

Epistemologia da Biologia: para se pensar a iniciação ao ensino das Ciências Biológicas

Marta Bellini

Resumo

Analisa as proposições de Piaget para se pensar a epistemologia da Biologia e as diferenças epistemológicas dessa ciência em relação à Matemática e à Física. Retomando o debate de Piaget acerca das epistemologias das ciências, a autora apresenta aspectos da psicogênese e sociogênese da Biologia realçando as diferenças epistemológicas que devem ser consideradas para a iniciação ao ensino dessa ciência.

Palavras-chave: epistemologia da biologia; epistemologia genética; ensino de ciências e biologia.

Abstract

Epistemology of Biology: thinking on the Biological Sciences teaching

The paper analyzes the proposals of Piaget concerning the epistemology of Biology and the epistemological differences of this science in relation to Mathematics and Physics. Resuming the debate of Piaget about the epistemologies of sciences, the author presents aspects of psychogenesis and sociogenesis of Biology enhancing the epistemological differences that must be considered for the teaching of this science.

Keywords: epistemology of biology; genetic epistemology; teaching of sciences and biology.

Introdução

Este texto apresenta o pensamento de Piaget quanto à constituição da Biologia como ciência, faz relações desta com a Física e a Matemática e expõe algumas reflexões sobre a iniciação às ciências biológicas na situação de ensino.

Há um consenso metodológico entre vários pesquisadores para que, no ensino de ciências, os professores aliem as exposições de temas científicos às aulas práticas com experimentações e/ou outros recursos didáticos que aproximem os alunos aos objetos das ciências em debate (Delizoicov, Angotti, Pernambuco, 2002; Carvalho, Gil-Perez, 2003). Todavia, a escola opta por um ensino apenas verbal; professores em sala de aula, impulsionados pela prática dos livros didáticos, recorrem a estes textos como recursos apenas expositivos das lições de ciências, deixando, em segundo plano, metas de observação e experimentação, que também são fundamentais para a aprendizagem em ciências.

É importante dizer que, na escola, não reproduzimos as condições experimentais nem os métodos, os critérios ou as hierarquias das ciências em sala de aula. Os conhecimentos escolares não são sinônimos de conhecimentos científicos; "a lógica científica no contexto escolar é sempre uma lógica recontextualizada, engendrada por interesses sociais mais amplos" (Lopes, 2000, p. 155). Mas, embora os contextos dos cientistas e o da escola sejam diferentes, podemos aproximar as bases epistemológicas da Biologia às do ensino desta ciência na escola. Por biologia entendemos, neste texto, os conhecimentos fundamentais da área, como a classificação e a anatomia comparada, campos cujos marcos foram importantes para o nascimento das ciências biológicas.

As pesquisas sobre aprendizagem em Física mostram um percurso de ensino diferente do usualmente praticado nas escolas brasileiras, isto é, a repetição dos temas e lições do velho recurso pedagógico, os livros didáticos. Carvalho e Gil-Perez (2003), Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) enfatizam os processos de experimentação em sala de aula e observação de fenômenos para compor aulas não somente com mais recursos didáticos, mas aulas com enfoque no processo de descoberta e exploração dos modelos conceituais em Física. Esta compreensão de ensino vem do entendimento de que aprender significa também recorrer à ação dos alunos sobre seus objetos escolares de conhecimento – em outras palavras, levar aos alunos métodos de observação e experimentação.

Na Matemática, as pesquisas sobre ensino também apontam um caminho diferente ao do hegemonicamente realizado pelas escolas. Os estudos sobre aprendizagem em Matemática convergem à idéia de que ensinar matemática significa entender que os processos de aprendizagem das crianças

e jovens estão ligados à clareza dos enunciados, às relações de relações seja dos números, espaço ou outro tema da Matemática (Ruiz, Bellini, 2001; Nogueira, 2002; Lerner, 1995).

Essas diferenças de ensino nas duas áreas não surgiram apenas de debates sobre metodologias de ensino, mas provêm de estudos sobre as epistemologias da Matemática e da Física. Ou seja, advêm da compreensão de que, na ciência Física, os cientistas recorrem às duas atividades operatórias – a experimental e a matemática – e na Matemática, os matemáticos recorrem, sobretudo, às atividades dedutivas – não precisam da experimentação e ou observação, como na Física e na Biologia.

Essas diferenças epistemológicas foram estudadas por Piaget nas décadas de 60 e 70 do século 20. As reflexões sobre a epistemologia da Matemática datam de 1961; as da Física e da Biologia, de 1967 a 1974 (Montangero, Maurice-Naville, 1998). Estas obras constituem o marco para se estabelecer a sociogênese e a psicogênese destes três grandes campos da ciência.

Em relação às diferenças epistemológicas, Piaget disse que o pensamento biológico é tratado com menor atenção que o físico e, sobretudo, que o matemático. Atribuiu esse fato a que o pensamento biológico é, antes de tudo, realista, ou seja, não pode prescindir dos seres naturais – homens, animais, plantas. Por isso, baseia-se fundamentalmente na experiência física e recorre pouco à atividade mental do sujeito, isto é, à criação teórica ou à dedução. O sujeito biólogo não pode prescindir dos objetos da natureza ao elaborar suas teorias; ele não pode, como o matemático, alçar vôos dedutivos, pois faria uma "metabiologia", uma ciência sem relação com a realidade dos animais e plantas.

A Biologia nasceu como ciência classificando plantas e animais; são seus "objetos" de conhecimento. Elucida as relações desses "objetos" explicando de modo causal as classificações, para estabelecer as leis entre estes objetos. Este modo de compor a área, ou seja, enfatizando a estrutura de classes, leis e explicações, não alcançou em todas as áreas da ciência Biologia um nível matemático. Na classificação e comparação de formas de seus objetos, conservou o caráter qualitativo ou lógico, sem uma dedução propriamente dita, como ocorreu na Matemática e na Física. Caráter qualitativo ou lógico para Piaget significa um patamar básico da Matemática, como as medições, as comparações, sem recorrer ao nível mais complexo da Matemática, às relações que nos levam às estruturas algébricas, estruturas de ordem e de rede ou topológicas, que são as três estruturas fundamentais sobre as quais repousa o edifício da Matemática, como diz Piaget (Nogueira, 2002).

