

A atribuição de função à biodiversidade segundo a visão do ‘papal causal’: uma análise epistemológica do discurso ecológico das últimas duas décadas

Ana Maria Rocha de Almeida
Charbel Niño El-Hani

Resumo: A literatura ecológica das duas últimas décadas foi marcada de maneira vigorosa por discussões a respeito do papel funcional da biodiversidade. A busca de um melhor entendimento sobre as relações entre biodiversidade e funcionamento ecossistêmico se tornou um tema controverso, porém de grande importância, na ecologia. No entanto, a maioria dos trabalhos é de cunho empírico e discussões epistemológicas sobre atribuição funcional são raras nesta literatura. Neste trabalho, realizamos uma análise da atribuição de função à biodiversidade segundo a visão do papel causal, com base nos trabalhos de Robert Cummins. O discurso sobre funcionalidade, segundo esta abordagem, parece dar conta da complexidade dos sistemas ecológicos, mas não é suficiente para resolver os principais problemas associados a tal atribuição de função. Dessa forma, discutimos, neste trabalho, como a análise funcional e a emergência de propriedades em sistemas complexos podem iluminar o discurso funcional na ecologia.

Palavras-chave: função; biodiversidade; ecossistema; papel causal; emergência de propriedades

Functional attribution to biodiversity according to the ‘causal role’ view: an epistemological analysis of the ecological discourse in the last two decades

Abstract: The ecological literature has been vigorously marked in the last two decades by arguments on the functional role of biodiversity. The search for a better understanding of the relationships between biodiversity and ecosystem functioning has become a controversial but highly important topic in ecology. However, the majority of the works in this field has an empirical nature, and epistemological discussions about functional ascription are rarely done in this literature. Here, we advance an analysis of the ascription of function to biodiversity according to the ‘causal role’ view, based on the works of Robert Cummins. The discourse on functionality in accordance with this approach seems to account for the complexity of ecological systems, but is not sufficient to solve the major problems associated with such functional ascription. We discuss in this paper how functional analysis and property emergence in complex systems can clarify the functional discourse in ecology.

Keywords: function; biodiversity; ecosystem; causal role; property emergence

Atribuição de função à biodiversidade segundo a visão do papel causal: uma análise epistemológica do discurso ecológico das últimas duas décadas

Ana Maria Rocha de Almeida*
Charbel Niño El-Hani*

1 INTRODUÇÃO

Estudos que avaliam a relação entre a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas são, atualmente, parte importante da literatura ecológica (Naeem, Loreau & Inchausti, 2002). A principal questão neste campo recente de pesquisa diz respeito ao entendimento de qual a função da biodiversidade num ecossistema. Vale ressaltar que o problema colocado não é se a biodiversidade é o único fator determinante das propriedades dos ecossistemas, como discutem alguns (Sankaran & McNaughton, 1999). A principal questão colocada pelos ecólogos diz respeito ao entendimento do papel funcional da biodiversidade, ou seja, de qual a função da biodiversidade num ecossistema, mesmo que outros componentes do sistema colaborem para a realização das mesmas funções. Esta preocupação surgiu em uma atmosfera na qual o reconhecimento das alarmantes taxas de extinção de espécies levou os cientistas a buscarem entender as conseqüências de tal perda: “Num tempo em que a biodiversidade está passando por mudanças drásticas em distribuição e abundância [...],

* Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Endereço para correspondência: Rua Barão de Geremoabo, 147, Campus de Ondina, Ondina. 40170-290 Salvador, BA. E-mails: anagavota@gmail.com, charbel @ufba.br.

predizer a consequência de tal mudança para o ecossistema ou para o sistema terrestre é um ponto crucial”¹ (Naeem, Loreau & Inchausti, 2002, p. 3).

Esta nova perspectiva prescreve para a biota, explicitamente, o papel de governar as condições ambientais, tendo sido denominado por Naeem de “Paradigma da Biodiversidade-Função Ecosistêmica” (*Biodiversity-Ecosystem Function Paradigm*, BEFP²) (Naeem, 2002, p. 1537). O grande sucesso do BEFP nos últimos anos é evidente. Segundo Loreau, Naeem & Inchausti,

Poucas áreas da ecologia têm-se expandido tão rapidamente quanto a pesquisa sobre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema nos últimos poucos anos. [...] esta área científica tem gerado uma nova onda de experimentos ambiciosos utilizando ecossistemas modelo sintéticos [...], tem estimulado a emergência de novas abordagens teóricas ligando os conceitos e as perspectivas da ecologia de comunidades e da ecologia de ecossistemas, e tem renovado mais amplamente o interesse por abordagens sintéticas na ecologia, atravessando sub-disciplinas ecológicas cada vez mais especializadas. (Loreau, Naeem & Inchausti, 2002, p. 237)³

A despeito deste impressionante crescimento, parece evidente que as questões de pesquisa iniciais do BEFP continuam sem resposta.

