto, se o grau de vulnerabilidade de UES não é avaliado logo na etapa de planejamento da conservação, é possível que quando uma determinada espécie biológica venha a ser listada como ameaçada, o estado de conservação de pelo menos algumas de suas UES já esteja irreversivelmente comprometido, o que não aconteceria caso as mesmas fossem monitoradas separadamente antes de qualquer ação conservacionista. Consequentemente, o poder de detecção de UES vulneráveis por parte do CBE é bem inferior àquele do CFE, ou, para dissociar esta conclusão do debate em torno de conceitos de espécie, daquele onde subespécies funcionais (equivalente a espécies filogenéticas) são consideradas desde o início na etapa de planejamento em biologia da conservação.

Um exemplo prático pode ser dado com relação à lista mais recente de espécies ameaçadas do Brasil; nela, ainda no momento do planejamento e diagnose de táxons ameaçados foram avaliadas subespécies consideradas significativamente diferenciadas, particularmente naqueles grupos onde elas são mais numerosas como em lepidópteros, aves e mamíferos (IBAMA, 2003). Um dos resultados mais importantes foi a constatação de que no setor mais devastado da Amazônia brasileira (o denominado Centro de Endemismo Belém, ver Silva *et al.*, 2005), 9 subespécies de aves correspondem a UES correndo um sério risco de extinção (IBAMA, 2003), o que não teria sido revelado caso a unidade de análise tivesse sido a espécie biológica como um todo incluindo estes táxons, uma vez que em todos os casos, elas são amplamente distribuídas e com grandes efetivos populacionais em toda a Amazônia. A concentração de tantos táxons (correspondentes a UES) endêmicos nesta região da Amazônia chamou a atenção para o fato de que ela é uma das menos protegidas por unidades de

conservação em todo o bioma, tornando-a automaticamente um alvo prioritário para a implantação de novas unidades (Silva *et al.*, 2005).

Conceitualmente, ao se focar em UES em biologia da conservação, é inevitável a necessidade de se lidar com “inflação taxonômica”, seja na “roupagem” de espécies ou subespécies. Consequentemente, a maior inconsistência no raciocínio de Isaac *et al.*, (2004) e Mace (2004) é, ao mesmo tempo, combater a “inflação taxonômica”, mas defender o uso de populações / subespécies / espécies filogenéticas como norteadores de ações e manejo em biologia da conservação, justamente na etapa onde mais enfaticamente a maior parte dos supostos inconvenientes do termo listados por estes mesmos autores se aplicam (ver acima), haja vista o fato que as atividades de planejamento tendem a ocorrer bem mais longe do grande público do que etapa de implantação das ações.

Portanto, a base do problema da incerteza taxonômica em biologia da conservação reside na demanda urgente da disciplina por UES definidas consistentemente por uma taxonomia que reflita a história evolutiva dos diferentes grupos biológicos, independentemente da hierarquia. No entanto, conceitos de espécie que mais se aproximam da definição de UES claramente são mais úteis no contexto da biologia da conservação do que outros, conforme discutido abaixo.

UMA PROPOSTA DE UNIFICAÇÃO ENTRE CONCEITOS DE ESPÉCIE E SUA RELAÇÃO COM UNIDADES EVOLUTIVAS SIGNIFICATIVAS (UES)

Uma proposta recente de integração entre o CBE, CFE e outros conceitos de espécie propostos na biologia (de Queiroz, 1998, 2005) incorpora de modo bastante consistente o espectro de definições já propostas para UES, consideradas tão importantes em biologia da conservação (Crandall *et al.*, 2000; Pearman, 2001; Hey *et al.*, 2003). Uma distinção terminológica importante introduzida por de Queiroz (1998) é aquela entre “conceito” e “critério” de espécie. Segundo Queiroz (1998), todos os “conceitos” de espécie propostos até então são variações de um único conceito de espécie, uma vez que todos eles explícita ou implicitamente consideram espécies segmentos de linhagens evolutivas de nível populacional (não no sentido de uma comunidade reprodutiva como entende o CBE, mas apenas no sentido de um nível de organização evolutiva imediatamente acima do indivíduo). As diferenças conceituais que marcam as distinções entre “conceitos” de espécie, como o CBE e CFE, dizem respeito apenas à ênfase que cada um

