



$$\Phi = \frac{q_{emv}}{\epsilon_0}$$

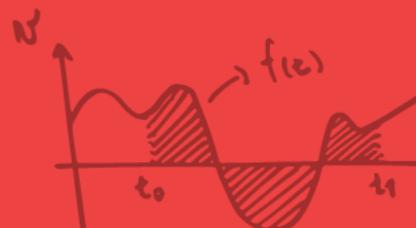
$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & | & 0 \\ 0 & 1 & 2 & | & 9 \\ 0 & 0 & 1 & | & 3 \end{bmatrix}$$

$$z = 3 //$$

$$y = 9 - 2z = 3 //$$

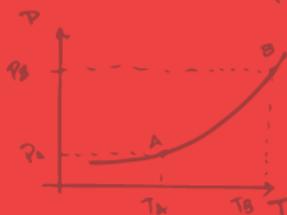
$$x = -4z - 2y = -12 - 6 = -18 //$$

$$\underline{\underline{(-18, 3, 3)}}$$



# me Salva!

PRESSÃO VS. TEMPERATURA  
EBULIÇÃO



$$f(x) = \text{sen } x$$

$$f(x) = \text{sen}(wx + \theta)$$



# EVOLUÇÃO DAS ESPÉCIES

## EVOLUÇÃO BIOLÓGICA

Em nosso planeta existem cerca de dois milhões de **espécies** de organismos descritas, além de uma infinidade de outras que ainda não conhecemos. Como explicar tamanha **diversidade**? Isso é ainda mais intrigante se você pensar na variedade de características que esses organismos apresentam. São muitas formas, tamanhos, cores, etc.

Muitas dessas características parecem ajustadas ao ambiente no qual os indivíduos vivem. Um exemplo são os pica-paus, que apresentam um bico forte que os ajuda a abrir buracos nas árvores. A língua longa com capacidade de “verificar” o interior da árvore e extrair possíveis presas também está bem ajustada a sua função. A Biologia Evolutiva moderna é capaz de explicar tanto a diversidade de espécies como o desenvolvimento desses “ajustes”, que são chamados de **adaptações**. Ao longo desta apostila você vai descobrir mais sobre isso. Vamos começar definindo melhor o que queremos dizer com “evolução”.

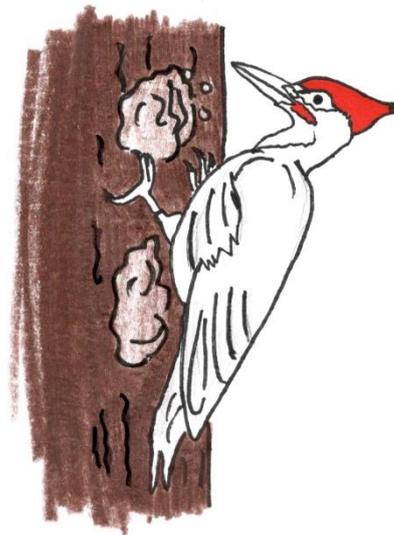


FIGURA 01: O PICA-PAU, COMO TODOS OS SERES VIVOS, APRESENTA DIVERSAS ADAPTAÇÕES. O BICO É FORTE, A LÍNGUA É LONGA E COM UMA MUSCULATURA FORTE; OS PÉS PODEM SE AGARRAR AO SUBSTRATO, AS PENAS DA CAUDA SÃO RÍGIDAS E AUXILIAM NA SUSTENTAÇÃO, SÓ PARA COMENTAR ALGUMAS.

## O QUE É EVOLUÇÃO?

A palavra **evolução** apresenta diversos significados. Você pode utilizar para dizer algo do tipo: “eu tive uma boa evolução em meus estudos esse ano”. Entretanto, para a Biologia, a evolução significa algo mais específico. De forma simples, podemos dizer que evolução é *mudança nas características dos organismos ao longo das gerações*. Isso inclui características **anatômicas, fisiológicas, genéticas, comportamentais**, etc. Mas perceba, então, que nem toda mudança é evolutiva. As mudanças que ocorrem ao longo da vida de um único organismo estão relacionadas ao seu **desenvolvimento**. Nesse sentido, seria mais adequado dizer que um Pokémon não evolui, ele se desenvolve. Agora, se estamos falando, por exemplo, que o tamanho médio dos indivíduos de uma população está diminuindo ao longo das gerações, podemos falar em mudança evolutiva.