¹ As traduções foram feitas de maneira livre pelos autores. O trecho original será sistematicamente colocado em nota de rodapé para exame dos leitores. “At a time when biodiversity is undergoing dramatic changes in distribution and abundance [...], predicting the ecosystem or Earth-system consequences of such change is a critical issue” (Naeem, Loreau & Inchausti, 2002, p. 3).

² O termo ‘paradigma’ é utilizado por Naeem na expressão “Paradigma da Biodiversidade-Função Ecosistêmica”, por referência direta à idéia de paradigma em Kuhn (Naeem, 2002, p. 1538). Uma análise da adequação da utilização desse termo por Naeem não é parte dos objetivos deste trabalho.

³ “Few areas of ecology have expanded as fast as biodiversity and ecosystem functioning research during the last few years. [...] this scientific area has generated a new wave of ambitious experiments using synthesized model ecosystems [...], it has stimulated the emergence of new theoretical approaches linking concepts and perspectives from community ecology and ecosystem ecology, and it has more broadly renewed interest in synthetic approaches in ecology, cutting across increasingly specialized ecological sub-disciplines.” (Loreau, Naeem & Inchausti, 2002, p. 237).

No caso deste programa de pesquisa, entre os fatores que dificultam o diálogo entre os pesquisadores, encontra-se um problema conceitual, concernente ao que significa atribuir função a algo. A atribuição de função à biodiversidade acontece nesse campo de pesquisa da ecologia sem um suporte epistemológico adequado, o que parece gerar os conflitos identificados por Camerom (2002) e Loreau, Naeem & Inchausti (2002). A inexistência de um suporte epistemológico adequado se refere ao fato de que os artigos desse campo de pesquisa não apresentam qualquer posicionamento sobre o tipo de atribuição funcional realizada, limitando-se, na maioria dos casos a afirmações gerais que buscam apenas desvincular a atribuição de função da idéia de propósito ou desígnio (Naeem, 1998; Naeem, Loreau & Inchausti, 2002).

As abordagens funcionais de Larry Wright [1973] e Robert Cummins [1975] são, ainda hoje, consideradas abordagens epistemológicas padrão sobre a atribuição funcional (Godfrey-Smith, 1993, p. 197). Enquanto Wright [1973] apresenta uma abordagem etiológica da análise funcional, Cummins [1975] opta por uma abordagem do papel causal. Desde uma perspectiva naturalizada (Abrantes, 1998), este trabalho se propõe a realizar uma análise filosófica da atribuição de função à biodiversidade, segundo a visão do papel causal de Cummins [1975]. Vale ressaltar que os resultados aqui apresentados são parte de um trabalho maior (Almeida, 2004), no qual também foi realizada a análise das conseqüências de uma tal atribuição funcional segundo a abordagem etiológica de Wright [1973]. É importante ainda frisar que, em nenhum momento, os autores do BEFP assumem qualquer uma dessas análises como a mais apropriada para a atribuição funcional em questão. Este foi o motivo pelo qual as duas atribuições foram analisadas. Devido à limitação de espaço, este trabalho apresenta apenas os resultados referentes à atribuição de função segundo a abordagem de Cummins [1975].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Levantamento bibliográfico

2.1.1 *Trabalhos ecológicos*

Os trabalhos ecológicos foram levantados em periódicos especializados, a partir de uma busca bibliográfica sistemática no *Web of Science* (<http://portal.isiknowledge.com/portal>), no *Science Citation Index Expanded*, com base nas seguintes palavras-chave: “*function* AND biodiversity*” e “*ecosystem AND function**”. Todos os resumos de artigos referentes ao papel funcional da biodiversidade, de 1983 até 2003, foram obtidos para análise preliminar. Os resumos que preenchem o critério de inclusão – tratar especificamente do papel funcional da biodiversidade nos ecossistemas – foram identificados, separados por ano e submetidos a uma amostragem probabilística estratificada, com representatividade de 35% do número de resumos encontrados em cada ano. Os respectivos artigos foram obtidos e submetidos à análise, segundo os critérios descritos nas seções **2.2** e **2.3**, abaixo.

2.2 Coleta de dados

Para a análise do papel funcional da biodiversidade, apenas os artigos empíricos foram considerados, e, dentre estes, em particular, os artigos experimentais⁴, posto que eles testavam a atribuição de função à biodiversidade de maneira explícita, tornando a análise mais direta e confiável. Os dados foram coletados segundo os parâmetros descritos a seguir.

2.2.1 *Posicionamento do autor frente à atribuição de função à biodiversidade*

O posicionamento de cada autor frente ao papel funcional da biodiversidade levou em conta a aceitação ou rejeição de uma suposta relação funcional entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos. O posicionamento do autor foi classificado da seguinte maneira: (i) A favor – Aqueles que defendem um papel funcional para a biodiversidade no funcionamento dos ecossistemas. Neste grupo, estão incluídos aqueles autores que apresentavam tanto variações positivas quanto negativas das variáveis ecossistêmicas analisadas em relação

⁴ Os estudos foram classificados como experimentais caso apresentassem observação sequencial de variáveis sob manipulação controlada.