deles coloca em diferentes fenômenos que acompanham o processo de cladogênese, não consistindo, contudo, num conflito com relação ao tipo de entidade ao qual eles se referem como “espécie”. Portanto, ao invés de “conceitos” de espécie, Queiroz (1998) advoga que o CBE e CFE, por exemplo, constituem unicamente critérios distintos e alternativos para a definição de espécie dentro de um mesmo conceito unificado de espécie, batizado por ele de Conceito Filético Geral de Espécie (tradução livre de General Lineage Species Concept), abreviado daqui em diante CFGE. A chave para entender a nova terminologia proposta por Queiroz (1998) é considerar o extenso componente temporal do processo de cladogênese, que no nível micro-evolutivo se inicia com a diferenciação (num primeiro momento ainda incipiente) entre duas populações irmãs, culminando com a produção de espécies cujos genomas não mais possuem a capacidade de se misturar, passando por pelo menos quatro estágios principais (Aleixo, 2007). Portanto, critérios de espécies como o CBE e CFE simplesmente procuram “domesticar” o processo de cladogênese, compartimentalizando-o com a finalidade operacional de definir limites entre linhagens de acordo com uma determinada interpretação de limites inter-específicos. Assim, em função da natureza temporal contínua do processo de cladogênese, a definição de limites inter-específicos será sempre arbitrária, independentemente do critério adotado.

Ao admitir explicitamente a arbitrariedade no processo de delimitação de espécies, o CFGE as compartimentaliza dentro do processo maior de cladogênese como metapopulações (populações diferenciadas) de organismos com uma trajetória evolutiva independente de outras metapopulações (Queiroz 1998, 2005), em clara concordância com o cerne do conceito de UES (Moritz, 1994; Crandall *et al.*, 2000; Pearman, 2001; Hey *et al.*, 2003). Assim, o CFGE tem essencialmente dois critérios claros e objetivos para considerar uma determinada população como espécie independente (Queiroz, 1998): diagnose em relação a outras populações (preenchendo a condição de metapopulação) e monofilia em relação a outras populações (preenchendo o critério de evolução independente). Indiscutivelmente, o CFGE pode ser considerado uma visão “filogenética” de espécie (ver Isaac *et al.*, 2004), se diferindo, no entanto, das definições mais utilizadas do CFE pelo fato de empregar na sua delimitação de espécie apenas aqueles caracteres que fazem a diagnose ao nível metapopulacional, ou seja, num nível logo acima do indivíduo, conferindo um rigor conceitual ao CFGE num ponto onde existe grande ambiguidade no CFE (Johnson *et al.*, 1999; Aleixo, 2007).

O entendimento por parte de biólogos evolucionistas e conservacionistas que a diversidade filética (metapopulacional) é a célula de preservação mais básica em biologia da conservação, implica que os conceitos de espécie mais úteis nesta disciplina serão justamente aqueles que resgatam mais prontamente a equivalência entre UES e “espécies”, como o CFE ou a “segunda geração” de conceitos filogenéticos como o CFGE. É verdade que o CBE também pode acomodar a perspectiva metapopulacional de conservação através da categoria taxonômica subespécie, mas é preciso destacar três motivos principais pelos quais a adoção do CBE e suas subespécies não convém no contexto da biologia da conservação:

