

FUNDAMENTOS DE SISTEMÁTICA FILOGENÉTICA PARA PROFESSORES DE CIÊNCIAS E BIOLOGIA

José Carlos de Oliveira (UFJF/DZOO - jcarlos.oliveira@ufjf.edu.br)

Introdução

A Sistemática Filogenética é uma metodologia de classificação dos organismos que busca refletir a história evolutiva dos grupos e reuni-los com base no grau de parentesco filogenético. Esta metodologia foi proposta por Willy Hennig em 1950 mas só teve ampla divulgação depois de traduzida do alemão para o inglês, em 1965. No Brasil, esta metodologia foi introduzida mais de dez anos depois, nos cursos de pós-graduação em Sistemática e Taxonomia. Como geralmente acontece com as novidades científicas, esta inovação demorou cerca de 20 anos para chegar aos cursos de graduação e mais dez anos para chegar ao ensino médio. Obviamente, levará ainda outros dez anos para que ela se torne a metodologia usual.

O maior problema na divulgação de uma novidade científica é a falta de preparo dos vários agentes na cadeia de comunicação, aliada a questões mercadológicas. Desse modo, os autores de livros resistem à introdução nos seus textos destas novidades, temendo queda nas vendas, já que os professores terão dificuldades em ensinar um assunto que (como eles próprios) não aprenderam na graduação. Por outro lado, no caso específico da classificação dos organismos, a grande maioria dos alunos de ensino fundamental e médio não deverá cursar biologia e, dentre os interessados, a grande maioria não vai se especializar em Sistemática e Taxonomia. Esses argumentos geralmente justificam a adoção de um sistema artificial de classificação, aparentemente mais simples.

Todavia, para o aluno que nunca viu o tema, a dificuldade em aprender os conceitos atuais é a mesma em assimilar conceitos ultrapassados. O dinamismo da ciência é cada vez mais rapidamente divulgado, graças aos avanços nos meios de comunicação. Essa divulgação é muito eficiente nos assuntos que tratam de aproveitamento econômico e tecnológico de descobertas, como a genômica, a clonagem, a engenharia genética e tantos aprimoramentos no conhecimento de doenças. Tais novidades aparecem muito cedo nos livros de ensino médio, mas aquelas quase estritamente acadêmicas e que tratam dos seus alicerces seculares permanecem muito tempo restritas à academia.

Particularmente resistentes à modificação são os modos de agrupamentos dos organismos. A classificação antiga, sintetizada por Aristóteles, perdurou por quase 2.000 anos. A classificação proposta por Lineu, ainda nos moldes aristotélicos, resiste há mais de

250 anos. O advento do evolucionismo no século XIX e mesmo os avanços tecnológicos na capacidade de investigar micro-organismos, no século XX, não abalaram a estrutura estabelecida por Lineu no século XVIII e detalhada por Lamarck no início do século XIX. Essa estrutura só ruiu ante o acúmulo de incongruências evidenciadas pela Sistemática Filogenética.

Todos os sistematas atuais usam ferramentas filogenéticas. Já existe um número significativo de obras específicas sobre cladismo, um dos quais produzido no Brasil (AMORIM, 2002). Livros-texto universitários novos e reedições de obras consagradas inserem, mais ou menos intensamente, conceitos cladísticos no seu conteúdo. Muito recentemente, alguns livros-texto de ensino médio e fundamental já apresentam essa metodologia, muito embora, de modo pouco convincente porque os autores insistem em manter a seqüência do desenvolvimento do conteúdo segundo a sistemática tradicional (LOPES, 2003; VASCONCELLOS & BERTOLDI, 2000). Aparentemente, esses autores entendem ser impossível uma mudança radical, o que é compreensível.

