

# ESPECIAÇÃO: SUAS MÚLTIPLAS FORMAS DE OCORRÊNCIA

Tarcísio Viana de Lima\*

## RESUMO

Considerado fundamental para a renovação e expansão das inúmeras bioformas do planeta Terra, a especiação se consagra como evento biológico imprescindível, pois, além de condicionar a multiplicidade das espécies, permite os ajustamentos ecológicos necessários entre os requisitos estruturais e funcionais dos componentes bióticos e abióticos dos diversos ecossistemas. Portanto, este diminuto manuscrito tem por finalidade ser mais uma contribuição no processo de entendimento dos principais conceitos relacionados as diferentes modalidades de especiação.

**Palavras-chave:** Alopatria; Peripatria; Simpatria; Parapatria.

## INTRODUÇÃO

A biologia há muito vem fascinando o homem por revelar, gradativamente em seus meandros, os valiosos mistérios da vida vegetal, animal e de outras bioformas que, em suas múltiplas diversificações e facetas, povoam a litosfera, hidrosfera e atmosfera, respectivamente.

Apesar dos mais variados estudos, das mais aprofundadas pesquisas já realizadas até o momento, dos mais sofisticados meios tecnológicos, sejam eles ópticos, mecânicos, eletrônicos, computacionais, entre outros, já desenvolvidos e empregados para desvendar a centelha que impulsiona tanta diversidade biológica; é fato que estamos muito longe de afirmar com absoluta precisão em que momento e como a vida eclodiu, desencadeou e evoluiu sobre a Terra, uma vez que várias são as teorias e as posições defendidas nesse sentido no universo de dúvidas que ainda permeiam nossos desbravadores cientistas .

Há vários segmentos teóricos em busca de respostas concretas que elucidem as insistentes dúvidas decorrentes de como se deu a origem da vida na Terra: é de natureza abiógênica, ou seja, advém da geração espontânea, ou é biogênica (a vida se transfere entre seres vivos)? Será que as primeiras bioformas surgiram no próprio planeta como propósito divino, ou formaram-se em outros orbes e aportaram na Terra?

Considerando-se as hipóteses que procuram elucidar e explicar o surgimento da vida, encontram-se o criacionismo, a panspermia e a de Oparin e Haldane.

O criacionismo, tradicionalmente, é uma das mais antigas e consistentes proposições sobre a origem da vida. A sua sólida base defende e sustenta arraigadamente que os seres vivos do planeta Terra resultam da ação divina, conforme relatado no livro de Gênesis, considerado uma das pedras angulares da Bíblia Sagrada. A disseminação simétrica e o alcance sistematizado em todas as classes sociais tornaram a ideia da origem divina dos seres vivos irrefutável e profundamente aceita no contexto da religiosidade.

Já a panspermia é uma hipótese que defende o surgimento da vida fora dos limites da Terra e que, posteriormente, chegou ao planeta. Essa afirmação foi feita pelo filósofo grego Anaxágora, ao assertar que sementes da vida são encontradas em todo universo.

A teoria da panspermia se notabilizou com mais consistência em 1830, quando foram descobertos compostos orgânicos em meteoritos, que passaram, portanto, a ser

---

\* Professor do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco

considerados pelos pesquisadores da época meios de transportes de partículas para os mais variados recantos do espaço.

A concepção dessa ideia levou a pensar que os meteoritos aportados na Terra poderiam conter vida e, dessa forma, haveria fortes possibilidades de inoculá-la no orbe terrestre.

Entre as consistentes críticas realizadas à teoria da panspermia, duas se sobressaem: a hostilidade imposta pelas viagens astronômicas que esses seres vivos estariam submetidos e a impossibilidade de se testar tal hipótese.

Na atualidade, a hipótese mais satisfatória e com maior aceitação entre os pesquisadores é a de Oparin e Haldane, que, independentemente, atribuíram as condições atmosféricas terrestres do passado a responsabilidade do surgimento de moléculas elementares condicionadoras da origem da vida.