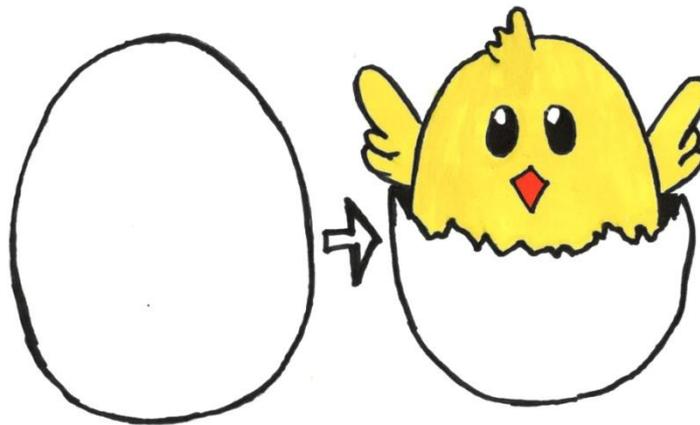


FIGURA 02: AS MUDANÇAS QUE OCORREM AO LONGO DA VIDA DE UM ORGANISMO FAZEM PARTE DE SEU DESENVOLVIMENTO E NÃO SE QUALIFICAM COMO EVOLUÇÃO BIOLÓGICA. OUTRAS MUDANÇAS BIOLÓGICAS TAMBÉM NÃO SÃO NECESSARIAMENTE EVOLUTIVAS. POR EXEMPLO: ALTERAÇÕES NA COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES DE UM ECOSISTEMA NÃO SÃO MUDANÇAS EVOLUTIVAS.

A definição talvez mais aceita atualmente envolve mudança nas **frequências dos genes** ao longo das gerações. Digamos que exista um **alelo dominante** (A) em uma população com uma frequência de 60%. Se na próxima geração esse alelo teve sua proporção aumentada ou diminuída, ocorreu evolução. Obviamente, como qualquer definição, ela apresenta problemas. Mas a ideia é a mesma, mudança em alguma característica da população ao longo das gerações. Antes de o termo evolução ser amplamente empregado, Darwin usava “**descendência com modificação**”. Perceba que esse termo resume bem a ideia de mudança ao longo das gerações. Ou seja, os organismos apresentam descendentes que possuem modificações em relação ao anteriormente encontrado. Essas modificações podem levar ao surgimento de adaptações e de novas espécies.

Representa os processos que ocorrem em um organismo ao longo de seu desenvolvimento embrionário ou vida.	<b>Desenvolvimento</b>
Representa mudanças que ocorrem nas características dos organismos de uma população ao longo das gerações.	<b>Evolução</b>

QUADRO 01 - RESUMO DA DIFERENÇA ENTRE DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO.

## BREVE HISTÓRICO SOBRE O PENSAMENTO EVOLUTIVO

A noção de que as espécies mudam ao longo do tempo não surgiu com Charles Darwin. Mesmo durante a antiguidade (como nos textos de alguns filósofos gregos) podem ser feitos paralelos com o pensamento evolutivo atual. Entretanto, por muito tempo prevaleceu a ideia de que as espécies não mudam ao longo do tempo, sendo imutáveis, “fixas” – daí vem o nome **fixismo**. Isso começa a mudar com diversos naturalistas e pensadores, que especularam sobre a possibilidade da transformação das espécies. Entre eles Maupertuis, Diderot, Buffon e o próprio avô de Darwin, Erasmus.