à manipulação da biodiversidade no sistema estudado;

(ii) Neutros – Neste grupo, foram incluídos aqueles autores que não apresentam uma posição clara sobre a relação entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema. Foram considerados *neutros*, também, aqueles autores que apresentavam resultados contraditórios, nos quais algumas variáveis de análise apresentavam variação positiva e outras, negativa em relação à manipulação da biodiversidade no sistema estudado;

(iii) Contrários – Aqueles que negam a existência de uma relação clara entre a biodiversidade em si e o funcionamento dos ecossistemas.

2.2.2 *Conceito de biodiversidade*

O conceito de biodiversidade utilizado por cada autor, central para a discussão em questão, foi obtido a partir da leitura de todo o artigo. Vale ressaltar que, nos artigos experimentais, muitos dos conceitos estavam implícitos e foram, então, levantados com base na medida de biodiversidade utilizada nos experimentos. Os conceitos obtidos direta ou indiretamente pela leitura dos artigos foram posteriormente categorizados. As categorias construídas apresentaram um caráter hierárquico dos conceitos de biodiversidade, visto que se basearam, em grande medida, nos índices de diversidade utilizados. A expressão “conceito em múltiplos níveis” é utilizada neste trabalho para referir-se a autores que adotaram diferentes medidas simultaneamente, como, por exemplo, diversidade específica e diversidade funcional.

2.2.3 *Discussão sobre atribuição funcional*

Todo o artigo foi analisado, incluídas as referências bibliográficas, para a identificação de referências a questões e abordagens epistemológicas relacionadas à atribuição funcional. Foi realizada, então, a extração de fragmentos que justificassem epistemologicamente a atribuição funcional realizada. No caso da inexistência de uma discussão epistemológica explícita, foram extraídos os principais fragmentos textuais relativos à posição do autor frente ao papel funcional da biodiversidade e aos mecanismos explicativos utilizados para justificar tal posição.

2.3 Análise dos dados

Inicialmente, foi realizado um mapeamento dos principais mecanismos apresentados nos trabalhos experimentais para justificar a atribuição de um papel funcional à biodiversidade. Na análise da atribuição funcional, uma das abordagens epistemológicas-padrão (Godfrey-Smith, 1993), aquela defendida por Cummins [1975], foi aplicada ao mapa geral obtido. Essa abordagem epistemológica foi entendida conforme segue.

2.3.1 *A visão do papel causal*

Segundo Robert Cummins [1975], as atribuições funcionais são asserções explicativas, mas estas seriam explicações de um tipo especial. Para Cummins considerar que algum X tem uma função, isto é, “ X realiza Z ”, significa dizer que X tem a disposição Z , sob determinadas condições. Isso quer dizer que X se comporta de modo a apresentar Z , sempre que colocado sob determinadas condições (Cummins, [1975], p. 185). Essa regularidade de comportamento é denominada por Cummins de “regularidade disposicional”. Segundo ele, as regularidades disposicionais são regularidades observadas no comportamento de um tipo de objeto, em virtude de alguns fatos especiais a seu respeito (*ibid.*, p. 185-186). É exatamente essa regularidade disposicional que merece uma explicação: se X realiza Z , então, X está sujeito a uma regularidade de comportamento característica de coisas que realizam Z e é exatamente este fato que precisa, então, ser explicado (*ibid.*, p. 189-190). Explicar uma regularidade disposicional é explicar como a manifestação da disposição acontece, dadas as condições precipitantes necessárias.

Cummins opta por dar conta das regularidades disposicionais por meio de uma estratégia analítica. Isso significa dizer que a disposição d presente em um objeto o será analisada em uma série de outras disposições d_1, d_2, \dots, d_n , apresentadas por componentes de o , tais que a manifestação de d_i resulta na, ou leva à, manifestação de d (Cummins, [1975], p. 187). Explicamos, portanto, a capacidade do todo recorrendo às capacidades das suas partes.

Cummins argumenta que análises funcionais na biologia são essencialmente similares à estratégia analítica descrita acima (Cum-

mins, [1975], p. 188). No contexto da aplicação de uma estratégia analítica, a realização de uma capacidade emerge como a função; por exemplo, o coração funciona como uma bomba, sob o pano de fundo de uma análise da capacidade do sistema circulatório de transportar sangue – nutrientes, oxigênio e dejetos –, que apela, por sua vez, para o fato de que o coração é capaz de bombear sangue. Posto que o pano de fundo usual nem sempre precisa ser explicitado, esta abordagem dá conta, portanto, da assertiva “o coração funciona como uma bomba” e torna equivocada a assertiva de que “o coração funciona como produtor de ruídos”. Nesta estratégia, há, assim, uma dependência implícita do contexto e uma relativização dos atributos funcionais a um “fato funcional” a respeito de um sistema que contém tal “fato”, isto é, em virtude de que certa capacidade de um sistema é apropriadamente explicada com recurso a certa análise funcional.