Independente das hipóteses que proporcionam várias linhas divergentes quanto a origem da vida na Terra, é fato que os seres vivos são condicionados pelo ambiente, pois esse impõe barreiras naturais físicas, químicas, geográficas, geológicas e biológicas, que devem ser reconhecidas e trabalhadas no sentido de favorecer a manutenção e perpetuação das espécies mais aptas e adequadas aos fatores ambientais emergentes.

Portanto, dentro dessa perspectiva, um dos conceitos mais importantes no contexto da ecologia geográfica é o de especiação. Logo, o objetivo desse resumo é expor, de forma didática, a compreensão do processo e das modalidades de especiação decorrentes dos constantes ajustes entre as componentes bióticas e abióticas que proporcionam as diferentes ocupações territoriais dos mais diversificados seres vivos da biosfera terrestre.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. A especiação

#### a. Origem

Não se pode compreender a dinâmica da especiação sem, antes, considerar que, taxonomicamente, as espécies são enquadradas como categorias mais fundamentais, ou seja, as menores unidades evolutivamente independentes. Entretanto, ainda não há uma padronização ou uniformização conceitual que seja definitiva e global para o termo espécie e, dessa forma, possibilite uma convergência de linhas de pensamentos no contexto da biologia.

Várias referências bibliográficas enfatizam que há mais de vinte e quatro conceitos para espécies. Mas, mesmo diante de tantas propostas, torna-se indispensável que os critérios da universalidade ou generalidade, aplicabilidade ou operacionalidade e significância ou justificativa teórica existencial sejam adotados para o delineamento mais adequado e coerente na proposta de classificação das espécies.

De uma forma didaticamente comprehensível, e, principalmente, por se considerar as propriedades da reprodução e cruzamento, que, em geral, são típicas dos seres vivos; a proposta conceitual do biólogo Ernst Mayr (1904 – 2005) é, na atualidade, a mais aceitável, pois nela se propõe que *“organismos de uma mesma espécie são aqueles encontrados em uma mesma população, que se cruzam ou possuem potencial para cruzar e produzem descendentes férteis em condições naturais”*.

Após essa breve explanação sobre conceitualização de espécies, torna-se interessante, e até pertinente, considerar que os efusivos processos naturais, que deram origem ao planeta Terra, sempre atuaram no sentido de estabelecer um equilíbrio entre as forças físicas, químicas e geológicas. Essas forças, que desde o limiar do orbe terrestre,

há aproximadamente 4,6 bilhões de anos, estão em constantes e indefinidos ajustes que foram e são fundamentais e imprescindíveis para a existência de todas as formas de vida passadas e contemporâneas da estrutura biótica da Terra.

Evidentemente, fica explícito que na escala biológica linear, a evolução dos seres vivos sempre proporcionou ao planeta Terra a ocorrência de adaptação de populações aos biótopos, desaparecimento e surgimento de espécies. Essa dinâmica, fortemente amparada pelos inúmeros estudos, é consequência do processo de diferenciação induzida pelas variações genéticas que, no escalonamento do tempo, decorrem das mutações genéticas impostas pelas condicionantes ambientais, podendo favorecer às espécies, por meio do seu ajustamento e manutenção no ambiente; ou desfavorecer-las, ao provocar suas eliminações da comunidade.

No contexto específico da formação de novas espécies, o processo é conhecido por especiação. Dessa forma, a partir de uma determinada população ancestral, fatores extrínsecos (ambientais) ou intrínsecos (biológicos) são decisivos e determinantes na dinâmica do aparecimento de uma ou mais espécies, que, ao evoluírem, adquirem caracteres distintos da sua coorte ancestral. A consequência marcante da especiação é o estabelecimento de uma ampla diversidade de seres vivos disseminados nos mais divergentes habitats encontrados na biosfera.