Os mini-cursos em que foi apresentado o texto a seguir procuram abreviar o intervalo entre o ensino superior e médio, trazendo aos professores alguns conceitos básicos de Sistemática Filogenética e, ao mesmo tempo, tornar mais assimilável um conteúdo que parece ter algum mistério só acessível aos iniciados. Para isso, o texto emprega apenas um pequeno número de termos técnicos e é apresentado na forma de apontamentos numa seqüência até certo ponto cronológica e até certo ponto aprofundada. O leitor poderá ter uma outra seqüência (ou nenhuma seqüência) para a leitura. A numeração dos apontamentos visa facilitar a anotação preferencial. Houve preocupação em comparar a metodologia cladística com a metodologia tradicional e com a metodologia numérica, ressaltando, evidentemente, as propriedades da filogenética.

Para compreender a Sistemática Filogenética, são úteis os seguintes fundamentos:

Escolas sistemáticas

1. O objetivo da organização (ou ordenação) é parte do objetivo da simplificação. A classificação é o processo de organização pelo qual um conjunto de dados é dividido em unidades com alguma afinidade, pela qual é possível abordar um subconjunto, tornando mais simples e direta a análise. A classificação tem, assim, um propósito sobretudo didático.

2. As primeiras classificações dos organismos não tinham qualquer finalidade filética (ou seja, de se investigar a origem e parentesco entre eles), uma vez que se supunha que a origem de todos os seres vivos era única e ao mesmo tempo, ou seja, não havia graus diferentes de parentesco. Entretanto, desde o início da civilização ocidental, o mundo era dividido entre seres brutos e seres vivos, e estes entre animais e vegetais.
3. Portanto, não se pode afirmar que a classificação proposta por Lineu era “artificial”, em contraposição à classificação adotada atualmente na maioria dos livros de Ciências e de Biologia, dita “natural” (note, porém, que há mais de uma). Simplesmente, os parâmetros são outros. Na verdade, em termos evolutivos, a classificação adotada nesses livros não é natural.
4. Até meados do século XIX, a sistemática não estava bem estruturada em relação aos princípios básicos e métodos, e todos os sistematas seguiam a escola "Tradicional". A ordenação dos grupos dependia, em larga extensão, da tradição e da autoridade do pesquisador. Os grupos eram formados por semelhanças (geralmente, aparência externa) ou por ausência daquelas semelhanças, sem a preocupação com a sua natureza.
5. Esta escola, fundada pelos gregos e adotada pelo mundo cristão com a assimilação das idéias de Aristóteles, empregava a intuição como ferramenta e teve em Lineu o maior propagador. A idéia de semelhança (ou proximidade) era dependente de conceitos criativistas e não tinha o significado que de parentesco adquiriu mais tarde, com o evolucionismo.
6. A distinção do homem à parte da natureza, como fruto de uma criação especial, levou à classificação dos demais organismos em superiores e inferiores, segundo o seu grau de complexidade estrutural, uma abordagem válida para animais e vegetais. Esta abordagem ganhou força com a aceitação da idéia de evolução que, a princípio e ainda em algumas tendências atuais, foi considerada como sinônimo de progresso e aperfeiçoamento que culmina com o homem.
7. O advento do transformismo, que levou à teoria da evolução, deu origem à escola "Evolutiva". Esta escola nasceu fortemente impregnada pelos conceitos anteriores, de sorte que a evolução foi tratada como "progresso" ou "aperfeiçoamento" em direção ao homem. Um organismo é tão mais evoluído quanto mais se aproxima do homem e tão mais primitivo em "direção" oposta. A mesma idéia foi adotada em relação às plantas, em que condições mais complexas são consideradas mais evoluídas. Algumas tendências

adotaram, por conseguinte, a idéia de "involução" como definição da degeneração anatômica e/ou funcional.