- 1) O tratamento de metapopulações em trajetórias evolutivas independentes (que constituem automaticamente UES) como subespécies, confunde ou mesmo minimiza perante a opinião pública sua importância como alvos para a conservação, o que não aconteceria caso as mesmas fossem tratadas explicitamente como espécies distintas (Zink, 2004). Indiscutivelmente, o apelo heurístico da palavra espécie é bem maior para a esmagadora maioria da população humana (e em especial os tomadores de decisão) do que subespécie, uma unidade taxonômica até agora considerada de baixa prioridade para a inclusão em bancos de dados utilizados no planejamento da conservação (Haiget *et al.*, 2006), em grande parte também devido à imprecisão quanto à sua definição (Aleixo, 2007).
- 2) Como já demonstrado acima e ao contrário do que já foi proposto explicitamente (Isaac *et al.*, 2004; Mace, 2004), espécies biológicas politípicas (geralmente bastante inclusivas evolutivamente) não constituem a melhor unidade de análise na etapa do planejamento da conservação se, na fase imediatamente seguinte, se pretende focar as ações no nível metapopulacional (em UES). O grande risco neste caso é não detectar metapopulações ameaçadas de espécies politípicas de ampla distribuição e grandes efetivos populacionais, que têm seu estado de ameaça “mascarado” pelo conjunto de metapopulações (ou subespécies) que integram a espécie biológica como um todo. Uma vez não identificadas na etapa de planejamento, estas metapopulações (ou UES) não serão obviamente alvos de ações conservacionistas em tempo hábil, num claro prejuízo para a reversão do seu estado de ameaça. Uma alternativa seria considerar subespécies separadas ao invés de espécies politípicas como as unidades de análise (ver Haig *et al.*, 2006), mas como já mencionado acima, essa proposta é de difícil implantação e depende de amplas revisões taxonômicas

equivalentes em escopo àquelas necessárias para se diagnosticar espécies filogenéticas dentro de espécies politípicas.

- 3) O CBE (com suas espécies politípicas) é na verdade um conceito utilizado sistematicamente apenas para uma minoria dos grupos taxonômicos, notadamente aves e mamíferos (Hershkovitz, 1977; Watson, 2005; Aleixo, 2007). Em outros grupos de vertebrados como anfíbios, peixes e répteis, o conceito de subespécie é utilizado de forma bastante esporádica, o mesmo acontecendo com invertebrados (exceto borboletas) e plantas (Barrowclough & Flesness, 1996; Zink, 1997; Watson, 2005; Haig *et al.*, 2006). Portanto, num contexto de revisão taxonômica ampla com vistas a diagnosticar espécies ou subespécies válidas a serem consideradas como UES, é muito mais lógico a não utilização do CBE e de espécies politípicas, sendo mais justificável a adoção dos conceitos filogenéticos (*sensu* Isaac *et al.*, 2004) que são, ao mesmo tempo, consistentes com a definição de espécies na maior parte dos grupos biológicos e com o conceito de UES (Zink, 1997; Hey *et al.*, 2003; Watson, 2005; Aleixo 2007).

Sem dúvida alguma, a aparente estabilidade de espécies biológicas, aspecto este tão propalado dentro da biologia da conservação por alguns autores (Isaac *et al.*, 2004; Mace, 2004), é na verdade apenas aparente e explicada pelo fato dos principais grupos nos quais o CBE foi aplicado (aves e mamíferos) serem, ao mesmo tempo, os mais bem estudados taxonomicamente, os historicamente mais ligados ao estudo de processos evolutivos e os mais “carismáticos” junto ao grande público, exercendo, portanto, uma influência desproporcional na biologia como um todo. É importante lembrar que mesmo nestes grupos, antes da síntese evolutiva (Mayr, 1942), boa parte dos táxons hoje considerados subespécies eram tratados como espécies; posteriormente, estes mesmos táxons foram agrupados dentro de espécies biológicas criadas através de revisões taxonômicas sumárias, na grande maioria das vezes sem qualquer tipo de análise formal de caracteres, particularmente para grupos das regiões tropicais (Aleixo, 2007). Atualmente, ornitólogos e mastozoólogos estão gastando um tempo considerável revisando limites inter-específicos de espécies biológicas politípicas delimitadas de uma maneira tão precária, na maior parte das vezes chegando à conclusão que “novas” espécies devem ser desmembradas daquelas espécies biológicas politípicas “estáveis” (delimitadas há mais de 30 ou 40 anos), mesmo quando o próprio CBE é utilizado à luz de uma análise formal de caracteres (Groves, 2001; Aleixo, 2007). Ou seja, parte significativa da “inflação

taxonômica” alardeada por vários autores (Alroy, 2003; Isaac *et al.*, 2004; Mace, 2004) independe da questão do conceito de espécie adotado, estando intimamente relacionada à revisão de espécies politípicas através de tecnologias e um rigor científico não empregados quando elas foram delimitadas entre as décadas de 1940 e 1980 (Aleixo, 2007).