A especiação é um processo evolutivo decorrente de dois mecanismos conhecidos por anagênese (ana = para cima; gênese = origem) e cladogênese (clado = ramo), respectivamente.

Enquanto na cladogênese há ruptura na estrutura de uma população coalescente submetida a transformações anatômicas e funcionais persistentes visando seu ajustamento às condições ambientais; na anagênese observa-se a progressão evolutiva de caracteres que aparecem ou se alteram causando mudanças na frequência gênica ou alélica de uma população. O seu estabelecimento é, em geral, decorrente de eventos atrelados à mutabilidade e permutabilidade em cromossomos homólogos.

Em síntese, a especiação é de natureza dicotômica, uma vez que induz a uma dada população a sofrer divisão em subpopulações, gerando isolamento e diferença progressiva entre elas, que culminarão com o estabelecimento de clados não compatíveis, portanto, incapazes de concretizar a reprodução. Esse processo só é aplicável às espécies que se multiplicam sexuadamente.

Em geral, a especiação, por envolver atributos genéticos diferenciados que impossibilitam a reprodução entre coortes, resulta de várias causas, entre as quais, sobressaem-se a separação espacial ou geográfica e a redução do fluxo gênico.

Na especiação decorrente da separação espacial ou geográfica, as populações isoladas, cujos indivíduos vieram de uma população ancestral, não mais se cruzarão, por força da neutralização imposta pela barreira geográfica, uma vez que os fatores ecológicos, devido à heterogeneidade dos ambientes, impõem pressões seletivas diferenciadas aos seres vivos. Como consequência, no decorrer do tempo, as coortes regionalmente isoladas, portanto, incapazes de realizar troca de genes por meio de cruzamento entre seus indivíduos, adquirem características próprias, que, após várias gerações, resultam em neoespécies.

A especiação pode também se efetivar em populações cujos indivíduos se distribuem em grandes áreas contínuas, cujos habitats sofrem pressões diferenciadas ocasionadas pelos fatores do meio capazes de induzir a redução do fluxo gênico em decorrência da reprodução vigente apenas entre os grupos de espécimes que se encontram próximos.

Portanto, a especiação deve ser considerada como um grande mecanismo de proliferação e disseminação de bioformas que, por meio dos processos evolutivos, possibilita a renovação e perpetuação da estrutura biótica da biosfera.

## b. Modalidades

Geograficamente, são considerados três tipos de especiação, onde se evidenciam as dinâmicas do surgimento, ajustamento, crescimento e desenvolvimento de seres vivos das mais diversificadas bioformas encontradas nas regiões da biosfera. Nesse contexto, são relacionadas as especiações alopátrica, simpátrica e parapátrica, respectivamente.

### I. Especiação alopátrica

A alopatria (do grego *allos* = outro; *patrā* = pátria) é um processo que ocorre após uma espécie ancestral sofrer divisão em duas subpopulações (Figura 1) a partir da presença de barreiras físicas ou geográficas naturais, tais como, montanhas, desertos, rios, formações de ilhas e cordilheiras e até mesmo grandes distâncias que impossibilitem essas subpopulações intercruzarem-se. Portanto, são obstáculos de natureza extrínseca proporcionadores do isolamento espacial dessas subpopulações, que, ao perderem vínculos reprodutivos no decorrer do tempo, passam a apresentar caracteres divergentes e incompatíveis com o acasalamento. Como consequência da dinâmica desse processo, estabelecem-se novas linhagens.

Por envolver interferências de obstáculos geográficos na dinâmica de distribuição espacial de seres vivos, essa modalidade de especiação também é conhecida por efeito vicariante.