As capacidades biologicamente importantes de um organismo, considerado como um todo, são explicadas por meio da análise do organismo em um número de sistemas, cada um dos quais apresentando uma ou mais capacidades características. Essas capacidades são, por sua vez, analisadas em termos das capacidades dos órgãos e das estruturas componentes do sistema. Essa estratégia analítica, porém, não é suficiente para dar conta de toda a explicação funcional, ou seja, ela é realizada até que as disposições (propriedades, capacidades) sejam, posteriormente, analisadas através da explicação de sua instanciação.

A análise funcional proposta por Cummins foi assim formalizada:

[...] x funciona como Φ em s (ou: a função de x em s é Φ) relativo a uma abordagem analítica A da capacidade de s de ψ , apenas caso x seja capaz de Φ em s e A dê conta, apropriada e adequadamente, da capacidade de ψ em parte mediante um recurso à capacidade de x fazer Φ em s . (Cummins, [1975], p. 190)⁵

Em resumo, atribuir função a algo é atribuir-lhe uma capacidade

⁵ “[...] x functions as a ϕ in s (or: the function of x in s is to ϕ) relative to an analytical account A of s 's capacity to ψ just in case x is capable of ϕ -ing in s and A appropriately and adequately accounts for s 's capacity to ψ by, in part, appealing to the capacity of x to ϕ in s .” (Cummins, [1975], p. 190)

que é identificada pelo seu papel em uma análise de alguma capacidade do sistema. Quando a capacidade a ser analisada do sistema é apropriadamente explicada pela sua análise em um número de outras capacidades, cuja realização leva à manifestação da capacidade analisada, as capacidades resultantes da análise emergem como funções.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado inicial da pesquisa bibliográfica, 3.163 resumos de artigos ecológicos foram encontrados, sendo realizada, então, uma análise preliminar segundo o critério de inclusão adotado, que levou à seleção de 387 resumos. Desta população inicial, 140 artigos foram obtidos como resultado da amostragem, para posterior análise. Destes, 5 artigos não foram obtidos, e 4 artigos foram obtidos, porém, quando analisados em maior detalhe, verificou-se que não preenchiam, de fato, o critério de inclusão. Esses 9 artigos foram excluídos de todas as análises posteriores, que foram feitas, assim, com um total de 131 artigos. Dos 131 artigos amostrados, 67 artigos (51% da bibliografia amostrada) foram considerados estudos empíricos, e, dentre estes, 38 artigos (29% da bibliografia amostrada e 57% dos artigos empíricos) eram experimentais. Estes últimos foram analisados na íntegra para o presente trabalho.

3.1 Posicionamento do autor

Nos 38 artigos experimentais analisados, foi possível identificar 71 testes de hipóteses a respeito da relação entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos. Dos 71 experimentos identificados, 24 não encontraram uma relação entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos. Trinta experimentos forneceram evidências a favor de uma relação fortemente positiva entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos analisados e 3 experimentos encontraram uma relação também positiva, porém de fraca intensidade. Treze trabalhos encontraram uma relação fortemente negativa e um, uma relação negativa de fraca intensidade (Tabela 1). Com base na intensidade do efeito da biodiversidade nos processos ecossistêmicos, classificamos as hipóteses analisadas em três grupos: (i) aquelas que são a favor de uma relação forte entre a biodiversidade e os processos ecossistêmi-

cos – e, neste caso, incluímos tanto aquelas que consideram uma relação fortemente positiva, quanto as que consideram uma relação fortemente negativa⁶; (ii) aquelas “neutras”, posto que não apresentaram resultados a favor ou contra a existência de uma relação entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos, e; (iii) aquelas contrárias à existência de tal relação.

Nível trófico do efeito	Categoria do efeito				
	(-2)	(-1)	0	(+1)	(+2)
Produtividade	2	0	4	0	15
Decomposição	0	0	5	1	5
Dinâmica	4	0	2	1	5
Fatores abióticos	3	0	7	1	4
Outros	4	1	6	0	1
TOTAL	13	1	24	3	30

Tabela 1 – Variável de efeito dependente da manipulação da biodiversidade e categoria do efeito, segundo os 71 experimentos analisados, onde: (-2) = relação fortemente negativa; (-1) = relação negativa fraca; (0) = relação nula; (+1) = relação positiva fraca; (+2) = relação fortemente positiva.

Das relações fortemente positivas encontradas, 50% delas se referem à produtividade do sistema – 15 experimentos, de um total de 30 –, enquanto as hipóteses contrárias à existência de uma relação entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos estavam distribuídas regularmente entre produtividade, propriedades dinâmicas⁷, fatores

⁶ Vale ressaltar que as hipóteses que apresentavam uma relação fortemente negativa foram, neste caso, incluídas na categoria “a favor” de uma relação entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos, pois uma relação negativa não denota, necessariamente, diminuição ou prejuízo do funcionamento ou da estabilidade do ecossistema. O que está em questão é apenas se a variação do efeito mensurado é inversamente proporcional à variação da biodiversidade manipulada.