Um dos principais avanços do CFGE foi explicitamente admitir e propalar o caráter subjetivo da atribuição de limites específicos inerente ao processo de revisão taxonômica. Neste sentido, espécies passaram a não ter uma definição absoluta, podendo ser delimitadas de modo alternativo ao longo do processo de cladogênese, dependendo da pergunta ou enfoque científico de interesse (Queiroz, 2005). Assim, o foco da biologia da conservação em UES demanda uma definição prática de espécies com o objetivo de maximizar o reconhecimento e legitimidade taxonômica destes alvos, o que é plenamente consistente com a definição arbitrária de espécies fornecida pelo CFGE: metapopulações diferenciadas em trajetórias evolutivas distintas (Queiroz, 2005; Aleixo, 2007). Neste sentido, levando em consideração os avanços conceituais introduzidos pelo CFGE, uma agenda de trabalho comum entre taxonomistas e conservacionistas é proposta abaixo.

TAXONOMIA E BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO: PROPOSTA DE UMA AGENDA DE TRABALHO

O entendimento que a biologia da conservação depende da taxonomia para uma definição ao mesmo tempo objetiva, pragmática e cientificamente correta de UES abre um grande campo de interação entre estas disciplinas. A nova perspectiva de integração de diferentes conceitos de espécie oferecida pelo CFGE abre uma possibilidade de solução para o até então intenso e controverso debate sobre conceitos de espécie (Sites & Marshall, 2004; Queiroz, 2005); ao mesmo tempo, biólogos conservacionistas chegam a um consenso sobre a utilidade de UES e como elas devem ser definidas em termos evolutivos (Hey *et al.*, 2003). Uma grande oportunidade de integração entre taxonomia e biologia da conservação surge da necessidade de revisão ampla da validade de uma grande quantidade de táxons descritos até hoje, algo que deve ser alcançado para o reconhecimento efetivo de UES reais, evitando-se a possibilidade de que elas representem puros artefatos taxonômicos. Neste sentido, como já argumentado anteriormente, pouco importa se UES sejam equivalentes a subespécies válidas ou espécies filogenéticas; o fato é que o foco

essencial deve ser na validade taxonômica de entidades correspondentes a UES.

Biólogos conservacionistas e agências governamentais de proteção ambiental necessitam de listas consensuais de táxons válidos compiladas por especialistas (seja na denominação de espécies ou subespécies, ambas equivalentes a UES) para o planejamento e execução de políticas de conservação (Haig *et al.*, 2006), o que valoriza sobremaneira o papel do taxonomista nestas atividades. Por outro lado, essa demanda exige dos taxonomistas uma profunda reflexão sobre a natureza inerentemente arbitrária do processo de delimitação de espécies e, portanto, também sobre a necessidade de se adotar critérios explícitos para este fim consistentes com o enfoque conservacionista de espécie. Neste sentido, a demanda conservacionista pode ser um estímulo sem precedentes para a concretização da hercúlea tarefa de revisar amplamente a validade de diversos táxons nos diferentes grupos biológicos a partir de critérios explícitos e divulgação destes resultados num formato padronizado.

Ao curto prazo, uma iniciativa extremamente importante é a consolidação de listas taxonômicas consensuais para os diferentes grupos biológicos ao nível nacional. Estas listas, além de consistirem num grande avanço por sintetizarem a informação sobre a diversidade conhecida de um determinado grupo de organismos no país, oferecem um ponto de partida para a diagnose de problemas taxonômicos ainda não abordados, permitindo inclusive traçar uma estratégia e o desenvolvimento de metas para o preenchimento destas lacunas. As diversas sociedades científicas nacionais especializadas em grupos zoológicos, botânicos e microbiológicos têm um papel fundamental nesta iniciativa, pois elas congregam profissionais com a especialidade necessária e uma massa crítica para a discussão destes consensos taxonômicos.