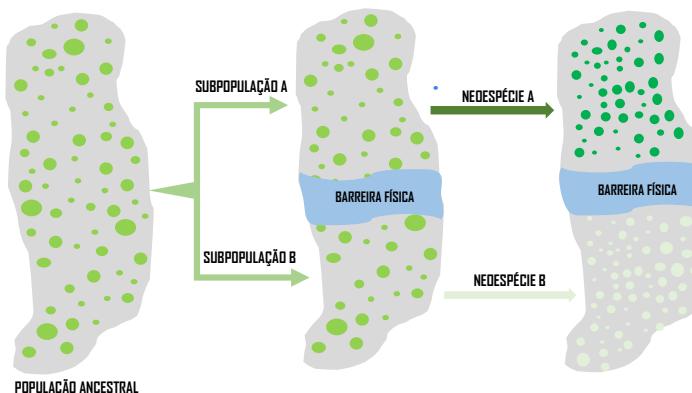


Figura 1. Etapas do processo de alopatria de uma população ancestral, resultando em subpopulações A e B, a partir da presença de uma barreira física (rio, montanha, deserto, ilha, entre outras modalidades), que, ao longo do tempo, isolam-se reprodutivamente alcançando o status de neoespécies A e B, respectivamente.

Entretanto, deve-se salientar que o impedimento, instituído unicamente pelas barreiras geográficas naturais, por si só não é suficiente para concretizar o desenvolvimento da especiação. É necessário que, complementarmente, estabeleça-se a redução acentuada ou até mesmo o bloqueio do fluxo gênico, que funcionará como barreira intrínseca entre os indivíduos geograficamente separados para a efetivação absoluta do processo de especiação, ou seja, o estabelecimento de neoespécies com impossibilidade de gerarem juntas descendentes.

Dentro do processo da alopatria, constata-se a ocorrência do caso específico denominado de peripatria (do grego *peri* = ao redor, em torno; *patrā* = pátria), também conhecido como “Efeito Fundador”, que, segundo vários pesquisadores, além de simples, é frequente, sobretudo em ilhas colonizadas por espécimes oriundos do continente e, até mesmo, de outras ilhas circunjacentes; e sua efetivação se dá a partir de fragmentações

pequenas da população ancestral (Figura 2), que se dispersam e se estabelecem em áreas não habitadas formando subpopulações periféricas instituidoras do isolamento reprodutivo, ou seja, da intransferência de genes, e, após várias gerações, sofrem mutabilidades que induzem características divergentes daquelas expressas pela população ancestral.

É importante ressaltar que as populações resultantes do Efeito Fundador, por serem de tamanho reduzido, são mais propícias à extinção em comparação às grandes coortes que se estabelecem em áreas mais abrangentes.

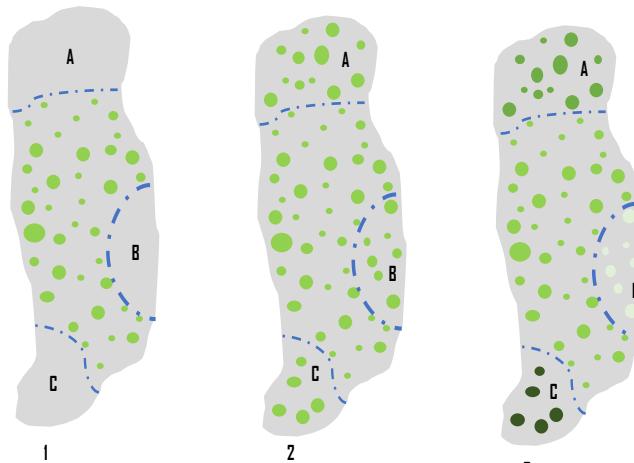


Figura 2, Etapas da peripatia: População ancestral (1) e áreas não habitadas (A, B e C); dispersão da população ancestral nas áreas A, B e C (2); e população ancestral com entorno A, B e C apresentando neoespécies (3).