### AS IDEIAS DE LAMARCK

Lamarck foi um naturalista francês responsável por grandes contribuições para a Biologia, entre elas a criação do termo “biologia”. Estudava plantas e invertebrados. Era um anatomista competente e a partir de seus estudos chegou à conclusão de que os seres vivos se transformam ao longo do tempo. Concebeu uma teoria sobre a forma como ocorria essa “**transmutação**” das espécies e a publicou no livro Philosophie Zoologique (1809). As ideias de Lamarck eram diferentes das incorporadas pela biologia evolutiva moderna e, por isso, muitas vezes, o pensamento de Lamarck é chamado de **transformismo**, para diferenciar do **evolucionismo**. Apesar disso, foi talvez o primeiro pensador que formulou uma teoria evolutiva e, além disso, teve influência sobre o pensamento evolutivo de Darwin.

Segundo Lamarck, os seres vivos possuíam uma tendência ao **melhoramento/aperfeiçoamento** constante. Para ele, a partir de eventos de **geração espontânea**, os seres vivos simples e menos desenvolvidos se transformavam em seres mais desenvolvidos. Essa tendência teria relação com uma espécie de força externa (algo como a força da gravidade) que causa uma mudança progressiva ao longo do tempo. Além disso, Lamarck não aceitava a **extinção** das espécies. Para ele, além da “força externa”, outros dois princípios também alteravam os organismos ao longo do tempo. Esses princípios são a **lei do uso e desuso** e a **lei de transmissão de caracteres adquiridos**.

Segundo a lei do uso e desuso, utilizar (uso) uma determinada estrutura faz com que ela se desenvolva mais, ao passo que não utilizar (desuso) causa o atrofiamento. O uso ou desuso estariam relacionados com mudanças no ambiente, que fariam os organismos tentarem se adaptar pela necessidade. Por exemplo: se organismos com olhos passassem a viver em uma caverna, essa estrutura poderia ir se atrofiando. Essa característica nova (olho atrofiado), adquirida durante a vida do organismo (de seu desenvolvimento), poderia ser passada para os filhos, conforme a lei de transmissão dos caracteres adquiridos. Um exemplo que pode ser mais fácil de entender seria com um casal de halterofilistas; se um casal de pessoas com musculatura extremamente desenvolvida tivesse um filho, ele nasceria (herança de caracteres adquiridos) também com músculos muito desenvolvidos.