As características do conhecimento biológico fizeram-no muito diferente do físico e do matemático; as ciências biológicas não podem constituir seu campo de conhecimento sem a primazia de seus objetos. Já para a elaboração dos conhecimentos matemáticos, podemos dizer que a primazia é do sujeito. Na Física, sujeito e objeto equivalem-se. Por isso, a comparação da atividade mental do sujeito cognoscente, sob seus diversos aspectos, diante desses conhecimentos, é uma questão relevante para a reflexão epistemológica tanto no âmbito científico como no escolar.

A Biologia no círculo das ciências

Sujeito e objeto de conhecimento são, para Piaget, indissociavelmente dependentes em todas as formas de conhecimento, seja o matemático, o biológico, o físico ou o social, entre outros. Porém, os modos desta dependência variam segundo as disciplinas em jogo. Quanto aos conhecimentos científicos, podemos afirmar que a epistemologia de uma ciência difere da epistemologia de outra; não é possível reduzir o conhecimento científico a um esquema epistemológico único. Em termos de ensino, este é um importante marco para se pensar a aprendizagem. Não é possível também ensinar todas as disciplinas científicas em um mesmo padrão metodológico. Ensinar Ciências para crianças e jovens requer pensar também um caminho de observação e experimentação, enquanto na Matemática isso não é necessário.

Ao apresentar o lugar epistêmico da Biologia em relação às outras ciências – ou, como denominou, no círculo das ciências –, Piaget comparou a natureza da relação sujeito/objeto na Biologia com as relações presentes na Física e na Matemática, estabelecendo que:

– na matemática, a atividade operatória do sujeito parece ser a única em jogo, independentemente de todo elemento experimental tomado do objeto. Isso se deve a que o espaço, o número, a lógica das classes ou de relações, o sujeito recorre somente à coordenação das ações ou operações efetuadas sobre objetos, isto é, aos aspectos mais gerais da ação. Os conhecimentos matemáticos não se originam de uma abstração a partir dos objetos, mas de uma abstração a partir da coordenação das ações. O sujeito elabora o seu pensamento (isto implica dizer coordenação de suas ações) por meio da formulação das leis mais gerais do universo, graças à aplicação de suas operações aos objetos. Desse modo, a matemática é produto da atividade do sujeito. O matemático não recorre à experiência como critério de verdade: uma proposição matemática é verdadeira quando pode ser demonstrada racionalmente, independentemente de sua concordância atual com a realidade externa (Piaget, 1979a).

– o conhecimento físico marca a interdependência entre o sujeito e o objeto. A construção dos conhecimentos físicos estabelece a existência de dados exteriores que o sujeito só descobre mediante a experiência em laboratório ou similar. Quando esses conhecimentos alcançam certo grau de generalidade, a experiência e a atividade operatória do sujeito físico se confundem com os esquemas matemáticos necessários para sua formalização. Assim, mesmo sendo mais realista que a matemática, a física alcança, em graus diversos, uma assimilação da realidade experimental aos esquemas lógico-matemáticos construídos através da atividade do sujeito (Piaget, 1979b).

– o conhecimento biológico é mais realista que a própria física, ou seja, trabalhamos com "objetos" plantas, animais, e outros seres todos mais próximos a nós, em escala de tempo e espaço, e destes objetos não podemos fugir. Não podemos descrever uma planta sem a presença da planta. Dela extraímos os dados. Nesse sentido, a dedução desempenha em biologia um papel muito menor que na física. Os dados "exteriores" são mais independentes do sujeito que no campo elaborado pelo matemático. Temos que nos prender aos objetos para pensá-los. Por ser uma forma de conhecimento que abarca a história de desenvolvimentos, a dedução sofre severas limitações para o desenvolvimento da biologia (Piaget, 1979c).

Nesse sentido, Piaget afirma que a forma de abstração do conhecimento matemático, a abstração reflexionante, é elaborada pelas ações que se pode exercer sobre os objetos e, essencialmente, das coordenações mais gerais das ações: disso decorre a generalidade e a fecundidade de suas aplicações. Isto significa que, para a Matemática, a atividade operatória (de pensamento) do sujeito é imprescindível à formulação do campo teórico. O matemático não precisa recorrer a outro critério de verdade, como a experimentação em laboratório ou a observação, senão às relações lógico-matemáticas que estabelece por seu próprio pensamento.

No ensino de Matemática isto deve ser um dos critérios para se estabelecer o trabalho pedagógico. Ao ensino do número, da geometria e de outros conhecimentos matemáticos, o professor precisa realizar atividades heurísticas, ou seja, de descobertas dos enunciados, atividades hermenêuticas, isto é, interpretar textos aliado às atividades pedagógicas que dizem respeito à arte de o professor compor e encadear uma coerência e cuidado no estilo de argumentação (Reboul, 2004).

O conhecimento físico, por outro lado, marca uma interdependência entre o sujeito e o objeto, que consiste na acomodação das ações do sujeito aos dados da experiência e na assimilação do objeto aos esquemas lógico-matemáticos do sujeito. Tomemos como exemplo o relato de Inhelder e Piaget (1972), no livro *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, acerca de soluções que crianças e adolescentes apresentam para o problema da queda de corpos no plano inclinado. O dispositivo elaborado por Inhelder e Piaget, como prova cognitiva, consiste em um plano regulável, com diversas inclinações. Sobre ele roda uma bola que, na parte inferior do plano, salta de um trampolim. O problema proposto é encontrar a correspondência entre as alturas da queda e do salto.

A criança, ao tentar solucionar este problema, mesmo sem calcular a forma parabólica da curva descrita no salto, poderá descobrir que o salto só depende da altura da queda, excluindo os fatores massa, inclinação e distância. Essa situação vai exigir do sujeito a construção de um quadro de referência que explore, de forma exaustiva, todas as combinações que alteram uma das variáveis e conservam as demais. Desse modo, o sujeito muda seu pensamento, isto é, assimila o objeto (Inhelder, Piaget, 1972). Piaget observou que a abstração, neste caso, procede do objeto, porém a partir de ações especializadas do sujeito, e assume uma forma lógico-matemática. Assim, a causalidade física é uma coordenação operatória, da mesma natureza da que o sujeito utiliza para agrupar as próprias operações, porém atribuída ao objeto por assimilação das transformações do objeto às transformações operatórias. Por isso, disse Piaget que a objetividade "extrínseca" do conhecimento físico corresponde, de forma muito próxima, à "objetividade intrínseca" da Matemática.