⁷ Propriedades dinâmicas são aquelas que levam em consideração a variável ‘tempo’ nas análises. Os exemplos mais frequentes, nos trabalhos analisados referem-se a resistência, resiliência e invariabilidade (e.g., Tilman & Downing, 1994; Tilman, 1996; Van Peer; Nijs; Bogaert; Verelst; Reheul, 2001).

abióticos e outras variáveis. Vale notar ainda que a grande maioria das ausências de relação relatadas nos trabalhos se refere ao sistema “solo” – em relação tanto à decomposição quanto aos fatores abióticos. Dentre as relações consideradas nulas, 12 experimentos (50% do total) foram realizados neste sistema.

3.2 Conceito de biodiversidade

Os conceitos de biodiversidade usados atualmente são extremamente amplos e tornam, na prática, a medida da diversidade biológica consideravelmente complicada. Isso ocorre pela diversidade de possíveis medidas diferentes, cada uma delas dando ênfase a um aspecto particular da diversidade, como riqueza de espécies, abundância de espécies, variabilidade genética da população etc (Purvis & Hector, 2000). Nenhuma medida de diversidade é capaz, isoladamente, de representar de forma global as definições propostas.

	Diversidade infra-específica	Diversidade específica			Diversidade supra-específica	Múltiplos Níveis
	Variabilidade fenotípica	Riqueza	Abundância	Disparidade	Diversidade de Grupos Funcionais	
Produtividade	1	12	0	1	1	6
Decomposição	2	3	1	2	1	2
Propriedades dinâmicas	0	9	0	0	0	3
Fatores abióticos	1	7	0	2	1	4
Outros	0	5	0	0	4	3
TOTAL	4	36	1	5	7	18

Tabela 02 – Relação entre a frequência de ocorrência dos tipos de medidas de biodiversidade e as variáveis ecossistêmicas estudadas nos 71 experimentos analisados.

Na Tabela 2, podemos observar as relações entre as medidas de biodiversidade utilizadas nos 71 experimentos e as propriedades ecossistêmicas em relação às quais os efeitos de manipulação da biodiversidade foram avaliados.

Podemos observar, na Tabela 2, que 24 trabalhos (63% dos trabalhos experimentais) relatavam experimentos que utilizaram medidas de diversidade específica, sendo que 21 se referiam à riqueza de espécies, 3, à disparidade de espécies, e um, à abundância. Quatro artigos consideravam apenas medidas de diversidade supra-específica, referentes ao número de espécies nos grupos funcionais e ao número de grupos funcionais. Oito artigos optavam pela utilização de mais de uma medida de diversidade, sendo, em todos os casos, consideradas medidas de riqueza de espécies e de diversidade de grupos funcionais. Apenas 2 trabalhos utilizaram medidas de diversidade infra-específica – variabilidade fenotípica –, principalmente no caso de estudos das comunidades microbianas do solo.

Além disso, se considerarmos que a maioria dos trabalhos de “múltiplos níveis” leva em conta as diversidades específica e funcional, o número de artigos que utilizam a riqueza de espécies como medida de diversidade biológica se mostra ainda maior. Esta medida se mostra, portanto, bastante representativa dos trabalhos que avaliam as respostas da produtividade às variações na biodiversidade. Ainda sobre a produtividade, 7 experimentos (relatados em 33% dos artigos) assumem a diversidade funcional, tanto isoladamente quanto em conjunto com a riqueza de espécies.

Nos experimentos que avaliaram a resposta da decomposição à manipulação da biodiversidade, não houve prevalência significativa de nenhuma medida em particular. Já as propriedades dinâmicas foram amplamente avaliadas (75% dos experimentos) segundo medida específica – riqueza de espécies – da biodiversidade. Os experimentos que avaliaram o impacto da manipulação da biodiversidade sobre os fatores abióticos o fizeram segundo a riqueza de espécies (47%) e a diversidade funcional (27%). Vale ressaltar que, neste grupo, 2 trabalhos relatavam experimentos que empregavam a disparidade⁸

⁸ Disparidade é uma medida de biodiversidade que leva em conta a distância filo-

como medida da biodiversidade.