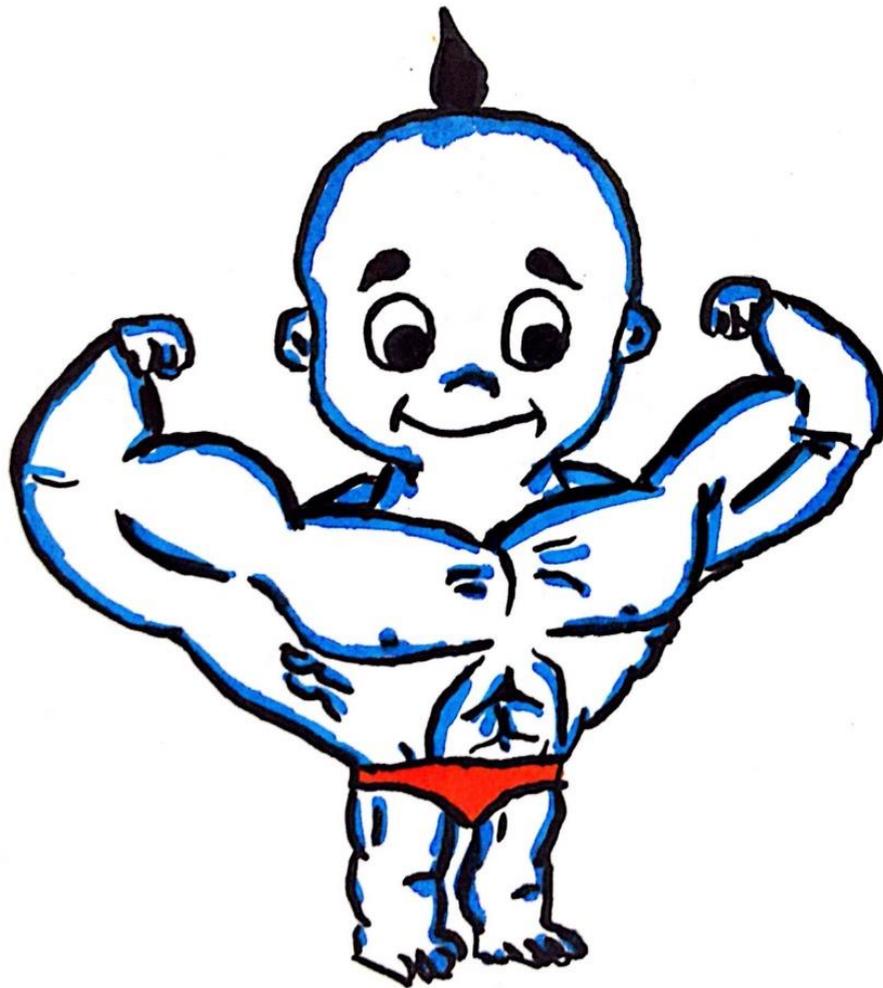


FIGURA 03: BRINCADEIRA MOSTRANDO COMO SERIA O FILHO DE UM CASAL DE HALTEROFILISTAS SE OCORRESSE HERANÇA DE CARACTERES ADQUIRIDOS RELACIONADA COM A MUSCULATURA DESENVOLVIDA. SABEMOS QUE ISSO NÃO OCORRE DESSA FORMA.

Veja a ilustração abaixo que mostra um exemplo desses com uma espécie hipotética de cacto.

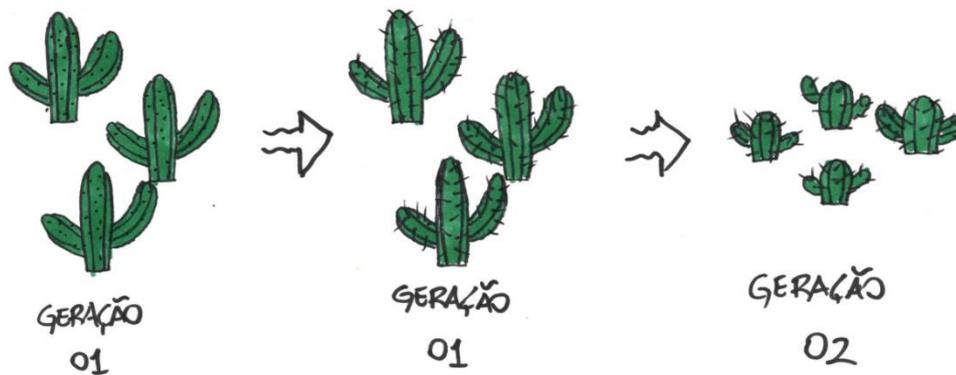


FIGURA 04: NA ILUSTRAÇÃO, A GERAÇÃO 01 ESTÁ SENDO REPRESENTADA EM DOIS MOMENTOS DIFERENTES. EM UM MOMENTO INICIAL OS INDIVÍDUOS NÃO POSSUEM ESPINHOS DESENVOLVIDOS. OCORRE ALGUMA MUDANÇA NO AMBIENTE (UM PREDADOR SURGE POR EXEMPLO) QUE CAUSA O DESENVOLVIMENTO DE ESPINHO (PERCEBA QUE ESTÁ SENDO ILUSTRADA A IDEIA LAMARCKISTA). NOTE QUE A GERAÇÃO 02 (FILHOS DA GERAÇÃO 01) HERDOU AS CARACTERÍSTICAS ADQUIRIDAS PELOS ORGANISMOS DA GERAÇÃO 01 (OS ESPINHOS DESENVOLVIDOS). ESSE É UM DESENHO ESQUEMÁTICO. OS ESPINHOS DOS CACTOS SÃO FOLHAS MODIFICADAS E ESTÃO RELACIONADOS A DIVERSOS OUTROS FATORES ALÉM DA PROTEÇÃO, COMO ADAPTAÇÕES PARA OS AMBIENTES SECOS NOS QUAIS ELES VIVEM.