No ensino de Física, o professor deve aliar a arte de interpretar textos e de descoberta dos enunciados à observação e experimentação. Ele estará, dessa maneira, mantendo uma atividade básica para a construção de conhecimentos da ciência física: a experimentação e observação.

Enquanto temos essas formas de conhecimento do sujeito nas situações da Matemática e da Física, a Biologia formula muitas de suas explicações por

meio da observação dos seres vivos. Assim, as descobertas nessa área ocorrem a partir de seus objetos, dos seres vivos e suas relações. Piaget alerta que, quando uma propriedade é extraída a partir dos próprios objetos, ela esclarece tão-somente acerca deles: uma propriedade dessa natureza, caso seja muito geral, arrisca-se a ser pobre e pouco utilizável, pois se aplica a tudo.

O conhecimento biológico comporta, assim, um terceiro tipo de relação entre a atividade do sujeito e o objeto. A atividade de pensamento do sujeito se reduz a um mínimo. O biólogo não pode prescindir dos objetos e dos "dados" fornecidos pela natureza. Quando surgiu a classificação sistemática das espécies, a forma mais elementar de conhecimento biológico, esta consistiu em agrupamentos aditivos de classes ou de relações, ou atividade operatória que chamamos de lógica de encaixes.

Se analisarmos a anatomia comparada, vemos também sua constituição em agrupamentos multiplicativos de caráter qualitativo ou lógico. O mesmo sucede no caso das teorias da evolução e da herança, que completam sua estruturação lógica mediante uma combinatória probabilística relacionada com as variações e as transmissões. Na história da Biologia, as atividades dedutivas iniciam-se quando esta ciência teve de recorrer ao conhecimento da química da vida e das relações físico-químicas para explicar os fenômenos fisiológicos. Apenas a observação dos seus objetos não era mais suficiente. Tratava-se de pensar, agora, as funções de partículas orgânicas. Tornou-se, então, indispensável o uso da dedução, ou seja, a assimilação matemática dos dados.

Essa forma de ser do conhecimento biológico é radicalmente oposta ao do conhecimento matemático. Piaget aponta uma inversão total das posições: o matemático intervém como construtor dos conceitos de sua ciência e, no outro pólo, o biólogo aparece como o próprio objeto de sua ciência (Piaget, 1979c).

Quando nossas atenções se voltam para a comparação entre o conhecimento físico e o biológico, uma diferença importante a ser notada é que o físico estuda "funcionamentos" sincrônicos e atuais, enquanto os "funcionamentos" estudados pelo biólogo são predominantemente de natureza diacrônica, ou seja, estuda-se evolução de uma planta, um animal, paleontologia em comparação com as formas atuais. Em decorrência disso, os fenômenos físicos são sempre suscetíveis à matematização, enquanto os biológicos são muito resistentes a ela.

Outra diferença importante que existe na relação sujeito/objeto, percebida quando procuramos comparar o pensamento físico com o biológico, refere-se à "autonomia" do sujeito diante dos sistemas estudados. O físico trabalha com sistemas relativamente fechados, enquanto o biólogo defronta-se com sistemas abertos – no sentido de trocas com o meio.

O pensamento biológico e seu instrumental lógico-matemático

A expressão "a biologia é uma ciência realista" que encontramos em Piaget significa que aquilo que constatamos por meio de observações – por

exemplo, acerca das características diferenciais de duas espécies animais –, permite tão-somente generalizações de caráter indutivo; não significa, de maneira alguma, acomodação passiva do sujeito à realidade. Nesse terreno, mesmo que marcado por uma sensível submissão da mente à realidade, há implicações entre ações e significados, isto é, há um processo ativo de assimilação.

Por isso, pensar a epistemologia da Biologia a partir dos estudos de Jean Piaget requer de nós a tomada de consciência do papel do pensamento matemático em nossa ação de conhecer o mundo biológico. Piaget concebeu as estruturas lógico-matemáticas desempenhando o papel de interface entre o sujeito e o mundo a ser conhecido. E, para ele, o edifício teórico construído pelos matemáticos é algo que se situa em continuidade às estruturas lógico-matemáticas espontâneas da criança. Nesse sentido, o pensamento matemático desempenha, em todos os níveis de desenvolvimento, um papel fundamental nos intercâmbios entre o espírito humano e o universo a ser conhecido.

Ao falar dos marcos lógico-matemáticos, de natureza operatória, que permitem o ato de conhecer nos intercâmbios sujeito/universo, Piaget identificou estruturas operatórias de duas naturezas distintas: os "agrupamentos" e os grupos matemáticos.

Os "agrupamentos" constituem o referencial característico da fase inicial do pensamento operatório. Esse marco permite ao sujeito a construção de classes ou de relações simétricas e a elaboração de relações assimétricas em termos de mais ou menos, sem unidades e sem estabelecer relações entre as partes: sempre na presença de uma qualidade. Tratando-se de semelhanças ou de diferenças, estabelece distinções dicotômicas, que expressam simples comparações quantitativas de parte a todo e não de parte a parte (Piaget, 1979c).

As reuniões, de classes ou de relações, efetuam-se de maneira progressiva ou em forma contígua: cada classe ou cada relação se constitui seguindo uma determinada seqüência de encaixes. Essas composições operatórias são dicotômicas, quer dizer, se todos os A são B sem que seja verdadeira a recíproca, então os B são A ou não A (A'). Os encaixes de classes $A + A' = B$, $B + B' = \dots$ procedem de uma sucessão de distinções; esse é o referencial usado, por exemplo, na construção de um quadro sinóptico para se determinar o lugar de uma planta em uma classificação botânica (Piaget, 1979c).

O "agrupamento" constitui o conjunto de relações "intensivas" de parte a todo, e os encaixes de parte a todo formam as composições do sistema das complementaridades progressivas. As limitações próprias da dicotomia e da contigüidade asseguram ao agrupamento uma total reversibilidade, que traduz as operações lógicas fundamentais: $A + A' = B$ e $B - A' = A$ (ou $p \vee p' = q$ e $q.p' = p$) (Piaget, 1979c).