8. A escola evolutiva ou "Gradista" agrupa táxons considerando a genealogia dos grupos e o grau de diferença entre eles; se entre dois grupos descendentes de um mesmo ancestral um deles sofre grandes alterações (visuais) em relação a este ancestral e se torna numeroso (bem sucedido), enquanto o outro permanece muito semelhante a este e, geralmente, pouco representado, então o primeiro grupo recebe especial atenção e é promovido em função da sua "capacidade de adaptação".
9. Esta "promoção" implica em equiparar os que sofreram maior alteração ao restante do grupo, dando-lhes o mesmo escalão. Conseqüentemente, se num determinado grupo várias linhagens evoluíram em várias direções, com alterações diversas, cada linhagem receberá um escalão, tanto mais alto quanto mais diversificada for em relação ao "padrão primitivo".
10. Na segunda metade do século XX surgiram duas escolas modernas de teoria e prática sistemáticas: "Filogenética" (ou "Cladista" ou "Cladística"), que surgiu na década de 50, e "Fenética" (ou "Numérica"), que se desenvolveu com o advento da informática. Embora ainda amplamente adotada em livros-texto, as classificações gradistas não são aceitas pela maioria dos sistematas atuais.
11. As escolas "Cladística" e "Numérica" têm princípios rígidos, idéias claras e métodos teóricos bem fundamentados. A "Numérica" (ou "Fenética") é conservadora e não leva em conta a filogenia, mas apenas o grau de semelhança (ou similaridade) entre indivíduos. Para esta escola, a classificação não precisa refletir a filogenia. Antes, ela indica a maior ou menor quantidade de adaptações em comum.
12. A metodologia da investigação numérica emprega análise combinatória de extensas matrizes de grupos versus caracteres. O resultado é expresso em diagramas (dendrogramas) denominados fenogramas. Os feneticistas afirmam que um fenograma baseado em um grande número (centenas) de caracteres provavelmente representará a filogenia do grupo.
13. É comum que os fenogramas representem afinidades evolutivas e proximidade de parentesco pois, geralmente, grupos próximos são mais assemelhados, mas, fatalmente, também irá aproximar grupos distantemente aparentados que evoluíram paralelamente como resposta às mesmas pressões evolutivas (denominados vicariantes ecológicos).

Filogenia e genealogia

14. Os filogeneticistas baseiam-se exclusivamente na genealogia e procuram saber como ocorreu a história filogenética, estabelecendo graus de parentesco. Os feneticistas não negam esta história, mas opinam que, para objetivos práticos, o sistema classificatório não precisa refleti-la e apenas deve mostrar a similaridade entre os táxons.
15. As técnicas da Taxonomia Numérica têm sido empregadas por filogeneticistas que usam programas computacionais que filtram informações e reorganizam o dendrograma, resultando em um ou mais diagramas, às vezes denominados "árvores filogenéticas". Em geral, das várias "árvores" resultará uma "árvore de consenso" que será submetida a testes de falseamento, ou seja, serão checadas as dicotomias (divisão dos ramos) e plotados (lançados) caracteres adicionais para testar a sua "resistência".
16. Não há uma relação absolutamente concordante entre parentesco e similaridade. Duas espécies mais aparentadas entre si nem sempre são mais semelhantes se comparadas a uma terceira. A sistemática filogenética postula que a melhor classificação é aquela que reflete a história (evolutiva ou genealógica) do grupo que está sendo classificado, independente do grau de semelhança total dos representantes atuais.
17. Os sistematas das escolas Filogenética e Evolutiva consideram que podemos, objetivamente, inferir a história da vida e que a classificação deveria ser baseada nesta história. Estas duas escolas divergem em que os cladistas insistem em que todos os táxons sejam entidades genealógicas enquanto os gradistas argumentam que outros aspectos (por ex.: distinção morfológica ou ecológica e distribuição) devem ser considerados na delimitação de táxons.
18. A filogenia é uma história de descendência e, como axioma da sistemática filogenética, supomos que existe uma única filogenia para todos os seres vivos. Ou seja, a vida apareceu na Terra uma única vez e, no princípio, havia uma única espécie. Assim, duas espécies (ou dois táxons) serão tão mais aparentadas(os) quanto mais recente estiver situado o último ancestral comum a ambas(os).
19. Não há sentido em dizer que duas espécies são muito ou pouco aparentadas, se não houver um referencial. O parentesco filogenético é estabelecido em termos de ancestralidade comum. Este conceito é definido relativamente, sempre comparando 3 unidades taxonômicas quaisquer. Assim, dizemos que duas espécies X e Y são mais aparentadas

entre si do que qualquer uma delas com uma terceira espécie Z, somente se X e Y tiverem pelo menos um ancestral comum que não seja ancestral de Z.