Vale ressaltar que tanto o uso e desuso como a transmissão dos caracteres adquiridos não são o aspecto central da teoria lamarckista (que é a tendência progressiva ao aumento de complexidade a partir da geração espontânea de organismos simples). Sendo mais exato, tanto o uso e desuso quanto a transmissão de caracteres adquiridos eram princípios aceitos mesmo antes de Lamarck e foram utilizados também por Darwin em vários momentos. Entretanto, as ideias de lamarckistas diferem em vários elementos em relação às de Darwin, como veremos adiante. A teoria de Lamarck não teve grande aceitação em sua época. Isso também é verdade para a teoria de Darwin, que demorou para ser aceita de forma geral pelos cientistas. Entretanto, atualmente a base da teoria evolutiva é a teoria darwiniana. Mas que teoria é essa? Por que Darwin é o naturalista mais importante da história da Biologia?

## AS IDEIAS DE DARWIN

A vida de Charles Darwin e os acontecimentos que resultaram na publicação da **Origem das Espécies** (em 1859) são muito interessantes. Nesta apostila vamos falar mais de aspectos da teoria darwiniana sem entrar tanto na biografia de Darwin.

Ao longo de seus estudos, Darwin também chegou à conclusão de que as espécies se transformavam ao longo do tempo. Diferentemente de Lamarck, ele não acreditava que existisse uma tendência ao aperfeiçoamento. Ele chamava sua de teoria de “descendência com

modificação”. Fez observações e experimentos durante muitos anos antes de resolver publicar suas ideias. Em parte essa publicação ocorreu porque Darwin recebeu uma carta de outro importante naturalista chamado Alfred Russel Wallace. Na carta estava anexado um resumo dos trabalhos de Wallace. Darwin percebeu que Wallace havia chegado a uma teoria muito parecida com a sua, inclusive sobre um dos mecanismos mais importantes, a seleção natural. Apesar de Darwin ser muito mais reconhecido do que Wallace, a teoria da evolução por seleção natural é de autoria tanto de Darwin como de Wallace. Entretanto, quando pensamos nas ideias de Darwin, não é apenas em seleção natural que falamos. Assim, pode ser mais interessante separar as ideias de Darwin em algumas teorias que, na verdade, são independentes (apesar de todas poderem ser vistas como uma unidade, inclusive por Darwin). Vamos falar sobre cinco delas.

1. **Evolução:** essa seria a teoria de que as espécies (linhagens) mudam ao longo do tempo. Como vimos, muitas pessoas, desde tempos antigos, já defendiam isso. Mas talvez nenhuma delas tenha reunido um número tão grande de evidências quanto Darwin para suportar essa teoria;
2. **Ancestralidade comum:** segundo essa teoria, todos os organismos possuem um ancestral comum. Desde plantas, animais, fungos, protistas e bactérias, todos foram originados a partir de um único organismo (inclusive os humanos, que são animais);
3. **Multiplicação das espécies:** segundo essa teoria, as espécies se multiplicam ao longo do tempo, ou seja, novas espécies surgem a partir do ancestral comum. Perceba a diferença em relação às ideias de Lamarck, que acreditava em gerações espontâneas e mudanças (rumo à perfeição) dentro da própria linhagem. Note também que a ideia de ancestralidade comum, junto à de multiplicação das espécies a partir desse ancestral, está na base da noção de árvore da vida.