Os grupos, por outro lado, constituem o referencial característico de um pensamento operacional mais elaborado. Um grupo é um conjunto de elementos (por exemplo, os números inteiros) reunidos por uma operação de composição em que existem as possibilidades de: combinar duas ações

ou dois movimentos em um só; poder regressar ao ponto de partida (retorno); não atuar, o que equivale a um deslocamento com sua inversa; poder escolher entre vários itinerários sem que o ponto de chegada seja modificado; distinguir ações com efeito cumulativo daquelas em que a repetição não modifica em nada a ação inicial. Assim, a estrutura de grupo constitui um instrumento intelectual de coerência, que comporta a própria lógica e que é auto-regulada, sendo um instrumento de transformações racionais (Piaget, 1979c).

Nessa discussão, Piaget apresenta como questão epistemológica relevante o fato de a classificação sistemática em Biologia, como se apresenta em botânica e em zoologia ter se conservado como uma lógica de encaixes (ou qualitativa) até pelo menos a década de 90 do século 20. Na leitura piagetiana, o primordial do conhecimento científico, no campo das classificações construídas até a década em que ele formulou seus estudos na área, a de 70, é o caráter essencialmente lógico, ou seja, a utilização exclusiva dos "agrupamentos" de operações qualitativas, em oposição às operações extensivas e métricas. Em outras palavras, é o pensamento de encaixes, em oposição ao que estabelece outras relações matemáticas para além das relações de semelhança e de diferença que expressem, por exemplo, para os parentescos e filiações reais que identifiquem semelhanças por proposições numéricas ou quantitativas (Piaget, 1979c).

Recorda Piaget o fato histórico, muito significativo, representado pelo nascimento simultâneo da classificação zoológica e da lógica formal como disciplina particular. Nas ciências naturais, Aristóteles realizou trabalhos de anatomia comparada e de classificação muito superiores, em seu espírito biológico, ao que escreveu sobre a Física e, sobretudo, ao que compreendeu em relação ao papel da Matemática. Aristóteles compreendeu a idéia central da sistemática e propôs uma classificação hierárquica que vai desde as formas mais simples até as mais complexas. A determinação dos gêneros ou das classes corresponde aos princípios da lógica aristotélica, que, até a logística moderna, permaneceu como modelo de ciência que alcançou, desde o nascimento, seu estado definitivo. Diferindo da lógica das relações, a lógica de Aristóteles constitui, essencialmente, uma lógica das classes, um sistema de encaixes hierárquicos (Piaget, 1979c).

A classificação biológica consiste em reunir os indivíduos de acordo com suas semelhanças, que expressam parentesco ou filiação possível, em classes lógicas disjuntas de primeiro nível, as "espécies" (A). As espécies distinguem-se umas das outras pelas formas, dimensões, cores etc. Uma espécie A₁ é definida pelas qualidades que lhe são próprias e a fazem diferir das espécies vizinhas A₂, A₃..., que carecem destas qualidades. Existe uma partição dicotômica entre as espécies (Piaget, 1979c).

A reunião de espécies vizinhas constitui uma classe lógica de segundo nível, um "gênero". Um gênero (B) é o resultado da adição lógica de certo número de espécies, porém esse número não intervém como tal na constituição dele. Um gênero, então, é uma reunião de espécies que podem se repartir dicotomicamente de diferentes maneiras, de acordo com a presença ou a ausência de algumas qualidades. De forma geral, é a reunião de uma

espécie com as espécies vizinhas. Assim, eles baseiam-se no mesmo princípio de semelhança qualitativa que as espécies, porém, em um grau de generalidade superior, distinguem-se uns de outros graças a suas diferenças qualitativas, de acordo com a ausência ou a presença de um certo conjunto de qualidades comuns (Piaget, 1979c).

A reunião de certo número de gêneros constitui uma classe lógica de terceiro nível, uma "família" (C). De acordo com semelhanças, agrupadas segundo os mesmos princípios de encaixes hierárquicos, reúnem-se as famílias em classes chamadas "ordens" (D). Por sua vez, as "ordens" se juntam em níveis, chamados "classes" (E). As "classes" se agrupam em "ramificações" (F) e, por último, a reunião das "ramificações" forma um "reino" de nível G (Piaget, 1979c).

O caráter dicotômico das distribuições, nos diversos níveis, decorre da possibilidade de se distribuir qualquer classificação zoológica ou botânica em quadros de dupla entrada. Da espécie ao gênero, deste a família, existe um sistema de encaixes hierárquicos: A (espécie) < B (gênero) < C (família) < D (ordem) < E (classe) < F (ramificação) < G (reino). Portanto, na classificação zoológica e na botânica observa-se o modelo de um raciocínio por puros "agrupamentos" lógicos, que procede por quantificação exclusivamente intensiva. O raciocínio, assim, limita-se à quantidade intensiva, isto é, apenas à lógica de encaixes, e não alcança o terreno das quantidades extensivas e métricas. Ou ao que Piaget chama de quantificação. A topologia, por exemplo, pode ser utilizada na classificação e evolução, pois trabalha com transformações projetivas das espécies (Piaget, 1979c).

Piaget, referindo-se à persistente conservação do modelo intensivo, argumenta que o evolucionismo lamarckiano não modificou em nada a natureza lógica e qualitativa (intensiva) da classificação e se limitou a agregar às estruturas de classes as estruturas de relações lógicas: deixou intacta a contextura lógica da classificação das espécies (Piaget, 1979c).

Piaget vai dizer que essa situação se estende à anatomia comparada. Ele pergunta: em que consistem as estruturas operatórias da anatomia comparada, a partir do sistema de Cuvier, e quais são suas relações com as estruturas classificatórias? Respondendo, diz que Cuvier atribuía à anatomia comparada a função de assinalar tipos gerais e permitir a previsão da estrutura de conjunto de um animal a partir de um de seus elementos, como se procede em paleontologia. Assim, formulou um esboço do que foram depois os princípios da anatomia comparada e que indicavam em que direção devia se orientar o mecanismo operatório característico do pensamento comparatista: trata-se do princípio da "correlação dos órgãos" (Piaget, 1979c).