20. A representação (cladística) gráfica da filogenia é um dendrograma (ou diagrama) denominado cladograma. Num cladograma ideal os ramos sofrem bifurcações (dicotomias) até chegar aos táxons mais inclusos (ou restritos) denominados táxons terminais. Todavia, é comum diagramas com politomias (ramos trifurcados, etc.) pela falta de caracteres distintivos no conjunto caracteres escolhidos para análise.
21. Cada dicotomia deve ser fundamentada por pelo menos dois caracteres, cada um dos quais define (por ser apomórfico) um ramo da dicotomia. Desse modo, para cada caractere, uma sinapomorfia num ramo corresponde a uma plesiomorfia no outro. Cada dois caracteres (ou seja, um par) assim dispostos constituem uma heterotomia.
22. O conceito de caractere tem significados diferentes nas escolas gradista e cladista; na primeira, caractere é sinônimo de estrutura e, na segunda é sinônimo de transformação da estrutura. Para que um caractere seja empregado na escola cladista é, portanto, necessário que ele tenha sofrido transformação, sendo a condição anterior (“primitiva”) denominada ancestral ou plesiomórfica, e a posterior (“evoluída”) denominada derivada ou apomórfica. Em síntese, na escola gradista tem-se, nesse caso, dois caracteres, e na cladista tem-se duas condições do mesmo caractere.

Agrupamentos

23. A noção de ancestralidade permeia as escolas gradista e cladista. Ambas as escolas denominam grupo monofilético àquele que tem uma única origem (ou um único ancestral). A diferença está em que para a escola gradista, o ancestral comum é um organismo hipotético, denominado arquétipo, no qual todos os caracteres - modificados em diferentes níveis nos representantes atuais - estão na condição primitiva. Partindo deste arquétipo, são formados grupos de acordo com a quantidade de modificações.
24. Para a escola cladista o ancestral comum de um grupo monofilético é uma espécie (isto é uma comunidade reprodutiva isolada) que realmente existiu. Para esta escola grupo monofilético é o conjunto de espécies, recentes ou fósseis, que compartilha a condição modificada de um caractere, que inclui a espécie ancestral na qual essa condição modificada surgiu e todos os seus descendentes. Por isso, alguns filogeneticistas nomeiam esses grupos de holofiléticos, para não confundir com o conceito antigo de grupo monofilético, usado pelos gradistas.

25. Dos enunciados acima, deduz-se que, para a escola gradista, o ancestral comum de um grupo monofilético não precisa estar incluído no grupo considerado nem precisa ser exclusivo dele, ao contrário da escola cladista em que o ancestral comum deve ser exclusivo e incluído no grupo considerado.
26. A escola filogenética divide os agrupamentos dos seres vivos em duas categorias: grupos monofiléticos (ou holofiléticos) e merofiléticos. "Mero" significa parte, no sentido de que estes grupos são parte de um grupo holofilético (holos = todo, inteiro). Os grupos merofiléticos são subdivididos em duas outras categorias: parafiléticos e polifiléticos. A escola cladista reconhece apenas os monofiléticos como grupos naturais.
27. Um grupo parafilético é definido com base em plesiomorfias (em alguns casos, misturadas com apomorfias); um grupo polifilético é definido por homoplasias (convergências, reversões e paralelismos). Na escola gradista um grupo parafilético é reconhecido como monofilético, já que preenche o critério de ter um único ancestral. Ambos os tipos de grupos são aceitos pelas escolas Gradista e Fenética.

Analogia e homologia (estruturas homólogas e estruturas homogenéticas)