3.3 Discussão sobre atribuição funcional

Em nenhum dos trabalhos experimentais analisados, foi possível identificar uma discussão epistemológica direta e explícita sobre a atribuição funcional realizada pelos autores. Alguns trabalhos de outra natureza apresentam afirmações como, por exemplo, a de Naeem, que ressalta que o termo função não implica ‘desígnio’ ou ‘propósito’, mas apenas atividade (Naeem, 1998, p. 39). Similarmente, em uma nota de pé de página do livro que apresenta uma síntese de um importante simpósio realizado em Paris⁹, em 2000, Naeem, Loreau & Inchausti afirmam:

Por ‘funcional’ ou ‘funcionamento’, nós nos referimos a atividades, processos, ou propriedades dos ecossistemas que são influenciadas por sua biota. Em nenhum caso, ‘propósito’ está inferido no nosso uso desses termos. (Naeem, Loreau & Inchausti, 2002, p. 3)¹⁰

Estes materiais, no entanto, não foram analisados aqui, visto que não satisfaziam os critérios de inclusão discutidos acima. Vale ressaltar ainda que, na análise de 131 artigos realizada em outro trabalho não foram encontradas discussões epistemológicas a respeito da atribuição funcional realizada, exceto no caso das que foram descritas acima.

Com base nos mecanismos explicativos utilizados para justificar o posicionamento dos autores frente à atribuição de função à biodiversidade, foi possível dividi-los em dois grandes grupos: (i) aqueles que defendem que a biodiversidade tem um papel funcional nos e-

genética dos organismos que compõem uma dada comunidade ecológica (Maggurran, 1988, p. 17).

⁹ O simpósio realizado em Paris em 2000, sob o título “Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives”, chamado também de “Synthesis Conference”, teve como objetivos a busca de uma síntese teórica e empírica e a definição de áreas prioritárias de pesquisa neste campo.

¹⁰ “By ‘function’ or ‘functioning’, we mean the activities, processes, or properties of ecosystems that are influenced by its biota. In no case is ‘purpose’ inferred in our usage of these terms.” (Naeem, Loreau & Inchausti, 2002, p. 3)

cossistemas; e (ii) aqueles que afirmam que as funções são realizadas pelos organismos e, mais do que a função da biodiversidade em si, o que importa é entendermos quais os organismos compõem as comunidades ecológicas e como eles estão organizados. Neste último grupo, também se situam os autores que encontraram uma relação fracamente positiva entre a diversidade e os processos ecossistêmicos. Isso significa dizer que 43 das hipóteses testadas nos estudos experimentais (aproximadamente 61% do total de hipóteses analisadas) foram incluídos no primeiro grupo, enquanto 28 (39% das hipóteses), no segundo.

Após leitura detalhada dos trabalhos, fica evidente que os principais mecanismos explicativos usados para justificar a existência de uma relação entre a diversidade e as propriedades dos ecossistemas são os seguintes: *efeitos de amostragem (sampling-effects)*, *complementaridade de nicho e facilitação*. Por sua vez, aqueles utilizados para apoiar uma relação nula são os seguintes: *efeitos de composição das espécies e redundância funcional*.

Um dos debates mais controversos nos estudos sobre a relação diversidade-productividade diz respeito ao problema de se o efeito amplamente observado do aumento do número de espécies selecionadas randomicamente sobre o aumento da produtividade média (ou biomassa) é: 1) a conseqüência das interações entre as espécies, isto é, um efeito da diversidade, causado por processos como os de *facilitação* que acontece, por exemplo, com os efeitos de fertilização de um legume sobre uma gramínea, ou *complementaridade de nicho* entre as várias espécies que ocorre, por exemplo, entre grupos de duas ou mais espécies que produzem mais biomassa que um número maior de espécies poderia produzir, ou; 2) o resultado do aumento da chance da presença de uma ou poucas espécies altamente produtivas nas amostras estudadas, isto é, um artefato estatístico resultante da seleção randômica, chamado de probabilidade de seleção (*selection probability*) ou efeito de amostragem (*sampling effect*) (Huston & McBride, 2002).

Os autores que são contrários à hipótese de uma relação entre a biodiversidade e os processos ecossistêmicos podem ser divididos em dois grupos. De um lado, estão aqueles que defendem os *efeitos*

de composição de espécies (ou também de identidade das espécies), que se referem aos traços, às propriedades ou às características específicas de cada espécie que, em conjunto com outras espécies exibindo outros traços, acabam por produzir altas taxas de processos ecossistêmicos. Neste caso, cada espécie é importante e a diversidade, enquanto medida global da riqueza de espécies, parece não ser tão importante quanto a identidade das espécies ali presentes. De outro lado, os defensores da redundância funcional afirmam que os efeitos da riqueza de espécies só são observados enquanto há grupos funcionais a serem preenchidos. Após o preenchimento de todos os grupos funcionais importantes para o funcionamento do ecossistema, a adição de mais espécies não afeta as taxas dos processos sistêmicos. Este último grupo é particularmente caracterizado por aqueles autores que apóiam uma relação fracamente positiva entre diversidade e funcionamento ecossistêmico.

3.4 Análise da atribuição de função à biodiversidade segundo a Visão do Papel Causal

Como vimos acima, segundo a abordagem da análise funcional proposta por Cummins, dizer que a função de x é Φ em um sistema s é dizer que x funciona como Φ em s , relativo a uma abordagem analítica A da capacidade de s de ψ , no caso em que x é capaz de Φ em s e A dá conta, apropriada e adequadamente, da capacidade de ψ em parte por um apelo à capacidade de x fazer Φ em s (Cummins, [1975], p. 190).