A palavra correlação, no sentido matemático, designa uma relação entre duas grandezas mensuráveis. No cálculo das correlações usa-se, geralmente, a fórmula de Pearson $r = \Sigma xy / (\Sigma x^2 \cdot \Sigma y^2)^{1/2}$, sendo que x representa as variações em relação à média dos valores do primeiro caráter e y as variações em relação ao segundo caráter. Contudo, advertiu Piaget, fala-se também de "correlação" em sentido puramente qualitativo para designar, por exemplo, os termos respectivos de duas relações conectadas por uma

relação lógica de semelhança: as patas dianteiras dos mamíferos equivalem às asas dos pássaros. Neste caso, a correlação expressa uma simples correspondência entre relações qualitativas e depende, assim, de um "agrupamento" multiplicativo de relações lógicas. Existe aí uma correlação qualitativa ou lógica (intensiva) quando os caracteres A_1 e A_2 são tais que se um está presente o outro também está. As quatro combinações A_1 e A_2 (presença de ambas); A_1 e A'_2 (presença de A_1 e ausência de A_2); A'_1 e A_2 (ausência de A_1 e presença de A_2) e A'_1 e A'_2 podem ser objeto de uma quantificação estatística. Designando com **a** letra a o número dos indivíduos da classe $A_1 A_2$, com **b** o número dos indivíduos da classe $A_1 A'_2$, com **c** o número dos indivíduos da classe $A'_1 A_2$ e mediante **d** o número dos indivíduos da classe $A'_1 A'_2$, obtém-se um índice de correlação que Yule designa como "coeficiente de associação", de acordo com a fórmula $q = (ad - bc) / (ad + bc)$ (Piaget, 1979c).

Piaget reiterou que essa correlação é qualitativa, ou seja, dizendo-se que "todos os A_1 são A_2 e reciprocamente", a correlação é perfeita, sem superar o marco da simples lógica. Na combinação das quatro classes em jogo existe uma simples multiplicação lógica das classes $B_1 (= A_1 + A'_1) \times B_2 (= A_2 + A'_2)$, o que consiste em uma correspondência que se expressa por "agrupamentos" multiplicativos de relações ou de classes lógicas. A correlação pode ser quantificada estatisticamente mediante uma medição das relações em jogo ou mediante uma enumeração dos indivíduos que pertencem às classes definidas (Piaget, 1979c).

Ele disse que se trata, em realidade, de correspondências lógicas e de um cálculo dos caracteres de classes. Dada uma classe geral ("ramificação", "classe", "ordem" etc.), definida por certo número de caracteres positivos ou negativos (presença ou ausência de certos órgãos), o princípio de Cuvier equivale simplesmente a destacar que a presença dos órgãos A_1, A'_1 etc., em uma das subclasses B_2 desta classe geral, corresponde à presença dos mesmos órgãos A_1, A'_1 etc. em uma qualquer das outras subclasses B'_2 . Concebida desta forma, a "correlação dos órgãos" expressa um simples jogo de correspondências lógicas, característico dos "agrupamentos" de multiplicações biunívocas de classes (Piaget, 1979c).

Para Piaget, a posição da anatomia comparada no universo dos conhecimentos biológicos surgiu a partir do momento em que os sistemas de relações e de correspondências qualitativas, junto com os sistemas de encaixes hierárquicos estabelecidos pela sistemática em suas classificações, apareceram como resultados de um duplo movimento evolutivo, constituído pela sucessão das próprias espécies e pelo desenvolvimento individual que corresponde ao campo da embriologia. Ele destacou como fecunda a colaboração da embriologia descritiva e da anatomia comparada, dizendo que no terreno das verificações embriológicas foi possível avaliar hipóteses sobre homologias e, por outro lado, a análise dos estágios embriológicos conduziu a um avanço da comparação sistemática (Piaget, 1979c).

A comparação descritiva dos estádios embriológicos comuns gera "agrupamentos multiplicativos" de relações e de classes, ou seja, correspondências qualitativas comparáveis com as da anatomia comparada. As investigações

sobre as "formas" constituem um vasto sistema de "agrupamentos" de operações lógicas e qualitativas (Piaget, 1979c).

A embriologia, disse Piaget, só adquire um caráter experimental com a introdução dos métodos físico-químicos quantitativos. Por outro lado, o estudo das formas, que depende do problema da evolução, prolongou-se no estudo das leis da herança e da variação, o que proporcionou mais um motivo para a introdução da quantificação (Piaget, 1979c).

A conclusão possível, segundo Piaget, é que existe uma correspondência notável entre o complexo sistema de encaixes das "formas" biológicas e o sistema das classes e das relações lógicas. A correspondência se observa, ponto por ponto, nos próprios detalhes dos "agrupamentos" operatórios de conjunto: "agrupamentos" aditivos no caso da classificação e multiplicativos no da anatomia e da embriologia comparada. Os "agrupamentos" de classes estão presentes nesses diferentes campos, porém com preponderância crescente dos agrupamentos de relações (Piaget, 1979c).

A convergência entre os sistemas de "formas" biológicas – tanto quando se trata de classes quanto de relações – e as estruturas totais constituídas pelas "formas" lógicas apresenta, do ponto de vista do conhecimento biológico e da gênese das estruturas lógicas, importância epistemológica significativa. A causa da convergência, segundo Piaget, é que os "agrupamentos" lógicos, ao contrário das estruturas matemáticas, dependem apenas da quantidade "intensiva". Cada "forma" biológica considerada isoladamente é matematizável; contudo, o encaixe destas "formas" é de caráter intensivo, isto é, a classificação que se efetua sobre as relações hierárquicas de parte e todo ignora as relações quantitativas entre as próprias partes (Piaget, 1979c).

Piaget, ao discutir o papel da matematização nas teorias da herança e da variação, colocou em foco estas preocupações: Qual é o objeto da matematização, os sistemas de "formas" ou as "formas" isoladas? A matematização se limita às variações ou alcança as transformações operatórias que explicam as estruturas classificadas ou comparadas?

Ele disse que é possível construir uma geometria extensiva ou métrica das formas vivas e inclusive uma mecânica matemática, na medida em que estas formas estejam condicionadas pelos movimentos do organismo durante seu crescimento, em função do meio ou em função das ações dos órgãos uns sobre os outros. Fala da concha dos moluscos como exemplo de formas geométricas simples e o enrolamento progressivo das espiras no transcurso do crescimento obedecendo a leis matemáticas cujo equivalente se observa nos vegetais, no caso do crescimento das folhas ao redor do ramo (série de Fibonacci, que rege, entre outras, as relações de posições e de ângulos) (Piaget, 1979c).