28. Se duas ou mais estruturas desempenham funções semelhantes nos organismos que as portam, estas estruturas são denominadas análogas, independente das suas origens; se duas ou mais estruturas em organismos diferentes são derivadas da mesma estrutura ancestral, são denominadas homólogas, independente das suas funções.
29. Em um par de condições homólogas, a condição pré-existente (mais antiga) é uma plesiomorfia e a condição modificada (mais recente) é uma apomorfia. Apomorfias de um táxon terminal são denominadas autapomorfias.
30. O conceito de homologia também é diferente na escolas gradista e cladista. A asa do tucano e o membro anterior de um lagarto formam um par de condições homólogas, assim como a asa do morcego e o membro anterior do rato. Como este membro no réptil é homólogo ao do mamífero, a escola gradista considera ambas as asas homólogas.
31. Por outro lado, o ancestral da ave era um réptil que não tinha asas e o ancestral do morcego era um mamífero que também não tinha asas. Portanto, como as asas em ambos os grupos surgiram independentemente, estas estruturas não são homólogas no sentido cladístico. Para evitar esta confusão a escola cladista criou a expressão "condição homogenética". No sentido cladístico, duas estruturas só podem ser homólogas se forem

resultantes de transformações de uma mesma estrutura, num mesmo processo, ou seja, se forem homogenéticas.

32. Convergência e paralelismo: Normalmente, a convergência é caracterizada por semelhança superficial, devida apenas à semelhança funcional. A estrutura do caractere é muito diferente, por exemplo, as asas de aves e morcegos, embora de mesma função e originadas dos membros anteriores de tetrápodos, têm histórias evolutivas independentes. No paralelismo há uma maior proximidade filogenética, ou seja, um patrimônio genético semelhante; as transformações são mais simples, por exemplo, padrões semelhantes de faixas em espécies próximas de *Drosophyla* mas originados independentemente.
33. Apomorfia e plesiomorfia são condições relativas; um mesmo caractere é sempre relativamente apomórfico e relativamente plesiomórfico, a menos que seja uma autapomorfia. Por exemplo, a presença de 5 dedos no pé humano é uma condição derivada (apomórfica) em relação aos primeiros tetrápodos, que tinham mais dedos, mas ancestral (plesiomórfica) em relação aos mamíferos que tiveram redução no número de dedos, como a anta; já a presença de um único dedo funcional no pé do cavalo, do burro e da zebra é uma autapomorfia da família Equidae.
34. Sinapomorfia = apomorfia conjunta, isto é, um indivíduo ou um táxon tem uma apomorfia; todos os táxons que partilham aquela apomorfia têm uma sinapomorfia. Por exemplo, uma apomorfia de um gênero é uma sinapomorfia das espécies deste gênero. Sempre que há uma sinapomorfia, há uma simplesiomorfia correspondente.
35. A reversão é um tipo particular de apomorfia, no qual o caractere volta a ser semelhante à condição ancestral. Desse modo, pode ocorrer num cladograma dois ou mais grupos (ramos) não estreitamente aparentados, nos quais um determinado caractere é semelhante, porém, em um ou mais dos grupos ele se encontra na condição plesiomórfica e em outros na condição derivada (por ex. rudimentos (= início de crescimento) X vestígios (= crescimento seguido de atrofia) de chifres).

Polaridade de caracteres

36. Os grupos monofiléticos são definidos na escola cladista por novidades evolutivas (apomorfias). Essas novidades são indicadoras de eventos cladogênicos, ou seja, do aparecimento de novos ramos filogenéticos. Para se reconhecer uma novidade evolutiva deve-se estabelecer a condição ancestral (plesiomórfica) e a(s) derivada(s) (apomórficas), através da polarização dos caracteres.