Um exemplo já em avançado processo de consolidação é a Lista de Aves do Brasil, publicada pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO) da Sociedade Brasileira de Ornitologia (SBO) desde 2005 (CBRO 2007). Mais recentemente, os critérios de delimitação inter-específica adotados pelo comitê na consolidação da lista foram apresentados por Aleixo (2007); nesta publicação também foram discutidos critérios operacionais para aplicação do “conceito” de espécie escolhido (neste caso o CFGE), com a consequente discussão de níveis mínimos de diagnose e modos de verificação da monofilia recíproca entre populações nos diferentes contextos geográficos do processo de cladogênese (Aleixo, 2007). Na sua presente versão, a Lista de Aves do Brasil está

ainda longe de ter todas suas espécies consistentes com os limites inter-específicos propostos pelo CFGE e com o conceito de UES (CBRO 2007), mas as fundações para que isso aconteça no futuro já existem. O processo é necessariamente lento porque os critérios só são aplicados a casos já estudados e publicados em periódicos científicos, ou seja, ele depende completamente do fluxo de revisões taxonômicas publicadas, que podem demorar vários anos para se concretizar. Alternativas mais expeditas como aquela adotada para aves do México, por exemplo, fornecem resultados mais imediatos (Navarro-Singüenza & Peterson, 2004), mas esbarram na questão do rigor metodológico (Remsen, 2005). Ou seja, não existe uma solução fácil e o processo de integração entre taxonomia e conservação deve necessariamente ser encarado como um investimento de longo prazo, onde o processo de aprimoramento progressivo das listas só poderá ocorrer se a agenda de trabalho conjunta tiver início desde já. A idéia que existem definições de espécie (como o CBE) que contém um menor nível de incerteza taxonômica e que, portanto, são mais estáveis e úteis para a sua utilização pela biologia da conservação no planejamento de longo prazo (ver Isaac *et al.*, 2004; Mace, 2004) é completamente ilusória, como já discutido anteriormente. Incerteza taxonômica só pode ser removida com revisões taxonômicas, que por sua vez devem ser orientadas por critérios explícitos acordados por especialistas.

Assim, uma agenda de trabalho poderia ser iniciada com a consolidação de listas de táxons válidos por sociedades zoológicas, botânicas e microbiológicas brasileiras para seus respectivos grupos biológicos de interesse, nos moldes do que já foi feito para aves pelo CBRO/SBO (Aleixo, 2007; CBRO, 2007). O conceito de espécie utilizado por cada uma destas sociedades pode variar, embora se sugira a utilização do CFGE em razão das suas várias vantagens já discutidas ao longo deste artigo. No entanto, o essencial é que, caso se opte alternativamente pela adoção do CBE, também sejam compiladas listas consensuais de subespécies válidas ou funcionais (*sensu* Barrowclough, 1982), ou seja, cuja validade taxonômica possa ser comprovada ou, no mínimo, razoavelmente assegurada pela comunidade de especialistas (Haig *et al.*, 2006). O foco do trabalho será listar entidades taxonômicas válidas que possam ser imediatamente interpretadas como UES e, portanto, utilizadas prontamente nas etapas de planejamento e ações em prol da conservação da biodiversidade por parte da sociedade civil organizada e entidades governamentais (Hey *et al.*, 2003).

Num segundo momento, a agenda teria que ser ampliada para o refinamento contínuo das listas produzidas

através da incorporação periódica dos resultados de revisões taxonômicas e também da geração de demandas por estudos taxonômicos considerados prioritários, ou seja, focados naqueles casos mais controversos ou mal resolvidos. Neste momento, a participação da comunidade de especialistas representada pelas sociedades científicas também será essencial.

Para a concretização destas metas bastante ambiciosas, é necessário antes de tudo que tanto organizações não-governamentais (ONGs) conservacionistas quanto agências governamentais de proteção ambiental e fomento científico efetivamente compreendam a importância chave desempenhada pela taxonomia na biologia da conservação e estejam dispostas a investir recursos (cobrando resultados práticos) em revisões taxonômicas e na formação e ampliação do quadro de taxonomistas atuando no país. Várias estratégias neste sentido, particularmente no que concerne à esfera governamental ambiental e científica, já foram amplamente discutidas e propostas pelas sociedades científicas zoológicas brasileiras com o intuito de criar um forte programa nacional de pesquisa em taxonomia (Marinoni *et al.*, 2006). ONGs conservacionistas poderiam contribuir através de fundos específicos que apoiassem financeiramente estudos taxonômicos e a formação de taxonomistas nos moldes do programa “Beca”, coordenado pelo Instituto Internacional de Educação do Brasil – IEB (<http://www.ieb.org.br>) e apoiado por várias fundações.