Falando de esforços de matematização de formas vivas, Piaget cita d'Arcy Thompson, que construiu um grande número de modelos matemáticos suscetíveis de serem aplicados aos grupos zoológicos mais diversos. Mostrou, por exemplo, a aplicação possível das transformações geométricas "afins" às diversas formas de peixes. Mostramos a seguir um fragmento do trabalho de d'Arcy Thompson (1977) citado por Piaget:

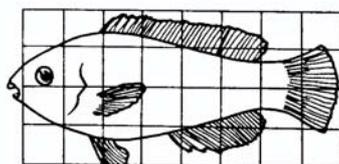


Figure 29. *Scarus* sp.

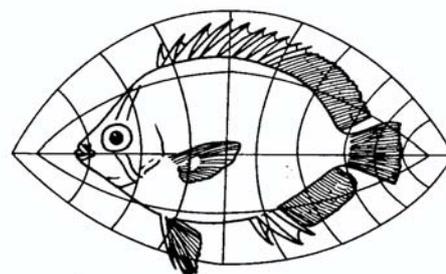


Figure 30. *Pomacanthus*.

A Figura 29 (do trabalho de Thompson, 1977) é o diagrama geral de um típico peixe Scaróide. Deformamos suas coordenadas lineares em um sistema (aproximadamente) de círculos coaxiais, como na figura 30, e, então, preenchemos o novo sistema, espaço por espaço, ponto por ponto, com nosso diagrama padrão do *Scarus*. Assim, obtemos linhas gerais muito boas de um peixe correspondente, pertencente a uma família próxima, do gênero *Pomacanthus*. Este caso é o mais interessante, pois em cima do corpo do nosso *Pomacanthus* há faixas coloridas estampadas, cujas direções correspondem muito proximamente às direções das linhas de nosso novo sistema de curvas coordenadas. Da mesma maneira, até as mais bizarras linhas gerais de outros peixes da mesma família dos *Chaetodonto* irão corresponder a modificações muito leves do sistema de coordenadas similar; em outras palavras, as pequenas variações nos valores das constantes das curvas coaxiais (Piaget, 1979c).

Piaget disse que cada "forma" biológica pode, em si mesma, ser matematizada, e que a passagem de uma forma a outra corresponde a uma transformação matemática possível. Isso indica que uma classificação natural dos seres vivos, com as relações de semelhança e de diferença expressando os parentescos e filiações reais, é passível de matematização ou quantificação. Entre uma "forma" de peixe e outra é possível se conceber uma relação de mudança de forma topológica, com um simples estiramento ou contração de figuras consideradas como elásticas. Pode-se determinar, como faz Thompson (1977), uma passagem que se reduz a uma transformação projetiva ou afim, e também podem se identificar semelhanças e proposições numéricas etc. (Piaget, 1979c).

No entanto, alertou Piaget, desse modo se constroem simples séries ideais sem alcançar leis matemáticas que determinem a extensão ou a amplitude das classes de diversos níveis e, sobretudo, sua ordem de sucessão. A matematização das formas consideradas de modo isolado, ou de suas transformações possíveis, não produz a matematização da classificação. Seguindo um modelo análogo ao da tabela de Mendeleiev, os encaixes produzidos continuam sendo de natureza lógica (intensiva), mesmo quando os elementos considerados isoladamente sejam suscetíveis de matematização (Piaget, 1979c).

Segundo Piaget, a biometria recoloca as simples classes lógicas, constituídas pelas espécies e suas variedades, mediante classes numéricas ou conjuntos, caracterizadas por uma distribuição de frequência estatística. Recoloca, também, as simples relações qualitativas de semelhanças e de diferenças, que definem estas classes lógicas, mediante um sistema de relações mensuráveis, expressas sob as formas de curvas de variabilidade ou de correlações métricas (Piaget, 1979c).

Mesmo destacando serem evidentes os progressos registrados, Piaget afirma que, até a década de 70, época em que apresentou seus trabalhos sobre as epistemologias das ciências, a matematização estava a meio caminho do que se requer para construir uma lei de sucessão propriamente quantitativa (ao mesmo tempo em que é qualitativa) que caracterize a classificação. Isso ele atribui a que as medições atuais não determinam os encaixes como tais porque não se efetuam sobre o mecanismo das variações, isto é, sobre as transformações em si mesmas, mas só sobre seus resultados (Piaget, 1979c).

A biometria acaba conservando os encaixes de classes e de relações, assim como seus agrupamentos lógicos, ao não poder gerá-los mediante novas operações, matemáticas, que se efetuariam sobre as próprias transformações e que superariam o marco dos "agrupamentos", alcançando os grupos matemáticos. Com referência aos genótipos, Piaget diz ser essencial medir as transformações, o que equivaleria a expressar seu mecanismo causal recorrendo a operações extensivas ou métricas, em lugar de limitar-se a descrever os encaixes mediante operações lógicas (Piaget, 1979c).

Matematizar as formas e matematizar a espécie até chegar à constituição de uma classificação quantitativa seria, para Piaget, matematizar o próprio mecanismo da herança, isto é, explicar operatorialmente a estabilidade dos invariantes genotípicos e das transformações genéticas que determinam as variações hereditárias (Piaget, 1979c).

Em relação às leis da herança mendeliana, Piaget disse que se trata de relações combinatórias que determinam a probabilidade da mescla ou da dissociação dos genótipos e não leis de transformação que explicam a variação ou a estabilidade e, também, a causa dos encaixes classificatórios ou das filiações genéticas. Por isso, para ele, a lei fundamental de Mendel constitui um modelo de leis combinatórias simples. Sejam duas raças puras A_1 e A_2 , cujos representantes cruzamos. O resultado médio provável do cruzamento, observado sobre números suficientes, será $nA_1 + 2nA_1A_2 + nA_2$, isto é, a metade dos descendentes apresentará simultaneamente os caracteres genéticos de A_1 e A_2 , um quarto terá só os caracteres de A_1 e um quarto os de A_2 . A matematização introduzida por esta lei não se refere às características que distinguem A_1 e A_2 , nem à classificação destes genótipos, mas à probabilidade de mescla dos genes de A_1 e A_2 , de acordo com as quatro disposições possíveis $A_1A_1 + A_1A_2 + A_2A_1 + A_2A_2$. (Piaget, 1979c).