Para entendermos tal abordagem, precisamos considerar o sistema s e a sua capacidade de realização de uma propriedade ψ , de modo que algum x , que é parte do sistema s , tem a função de realizar a propriedade Φ , que contribui para a realização da propriedade sistêmica ψ , segundo uma abordagem analítica A . Neste caso, a principal dificuldade que rapidamente aparece é a de optar por uma abordagem analítica específica do sistema s , que seja *adequada e apropriada*, e, além disso, seja capaz de explicar a capacidade do sistema de realizar ψ , apelando à capacidade de x realizar Φ . Uma abordagem analítica apropriada, segundo Cummins, é aquela realizada de acordo com um quadro referencial no qual a propriedade do sistema é capaz de reali-

zar uma determinada função (Cummins, [1975], p. 190).

Podemos inicialmente notar que a atribuição de função realizada pelos ecólogos está sendo feita a uma entidade que é, em princípio, teórica – a *biodiversidade*. Por “biodiversidade”, entende-se um conceito amplo, multifacetado e dificilmente resumido em uma única formulação. Quando observamos os mecanismos explicativos propostos pelos autores que realizam uma atribuição de função à biodiversidade, há sempre o recuo para as espécies, ou até mesmo para os organismos individuais, seja por meio do *efeito de amostragem*, seja por meio das *interações positivas* entre as espécies. Caso consideremos que as espécies ou os organismos constituem o nível inferior de análise, e a biodiversidade se apresenta como propriedade do sistema (no nível focal de análise), resultante da interação de organismos ou espécies e das restrições impostas por sistemas mais amplos, afirmar que a função da biodiversidade é Φ em um sistema s corresponderá a afirmar que as espécies ali presentes realizam Φ no ecossistema, em relação a esta abordagem analítica. A biodiversidade seria, então, tratada como uma propriedade do sistema, ou seja, seria assumida uma visão realista da biodiversidade como conceito teórico. Além disso, a capacidade do ecossistema de realizar a propriedade ψ , digamos, a manutenção de determinados níveis de produtividade ou de estabilidade, poderia ser entendida a partir do fato de que as espécies, por meio das interações positivas ou do efeito de amostragem, são capazes de realizar Φ .

Cabe, ainda, discutirmos o que seria a propriedade Φ das partes (os organismos ou espécies) em relação à propriedade ψ do todo (ecossistema), seja ela a produtividade ou a estabilidade. Falar das propriedades das partes é falar não só das características intrínsecas das partes, mas também de como elas estão organizadas, estruturadas, ou seja, de como interagem, condicionando o comportamento umas das outras. Entender quais os organismos/espécies presentes em um ecossistema, quais as restrições ambientais impostas por sistemas mais amplos, e, principalmente, qual o resultado da interação entre os organismos ali presentes, parece fundamental para a discussão sobre a relação entre as propriedades das partes e a propriedade do todo, que se coloca necessariamente, quando assumimos a abordagem de

Cummins para a análise funcional.

A análise da atribuição de função segundo a visão do papel causal deixa claro que é bem mais complicado do que se imagina realizar uma atribuição funcional à biodiversidade. Parte do problema reside na legitimidade de assumir-se uma visão realista sobre a biodiversidade, ou seja, de entendê-la como um conceito teórico que se refere a uma propriedade real dos ecossistemas. Parte do problema reside na compreensão da relação entre os mecanismos que operam ao nível das partes dos ecossistemas (e, logo, as capacidades destas partes) e a função da biodiversidade, propriamente dita, o que implica a difícil questão de qual a abordagem analítica mais apropriada para o ecossistema.

Esses argumentos sugerem que o uso da visão do papel causal, proposta por Cummins [1975], como base epistemológica para entender a atribuição de função no BEFP poderia aproximar os dois grupos de autores mencionados acima. Isso porque essa abordagem permite explicar como o funcionamento do sistema e uma possível função da biodiversidade poderiam ser explicados com base nas capacidades das partes do sistema, no contexto de uma abordagem analítica definida. Coloca-se, assim, como tarefa essencial para o progresso do BEFP a elaboração de uma abordagem analítica capaz de decompor o ecossistema em partes de maneira que seja possível visualizar a biodiversidade como uma propriedade desse sistema complexo, e sua função como analisável em termos das funções das partes definidas por tal abordagem analítica (digamos, organismos ou espécies).

Tendo em vista que os ecossistemas são exemplos paradigmáticos ou prototípicos de sistemas complexos, englobando grande número de entidades interagentes, múltiplas escalas de observação e uma dinâmica, na maioria dos casos, não-linear, parece-nos extremamente instigante pensar a complexidade ecológica como ponto de partida dos estudos sobre o funcionamento dos sistemas ecológicos.