O produto desta parceria seria, ainda que ao longo prazo, a consolidação de listas de táxons válidos que podem ser interpretados alternativamente como espécies biológicas, espécies filogenéticas, subespécies ou UES, dependendo do contexto enfocado. Se isso estiver disponível para os vários grupos biológicos finalmente será possível remover o efeito da incerteza taxonômica que tanto aflige não apenas a biologia da conservação, mas as ciências biológicas como um todo (Hey *et al.*, 2003; Agapow *et al.*, 2004; Balakrishnan, 2005).

AGRADECIMENTOS

Sou especialmente grato a José Maria Cardoso da Silva e José Alexandre Diniz Filho pelos convites para participar do XXVII Congresso Brasileiro de Zoologia e escrever este artigo. As idéias aqui contidas e discutidas resultaram de um longo período de interação e debate com vários colegas no Brasil e EUA, durante o qual fui bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – auxílios nº 200099/97-3 e 35.0415/2004-8).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agapow, P.-M., O.R.P. Bininda-Emonds, K. Crandall, J.L. Gittleman, G.M. Mace, J.C. Marshall & A. Purvis. 2004. The impact of species concept on biodiversity studies. *The Quarterly Review of Biology* 79: 161-179.
- Aleixo, A. 2007. Conceitos de espécie e o eterno conflito entre continuidade e operacionalidade: uma proposta de normatização de critérios para o reconhecimento de espécies pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia* 15: 229-242.
- Alroy, J. 2003. Taxonomic inflation and body mass distributions in North American fossil mammals. *Journal of Mammalogy* 84: 431-443.
- Balakrishnan, R. 2005. Species concepts, species boundaries and species identification: a view from the tropics. *Systematic Biology* 54: 689-693.
- Barrowclough, G.F. 1982. Geographic variation, predictiveness, and subspecies. *The Auk* 99: 601-603.
- Barrowclough, G.F. & N.R. Flesness. 1996. Species, subspecies, and races: the problem of units of management in conservation. In: D.G. Kleiman, M. Allen, K. Thompson & S. Lumpkin (eds). *Wild animals in captivity: principles and techniques*. pp 247-254. Chicago University Press, Chicago, EUA.
- Bates, J.M. & T.C. Demos. 2001. Do we need to devalue Amazonia and other large tropical forests? *Diversity and Distributions* 7: 249-255.
- CBRO. 2007. Lista das Aves do Brasil. 6ª Edição (16 de agosto de 2007). Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos, Sociedade Brasileira de Ornitologia. <http://www.cbro.org.br> (acesso em 8/01/2008).
- Collar, N.J. 1997. Taxonomy and conservation: chicken and egg. *Bulletin of the British Ornithological Club* 117: 122-136.
- Crandall, K.A., O.R.P. Bininda-Emonds, G.M. Mace & R.K. Wayne. 2000. Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution* 15: 290-295.
- Groves, C.P. 2001. *Primate taxonomy*. Smithsonian Series in Comparative Evolutionary Biology. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., EUA.
- Haig, S.M., E.A. Beever, S.M. Chambers, H.M. Draheim, B.D. Dugger, S. Dunham, E. Elliott-Smith, J.B. Fontaine, D.C. Kesler, B.J. Knaus, I.F. Lopes, P. Loschl, T.D. Mullins & L.M. Sheffield. 2006. Taxonomic considerations in listing subspecies under the U.S. Endangered Species Act. *Conservation Biology* 20: 1584-1594.
- Hershkovitz, P. 1977. *Living new world monkeys (Platyrrhini), with an introduction to primates*. Chicago University Press, Chicago, EUA.
- Hey, J., R.S. Waples, M.L. Arnold, R.K. Butlin & R.G. Harrison. 2003. Understanding and confronting species uncertainty in biology and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 597-603.
- IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2003. Lista nacional da fauna brasileira ameaçada de extinção. <http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm> (acesso em 7/01/2008).