Piaget afirmou que as leis da herança formulam relações de combinações entre caracteres constituídos. Enquanto isso, a análise dos genes e de seu mecanismo fatorial se relaciona com as transformações. Daí ele dizer que a chave da possível matematização das classificações se encontra na

análise fatorial, ao menos na escala da espécie e da herança especial: o conjunto das filiações e dos encaixes seria suscetível de ser quantificado e reduzido a leis de sucessão ou de transformações, na medida em que a ação dos "fatores" poderia produzir um sistema operatório matematicamente definido (Piaget, 1979c).

Piaget enfatizou que nosso conhecimento se relaciona mais com o resultado dos processos íntimos de transformação que com os próprios processos. Ele diz que, apesar de os "fatores" genéticos poderem ser comparados com uma álgebra, trata-se de uma álgebra lógica ou qualitativa. Diz também que, embora os genes possam ser assimilados a determinados tipos de átomos, no momento refere-se a um atomismo similar ao postulado pelos gregos, não de elementos mensuráveis em suas propriedades intrínsecas (Piaget, 1979c).

Referindo-se às dificuldades encontradas até a década de 70 para a matematização nos campos da Biologia relacionados aos encaixes e à filiação das "formas", Piaget afirmou que estas se devem, essencialmente, ao fato de que estes mecanismos constituem uma história, isto é, existe um compromisso entre certos desenvolvimentos regulares, com a mescla ou a interferência das séries causais. O campo de resistência à matematização seria o dos processos históricos ou diacrônicos, já que eles são solidários a certa irreversibilidade ligada ao transcurso dos acontecimentos no tempo, enquanto as interações causais de caráter sincrônico, como é o caso dos fenômenos fisiológicos, podem ser reduzidas com maior facilidade à medição físico-química (Piaget, 1979c).

Ao argumentar sobre a razão de os sistemas surgidos dos desenvolvimentos históricos carecerem de composição completa e de resistirem a toda dedução operatória de natureza matemática e, ao mesmo tempo, admitirem uma estruturação de "agrupamentos" lógicos bem definidos de classes e de relações, Piaget disse que esses agrupamentos consistem em encaixes hierárquicos de suas classes em classes totais ou de relações parciais em relações de conjunto, baseiam-se apenas em relações de parte e todo. Pelo contrário, as estruturas matemáticas admitem que os elementos parciais sejam relacionados entre si, e, sobretudo, supõem a construção de unidades. Disso decorre que as formas lógicas caracterizadas por qualidades "predicativas" (isto é, independentes de uma lei de formação) e não por uma lei de construção (como as formas geométricas ou numéricas etc.) correspondem, sem dificuldades, aos sistemas de formas vitais. As formas matemáticas, por sua parte, de composição mais profunda, não se adaptam sem resistência a essas estruturas de conjunto (Piaget, 1979c).

A fisiologia, devido a seu caráter sincrônico, caminhou muito rapidamente do qualitativo ao quantitativo. Nesse sentido, diz Piaget, na história da fisiologia a curva de evolução da causalidade apresenta grande interesse: pode ser caracterizada pela passagem progressiva da "forma" qualitativa à lei (Piaget, 1979c).

As primeiras explicações da vida e das atividades vitais mais visíveis consistiram, simplesmente, em imaginar um princípio motor que se confundia com a própria alma. Pode-se observar algo semelhante, inclusive, em

Aristóteles. Todo movimento, segundo ele, supõe uma forma que move e uma matéria que é movida; no caso da vida, a "forma" é a alma, que é ao mesmo tempo princípio do movimento e da morfologia do corpo, enquanto a matéria é a substância do próprio corpo (Piaget, 1979c).

No trânsito do qualitativo ao quantitativo, na fisiologia, Piaget apontou a teoria formulada por Harvey (século 17) como constituindo a primeira interpretação propriamente física de um fenômeno fisiológico. Ele salienta ser interessante observar que na origem dessa teoria física está um pensamento orientado pela conservação. Baseando-se no número de pulsações, Harvey comprovou que, no marco da teoria de Galeno, o ventrículo esquerdo deveria enviar à aorta, ao longo de uma hora, uma quantidade de sangue que equivaleria a três vezes o peso do corpo humano (à razão de duas onças por pulsação). De onde viria, então, o sangue? Devia existir a conservação do sangue e não uma produção contínua: nisso se baseia o descobrimento do processo circular dos movimentos do sangue, verificado por uma longa observação das etapas da circulação e do trabalho do coração. A partir dos descobrimentos de Galileu e da criação da mecânica, N. Stensen e G. A. Borelli (em 1667 e 1680) constroem uma mecânica muscular e aplicam o princípio da composição das forças a movimentos dos músculos e do corpo em geral. Desde o começo da fisiologia experimental, algumas explicações como as da circulação ou das ações musculares se orientam pela físico-química e mostram a intenção da redução operatória e do uso da experiência (Piaget, 1979c).

Piaget destacou que quando se trata de um problema particular (por exemplo, o caso da circulação), sua quantificação expressa, simplesmente, um funcionamento atual e sincrônico. Não expressa, em absoluto, uma história (Piaget, 1979c).

Em síntese, ao longo das discussões que desenvolveu acerca da epistemologia da Biologia, Piaget mostra que os "agrupamentos" lógicos constituem o referencial predominante a que recorre o pensamento biológico. Nesse percurso, um marco fundado na estrutura de grupo surge como um desafio para a mudança de patamar do pensamento biológico. Evidencia, também, que a freqüente resistência dos processos biológicos à matematização reside no caráter predominantemente diacrônico da Biologia e, também, no fato de essa ciência tratar essencialmente de sistemas abertos (Piaget, 1979c).

Que ensinamentos os estudos de Piaget oferecem para a iniciação à Biologia?

Um ensinamento básico é o de que a epistemologia do pensamento das ciências biológicas postula que a Biologia é uma ciência que não pode prescindir da observação e experimentação; o sujeito biólogo precisa de seu "objeto" para a elaboração de leis e teorias. Na situação de ensino esta conduta empírica de observação e experimentação não pode ser abandonada. O ensino de ciências e sua iniciação não podem prescindir de atividades

de campo, de laboratório ou de atividades lúdicas científicas. Ou como disse Sagan (1996, p. 29), pensar de modo científico requer nossa compreensão qualitativa e quantitativa desse objeto. Pensar cientificamente um objeto é conhecer, descrever e prever e até mesmo "perceber sua beleza".