## II. Especiação simpátrica

Diferentemente da alopatria, a simpatria (do grego *syn* = junto, semelhante; *patrā* = pátria) se destaca por induzir a redução do fluxo gênico entre organismos de uma população não submetida à interferência de barreiras físicas tradicionais que imponham separações geográficas dos indivíduos da espécie ancestral.

Ecologicamente, a simpatria é um processo de divergência genética observado quando indivíduos de uma dada espécie, por exemplo, ocorrem no mesmo biótopo, mas em nichos ecológicos diferentes (Figura 3), onde se concentram fontes de alimentos variáveis que levam a esses espécimes se distanciarem e, como consequência, perderem a capacidade de se cruzar, possibilitando o surgimento de diferenças biológicas que levam ao processo desse modelo de especiação.

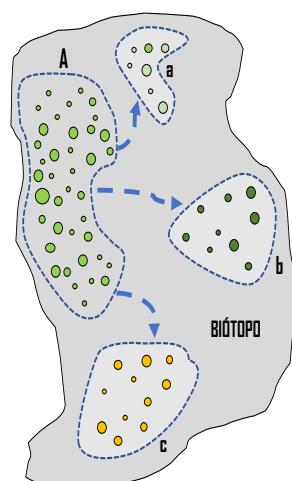


Figura 3. Etapas da simpatria: População ancestral (A) no seu biótopo; e neoespécies (a, b e c) distribuídas no mesmo biótopo, mas em nichos ecológicos divergentes.

De acordo com evidências constatadas por pesquisadores, a ocorrência desta modalidade de especiação é comum quando uma determinada fonte de alimentação atrativa, introduzida num certo biótopo, passa a induzir uma parte dos indivíduos de uma dada espécie, levando-os a adotar esse novo recurso alimentar como base energética. Como consequência, passam a se isolar dentro do próprio ambiente de ocorrência natural.

### III. Especiação parapátrica

A parapatria (do grego para = ao lado; patrā = pátria) é típica de populações que se distribuem continua e amplamente numa dada superfície geográfica (Figura 4). Esse comportamento é determinante principalmente para os espécimes situados nos limites extremos, e sobretudo opostos, da distribuição espacial, uma vez que possibilitará a redução da probabilidade desses indivíduos se cruzarem aleatoriamente e lograrem êxito reprodutivo, e mesmo que haja a ocorrência de descendentes, esses serão híbridos. Em decorrência desse afastamento, é constatado o aparecimento gradativo de caracteres biológicos marcantes e diferenciados que, uma vez estabelecidos, propiciam o surgimento de neoespécies na vasta área geográfica.

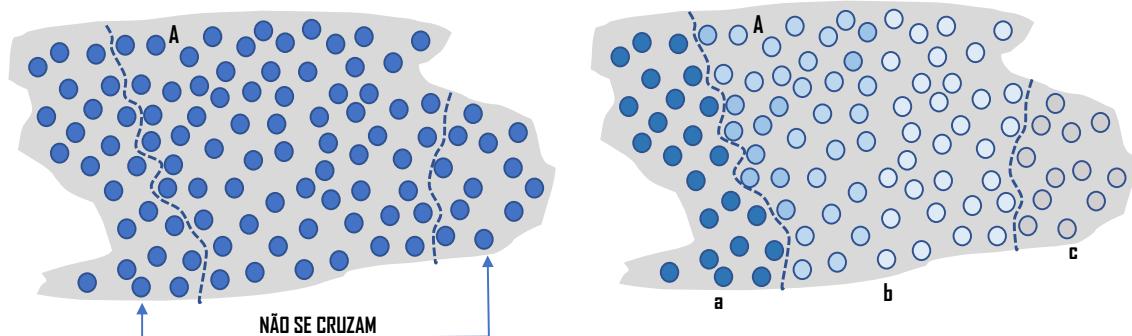


Figura 4. Etapas da parapatria: a imagem à esquerda (A) representa uma área geográfica extensa com população contendo indivíduos (●) que apresentam entrecruzamentos que oscilam em função da distância, onde se verifica a ausência de troca de genes entre os espécimes que se encontram nas extremidades opostas; à direita, observa-se a consequência da dinâmica da parapatria na área geográfica A, que em função da irregularidade e intensidade variável de cruzamentos, ao longo do tempo, constatam-se indivíduos da população original (a = ●), espécimes com decrepitude de cruzamentos (b = ●, ○) e surgimento de neoespécie (c = ○) resultante da inexistência de trocas de genes entre os indivíduos espacialmente extremados da população ancestral.