37. Durante a filogenia (ou genealogia) os caracteres podem alterar-se ou não. Uma dicotomia mostra, num dos ramos, a condição não alterada em relação à espécie ancestral e, no outro, a condição alterada. Uma ameba atual é mais evoluída que um dinossauro extinto. Todavia, o dinossauro, apesar de extinto, tem muitos caracteres mais recentes que o observado numa ameba atual (onde, aliás, podem estar ausentes).
38. Os diferentes estados de um caractere, resultantes de transformação, constituem uma série de transformação cuja direção é estabelecida pela polarização dos caracteres (ou dos estados de um caractere). Polarizar significa descobrir qual a condição ancestral (plesiomórfica) e qual a derivada (apomórfica) (ou qual a seqüência, se houver mais de duas condições).
39. Para polarizar caracteres, parte-se da hipótese de que o grupo que está sendo investigado é monofilético e testa-se esta hipótese. Ela será aceita ou rejeitada de acordo com o número de congruências e incongruências em relação a outro(s) modelo(s). Um caractere é dito congruente quando não conflita com o cladograma proposto, ou seja, não aparece na mesma condição derivada em ramos opostos. Por princípio, adotar-se há o cladograma que mostrar o menor número de incongruências, geralmente caracterizadas por homoplasias.
40. Este princípio é denominado Parcimônia. Ele determina que a escolha entre os diversos cladogramas possíveis recaia sobre o que for estabelecido com o menor número de passos. Obviamente, isso não significa que a evolução tenha “optado” pelo caminho mais curto, mas que o resultado é passível de análise e testes de falseamento, podendo, assim, ser tratado cientificamente.
41. O método de teste mais empregado, atualmente, é o do grupo externo. Por esse método, a polaridade do caractere é estabelecida por comparação com o seu estado em um ou mais grupos fora do conjunto investigado, e parte-se da premissa de que, se dentro do grupo (ou conjunto) interno investigado, ocorrem dois ou mais estados de um caractere, o estado (ou condição) ancestral é aquele encontrado também no grupo externo, enquanto que o(s) estado(s) derivado(s) não é (são) ou é (são) como resultado de homoplasia.
42. Se um caractere apresenta mais de um estado no grupo interno e também no grupo externo, este último passa a ser parte de um grupo interno maior (mais inclusivo) no qual aquele caractere apresenta variação. Nesse caso, busca-se outro grupo, externo a esse novo grupo interno, onde o tal caractere apresente um único estado, que será plesiomórfico.

43. Outro método empregado é o denominado ontológico, baseado no exame da anatomia e morfologia dos sucessivos estágios embrionários dos organismos, considerando que quanto mais precoce é a larva menor a sua especialização. Deste ponto de vista, os estágios mais precoces mostram os caracteres dos grupos mais inclusivos (mais amplos) e, a medida que segue o desenvolvimento embrionário, os caracteres, cada vez mais, vão indicando grupos mais restritos. Esta seqüência permite avaliar se caracteres são devidos a homoplasias.
44. Um terceiro método é o paleontológico, baseado no exame de fósseis e das suas idades. Este método, geralmente, se limita ao exame das partes duras (esqueleto), devido à dificuldade de preservação das impressões das partes moles. Deste ponto de vista, os registros mais antigos mostram os caracteres dos grupos mais inclusivos (mais amplos) e, a medida que segue o tempo (isto é, os estratos), os caracteres, cada vez mais, vão indicando grupos mais inclusos (restritos). Esta seqüência também permite avaliar se caracteres são devidos a homoplasias.
45. A representação de um cladograma prescinde do uso (e citação) de categorias, cujos nomes são arbitrários e sem significado biológico. O cladograma é um modo de representar uma classificação; outros dois modos dispensam a esquematização (ou seja, o desenho) dicotômica: subordinação e sequenciação.
46. Da mesma forma que nas demais ciências, a Filogenética abriga conflitos de conceitos. Para os seguidores mais diretos de Willy Hennig (apelidados filogeneticistas) o objetivo desta escola é a elaboração de árvores filogenéticas que são os diagramas dicotômicos submetidos a exaustivos testes. Para os apelidados cladistas (num sentido mais estrito), um cladograma não representa todos os eventos de especiação (ou dicotomias) que ocorreram. Geralmente, não há informações suficientes para a reconstrução filogenética, isto é, para a elaboração de uma árvore filogenética que represente a verdade, ou seja, a história real daquele grupo. Cladogramas são a melhor aproximação da verdade.

Bibliografia

- AMORIM, D.S. **Fundamentos de sistemática filogenética**. Holos Editora, Ribeirão Preto, 2002. 136p.
- LOPES, S.G.B.C. **Bio - Vol 2**. Saraiva Editora, São Paulo, 2003. 524p.
- VASCONCELLOS, J.R & BERTOLDI, O.G. **Ciência e Sociedade** (Vols. 1-4, 5ª a 8ª séries). Editora Scipione, São Paulo. 2000. 5ª série - 358p; 6ª série - 318p; 7ª série - 295p; 8ª série - 407p.