Um marco que quisemos estabelecer neste artigo é: as ciências biológicas se fundaram em um campo de observação e experimentação. Sua epistemologia nos leva a compreender a dependência de seus "objetos". Na escola, na situação de ensino, não é possível se afastar muito dessa origem empírica. Apesar de os livros didáticos constituírem-se em recurso mais utilizado pelos professores, não podemos esquecer de que as ações dos alunos com alguns "objetos" desse campo são imprescindíveis à aprendizagem.

O fato de o pensamento biológico em sua origem recorrer predominantemente aos "agrupamentos" lógicos tem uma implicação educacional bastante significativa, pois há áreas acessíveis às crianças no processo de iniciação à ciência.

Um dos primeiros caminhos para a iniciação às ciências biológicas para as crianças pequenas pode partir da exploração e conhecimento de seus próprios corpos. Por exemplo, as comparações de suas digitais. Cada criança imprime sua digital em uma folha e pode compará-las. Não encontrarão nenhuma digital igual. São semelhantes, mas não são iguais. Poderão estabelecer comparações dos ossos dos corpos humanos utilizando Raio-X de partes do corpo de crianças e adultos. Há muitas atividades que abrem possibilidades para uma iniciação às ciências com crianças desde as mais pequenas (Rockell, 1996). São atividades que permitem o trabalho com estimativas matemáticas.

Em um nível mais elaborado, mas ainda com crianças pequenas, as classificações zoológicas e as botânicas, por exemplo, são próprias para serem exploradas, pois os problemas de classificação se reduzem às questões de coordenação entre semelhanças e diferenças, bem adequadas para o pensamento infantil.

Também os problemas propostos pela anatomia comparada levam a criança a resolver problemas explorando o que Piaget chamou de "proporções qualitativas" ou aquilo que Spearman (Piaget, 1979c) chamou de trabalho com a dedução de correlatos, como: "a asa do pássaro está para a pata dianteira do cão assim como...". Dedução ou comparação de órgãos que levam à formulação de hipóteses sobre a evolução das espécies.

Em situação de ensino, as ciências biológicas oferecem um terreno muito fértil para a exploração qualitativa de seres e de relações entre seres. A criança que explora acrescenta a esse cenário o encantamento e a curiosidade diante das maravilhas de um mundo que – para ela, criança – está absolutamente em construção.

Em complemento a isso, quando Piaget discute a iniciação à ciência aponta o desenvolvimento do espírito de experimentação como algo fundamental. Em sua argumentação lembra-nos que a tendência natural do espírito humano é a de intuir o real e deduzir, não de experimentar, porque a experimentação não é como a dedução, uma construção livre, espontânea e direta da inteligência. A experimentação supõe a submissão do espírito aos

dados exteriores, aos caracteres percebidos, ao jogo de semelhanças e diferenças: isto exige um esforço maior de adaptação.

Nesse sentido, a natureza "realista" do conhecimento biológico faz da Biologia um território importante para o exercício da observação, do estabelecimento de relações, da identificação de padrões da natureza: listras das zebras, dos lagartos e de tantos animais além de plantas e outros seres. Ou seja, é um espaço fértil para cultivar a prática do olhar pensante, como disse Goethe (1996). É, também, nas palavras de Sagan (1996, p. 29), conhecer o potencial de uma área, compreender seu alcance e não renunciar aos nossos direitos civis de compreender e de transformar o mundo.

Referências bibliográficas

CARVALHO, Anna Maria Pessoa; GIL-PÉREZ. *Formação de professores de ciências*. 7. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. São Paulo: Cortez, 2002.

GOETHE, Johann W. *Ciência e Arte*. Trad. Marcelo Grüel. Universidade Federal de Santa Catarina, 1996. Texto mimeografado.

INHELDER, Bärbel; PIAGET, Jean. *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.

LERNER ZUNINO, Delia. *A matemática na escola: aqui e agora*. Porto Alegre: Artmed, 1995.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Organização do conhecimento escolar: analisando a disciplinaridade e a integração. In: CANDAU, Vera Maria. *Linguagens, espaços e tempos no ensinar e aprender*. Rio de Janeiro: DPGA Editora, 2000.

MONTANGERO, Jacques; MAURICE-NAVILLE, Danielle. *Piaget ou a inteligência em evolução*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

NOGUEIRA, Clélia Maria Ignatius. *O desenvolvimento das noções matemáticas na criança e seu uso no contexto escolar: o caso particular do número*. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

PIAGET, Jean. *A epistemologia genética*. Rio de Janeiro: Vozes, 1973.

_____. *A situação das ciências do homem no sistema das ciências*. Lisboa: Bertrand, 1970.

PIAGET, Jean. *Epistemologia de la física*. Buenos Aires: Ediciones Paidós, 1979a.

_____. *Epistemologia de la física*. Buenos Aires: Ediciones Paidós, 1979b.

_____. *Introducción a la epistemología genética: el pensamiento biológico, psicológico y sociológico*. Buenos Aires: Paidós, 1979c.

_____. *Introducción a la epistemología genética: el pensamiento matemático*. Buenos Aires: Paidós, 1978.

_____. *Investigaciones sobre la generalización*. Buenos Aires: Premia Editora, 1984.

REBOUL, Olivier. *Introdução à Retórica*. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

ROCKELL, R. B. et al. *Todos têm um corpo*. A ciência da cabeça aos pés. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

RUIZ, Rodrigues Adriano; BELLINI, Luzia Marta. *Matemática, Epistemologia Genética e Escola*. Londrina: Edições Cefil, Universidade Estadual de Londrina, 2001.

SAGAN, Carl. *Bilhões e bilhões*. Reflexões sobre vida e morte na virada do século. São Paulo: Cia. das Letras, 1996.

THOMPSON, D'Arcy Went Worth. The comparison of related forms. In: ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA. The Great Ideas Today. *On Growth and Form*, Chicago, 1977.

Marta Bellini, professora doutora do Departamento de Fundamentos da Educação e Mestrado em Educação para Ciência e Ensino de Matemática da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

martabellini@uol.com.br

Recebido em 12 de setembro de 2006.

Aprovado em 15 de dezembro de 2006.