O evento da parapatria merece destaque especial nos estudos realizados com gramíneas do gênero *Anthoxanthum*. Nessas pesquisas observou-se que indivíduos da espécie *A. odoratum* L., por se fixarem em substratos com concentração tóxica de metais pesados, foram adquirindo adaptações ao longo do tempo de tal forma que evoluíram para genótipos com alta capacidade de tolerância aos elementos contaminantes disponibilizados no solo. Dentre as principais características constatadas na população dessa espécie ajustada a esses ambientes comprometidos com metais pesados, encontra-se a irregularidade do desenvolvimento da floração de seus indivíduos em relação aos da população ancestral de contorno. Dessa forma, foi constatado que os espécimes da coorte estabelecida em solos contaminados emitem flores em período diferenciado daquele onde são evidenciadas inflorescências nas populações originais. Portanto, essa é uma das principais barreiras biológicas que impedem o cruzamento entre indivíduos, desfavorecendo e até mesmo eliminando todas as possibilidades do fluxo gênico e a respectiva reprodução entre os espécimes.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fato que as diferentes modalidades de especiação têm revelado com frequência importantes informações a respeito da etologia dos mais diversos grupos taxonômicos ligados aos animais, vegetais e outras bioformas dispersados nos mais distintos ambientes que se distribuem na biosfera segundo as coordenadas latitudinais, altitudinais e longitudinais.

Entretanto, é impossível não admitir que o homem ainda está no limiar das descobertas advindas do intrincado mundo biológico, pois a expressiva complexidade da biodiversidade, sobretudo nas regiões tropicais, impõe um longo e extenuante percurso para se desvendar uma fração considerável de todas as bioformas encontradas nos limites verticais e horizontais da biosfera.

As razões que ainda estabelecem certos limites ao avanço de novas descobertas e suas respectivas análises aprofundadas são múltiplas e estão diretamente relacionadas, na atualidade, as evidências de que os seres vivos são estruturas bastante versáteis e seus processos de sobrevivência são fundamentais e determinantes para a dinâmica evolutiva que acentua ainda mais a grande complexidade de toda estrutura biótica do planeta Terra.

### 4. BIBLIOGRAFIAS

- COLLEY, E.; FISCHER, M. L. Especiação e seus mecanismos: histórico conceitual e avanços recentes. **História, Ciências, Saúde**. Rio de Janeiro. v. 20. n. 4. p. 1671 – 1694. 2013.
- GUERRA, R. A. T.; DUARTE, A. J. C.; SILVA, F. S.; ABILIO, F. J. P.; SOUSA JUNIOR, L.; NUNES, M. L. S.; GEGLIO, P. C. **Cadernos CB Virtual 6**. João Pessoa: Ed. Universitária UFPB. 2010. 358 p.
- LOPES, S. G. B. C.; CHOW, F.; LAHR, D. J. G.; TURRINI, P. Processos evolutivos. In: **Diversidade biológica, História da vida na Terra e Bioenergética**. p. 36 – 53. 2014.
- LOPES, S.; ROSSO, S. **BIO – Volume 2**. 2<sup>a</sup> ed. Saraiva. 2012. 480 p.
- RIDLEY, M. Evolução. 3<sup>a</sup>ed. Porto Alegre: Artmed. 2006. 752 p.
- TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. **Fundamentos de ecologia**. 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed. 2006. 592p.'