- Isaac, N.J.B., J. Mallet & G. M. Mace. 2004. Taxonomic inflation: its influence on macroecology and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 19: 464-469.
- IUCN. 2007. *IUCN Red List of Threatened Species: a global species assessment*. IUCN Publications Services Unit, Cambridge, Reino Unido.
- Johnson, N.K., J.V. Remsen Jr. & C. Cicero. 1999. Resolution of the debate over species concepts in ornithology: a new comprehensive biologic species concept. In: N.J. Adams & R.H. Slotow (eds). *Proceedings of the 22nd International Ornithological Congress*. pp 1470-1482. BirdLife South Africa, Durban & Johannesburg, África do Sul.
- Mace, G.M. 2004. The role of taxonomy in species conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 359: 711-719.
- Mayr, E. 1942. *Systematics and the origin of species*. Columbia University Press, New York, EUA.
- Marinoni, L., C. Magalhães & A.C. Marques. 2006. Propostas de estratégias e ações para a consolidação das coleções zoológicas brasileiras. In: A.L. Peixoto, M.R. de V. Barbosa, M. Menezes & L.C. Maia (eds). *Diretrizes e estratégias para a modernização de coleções biológicas brasileiras e a consolidação de sistemas integrados de informação sobre biodiversidade*. pp 183-211. Centro de Gestão e estudos estratégicos, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, Brasil.
- Meijaard, E. & V. Nijman. 2003. Primate hotspots in Borneo: predictive value for general biodiversity and the effects of taxonomy. *Conservation Biology* 17: 725-732.
- Moritz, C. 1994. Defining "evolutionary significant units" for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 373-375.
- Navarro-Sigüenza, A.G. & A.T. Peterson. 2004. An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropica* 4: 1-13.
- Oren, D.C. 2001. Biogeografia e conservação de aves na região Amazônica. In: J.P.R. Capobianco, A. Veríssimo, A. Moreira, D. Sawyer, I. Santos & L.P. Pinto (eds). *Biodiversidade na Amazônia brasileira: avaliação e ações prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios*. pp 97-109. Estação Liberdade e Instituto Socioambiental, São Paulo, Brasil.
- Pearman, P.B. 2001. Conservation value of independently evolving units: sacred cow or testable hypothesis? *Conservation Biology* 15: 780-783.
- Peterson, A.T. & A.G. Navarro-Sigüenza. 1999. Alternative species concepts as bases for determining priority conservation areas. *Conservation Biology* 13: 427-431.
- Queiroz, K. 2005. Ernst Mayr and the modern concept of species. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102: 6600-6607.
- Queiroz, K. 1998. The general lineage concept of species, species criteria, and the process of speciation: a conceptual unification and terminological recommendations. In: D.J. Howard & S.H. Berlocher (eds). *Endless forms: species and speciation*. pp. 57-75. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.
- Remsen, J.V. 2005. Pattern, process, and rigor meet classification. *The Auk* 122: 403-413.
- Silva, J.M.C., A.B. Rylands & G.A.B. da Fonseca. 2005. O destino das áreas de endemismo da Amazônia. *Megadiversidade* 1: 124-131.
- Sites Jr., J.W. & J.C. Marshall. 2004. Operational criteria for delimiting species. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35: 199-277.
- Watson, D.M. 2005. Diagnosable versus distinct: evaluating species limits in birds. *BioScience* 55: 60-68.
- Zink, R.M. 1997. Species concepts. *Bulletin of the British Ornithological Club* 117: 97-109.
- Zink, R.M. 2004. The role of subspecies in obscuring avian biological diversity and misleading conservation policy. *Proceedings of the Royal Society of London, series B* 271: 561-564.
- Zink, R.M., G.F. Barrowclough, J.L. Atwood & R.C. Blackwell-Rago. 2000. Genetics, taxonomy, and conservation of the threatened California Gnatcatcher. *Conservation Biology* 14: 1394-1405.