Ao propor uma abordagem analítica adequada desse sistema complexo, os autores poderiam não só resolver a dicotomia encontrada neste campo de pesquisa, aproximando aqueles que contrários e favoráveis a uma relação entre a biodiversidade e os processos ecossistê-

micos, mas, também, propor uma unificação das medidas de biodiversidade utilizadas no BEFP. Além disso, ao apresentar os mecanismos explicativos utilizados pelos ecólogos para justificar o papel funcional da biodiversidade, seja ele o efeito de amostragem ou as interações positivas, nota-se que eles acabam por atribuir às espécies e aos organismos, em última análise, a realização das funções supostamente atribuídas à biodiversidade. Parece essencial, então, explicar a capacidade ou função de uma propriedade do todo (a biodiversidade) recorrendo às capacidades das suas partes, e a abordagem de Cummins fornece uma moldura teórica potencialmente adequada para tal tarefa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A visão do papel causal, proposta por Cummins [1975], apresenta um referencial heurísticamente fértil para muitos campos da biologia e, no caso do presente artigo, em particular, para um novo e influente campo da pesquisa ecológica, o BEFP. A explicação da função da biodiversidade a partir das capacidades das partes do ecossistema, com base nesta abordagem, é um caminho promissor para o avanço de debates centrais deste programa de pesquisa. Um passo essencial será a proposição de uma abordagem analítica capaz de decompor adequadamente o ecossistema, visando a explicação da função da biodiversidade a partir das capacidades de componentes. Isso poderia apontar caminhos interessantes para a resolução da dicotomia identificada neste campo de pesquisa – na qual alguns autores prescrevem um papel funcional para a biodiversidade enquanto outros negam a existência de uma relação entre a biodiversidade e as propriedades ecossistêmicas -, além de sugerir um referencial potencialmente fértil para a unificação das medidas de biodiversidade utilizadas neste campo, mediante a seleção das medidas mais apropriadas à abordagem analítica proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, Paulo. Naturalismo epistemológico: apresentação. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, **8**: 7-26, 1998.

- ALMEIDA, Ana Maria Rocha de. *O papel funcional da diversidade biológica: uma análise da atribuição de função à biodiversidade nas ecologia das últimas décadas*. (Dissertação de Mestrado em Ensino de História e Filosofia das Ciências). Salvador: Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, 2004.
- CAMEROM, Tom. 2002: The year of the “diversity-ecosystem function” debate. *Trends in Ecology and Evolution* **17**: 495-496, 2002.
- CUMMINS, Robert. Functional Analysis. Pp. 169-196, in: ALLEN, Colin; BEKOFF, Mark & LAUDER, George. *Nature's purpose: analyses of function and design in biology* [1975]. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- GODFREY-SMITH, Peter. Functions: consensus without unity. *Pacific Philosophical Quarterly* **74**:196-208, 1993.
- HUSTON, Michael & McBRIDE, Allen. Evaluating the relative strengths of biotic versus abiotic controls on ecosystem processes. Pp. 47-60, in: LOREAU, Michel; NAEEM, Shahid & INCHAUSTI, Pablo (eds.). *Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- LOREAU, Michel; NAEEM, Shahid; INCHAUSTI, Pablo. Perspectives and challenges. Pp. 237-242, in: LOREAU, Michel; NAEEM, Shahid & INCHAUSTI, Pablo (eds.). *Biodiversity and ecosystem functioning: synthesis and perspectives*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- MAGURRAN, Anne E. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- NAEEM, Shahid. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology* **12** (1): 39-45, 1998.
- . Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm. *Ecology* **83** (6): 1537-1522, 2002.
- NAEEM, Shahid; LOREAU, Michel & INCHAUSTI, Pablo. Biodiversity and ecosystem functioning: the emergence of a synthetic ecological framework. Pp. 3-17, in: LOREAU, Michel; NAEEM, Shahid & INCHAUSTI, P. (eds.). *Biodiversity and ecosystem*

- functioning: synthesis and perspectives*. Oxford, Oxford University Press, 2002.
- PURVIS, Andy & HECTOR, Andy. Getting the measure of biodiversity. *Nature* **405**: 212-219, 2000.
- SANKARAN, Mahesh & McNAUGHTON, Samuel J. Determinants of biodiversity regulate compositional stability of communities. *Nature* **401** (6754): 691-693, 1999.
- TILMAN, David. Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology* **77** (2): 350-363, 1996.
- TILMAN, David & DOWNING, John A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* **367** (6461): 363-365, 1994.
- VAN PEER, Liesbeth; NIJS, Ivan; BOGAERT, Jan; VERELST, Iris & REHEUL, Dirk. Survival, gap formation, and recovery dynamics, in grassland ecosystems exposed to heat extremes: The role of species richness. *Ecosystems* **4** (8): 797-806, 2001.
- WRIGHT, Larry. Functions. Pp. 51-78, in: ALLEN, Colin; BEKOFF, Mark & LAUDER, George. *Nature's purpose: analyses of function and design in biology* [1975]. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.