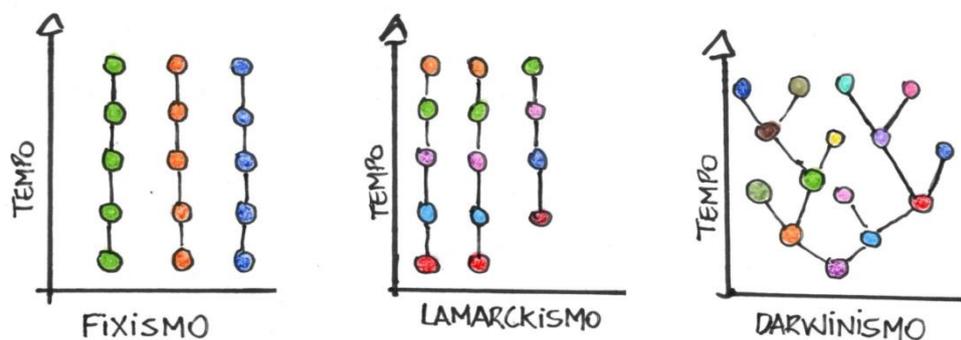


FIGURA 05: ESTE ESQUEMA COMPARA AS IDEIAS FIXISTAS, LAMARCKISTAS E DARWINISTAS. PARA O FIXISMO, AS ESPÉCIES SÃO CRIADAS DE FORMA INDEPENDENTE E NÃO MUDAM AO LONGO DO TEMPO. PARA O LAMARCKISMO, AS ESPÉCIES SURGEM POR GERAÇÃO ESPONTÂNEA E FICAM MAIS

APERFEIÇOADAS AO LONGO DO TEMPO. PERCEBA QUE NO LAMARCKISMO NÃO OCORRE EXTINÇÃO DE ESPÉCIES. JÁ PARA O DARWINISMO, AS DEMAIS ESPÉCIES SE ORIGINARAM A PARTIR DE UM ANCESTRAL COMUM. MUITOS GRUPOS SÃO EXTINTOS AO LONGO DO TEMPO (NÃO CHEGAM ATÉ O TEMPO ATUAL).



FIGURA 06: A METÁFORA DE UMA "ÁRVORE" DA VIDA EMERGE DA IDEIA DE QUE TODOS OS ORGANISMOS POSSUEM UM ANCESTRAL COMUM. AO FINAL DO RAMOS EXISTEM AS ESPÉCIES ATUAIS (COMO A OU N). MUITAS ESPÉCIES FORAM EXTINTAS (COMO B OU R). O TOTAL DE ESPÉCIES EXISTENTES NO PLANETA É DE MAIS DE 2 MILHÕES (SEM CONTAR AS DESCONHECIDAS). O TOTAL DE ESPÉCIES QUE JÁ FORAM EXTINTAS É MUITO MAIOR DO QUE ISSO.

4. **Gradualismo:** conforme essa teoria, a transformação das linhagens se dá pela mudança gradual (pequenos passos). Muitos pensadores da época de Darwin, inclusive ele, defendiam que a idade da Terra era maior do que se imaginava. Atualmente sabemos que nosso planeta possui 4,6 bilhões de anos. Muito tempo para pequenas mudanças graduais levarem ao surgimento de organismos bem diferentes. Uma alternativa para o gradualismo seria o saltacionismo, que defende que as mudanças ocorrem de forma rápida. Entretanto uma ideia não necessariamente exclui a outra (mas mudanças saltacionistas seriam eventos raros).
5. **Seleção natural:** Essa é possivelmente a teoria (ou elemento) mais importante das ideias de Darwin (e Wallace). Vamos detalhar melhor a seleção natural abaixo.

## SELEÇÃO NATURAL

Vamos listar algumas observações para entender o mecanismo de seleção natural e, a partir delas, o que podemos esperar. Uma das características dos seres vivos é a capacidade de reprodução. Entretanto, mesmo com grande capacidade de **reprodução**, as populações das diferentes espécies não são tão grandes. Ocorre mortalidade e nem todos os indivíduos **sobrevivem**. Outra característica das populações é a presença de **variação**. Nenhum indivíduo

é exatamente igual a outro e, apesar de existir uma tendência dos seres vivos se parecerem com seus pais (**hereditariedade**), eles também são diferentes. Agora perceba esse cenário. Existe variação na população, existem características hereditárias e existe uma **luta pela existência**, porque o ambiente não suporta todos os seres vivos (ocorre competição por recursos, como alimentos, por exemplo).

A partir disso podemos imaginar que vai ocorrer **sobrevivência diferencial**, ou seja, organismos com características que favoreçam sua sobrevivência vão deixar mais descendentes que podem ter essas características vantajosas, se elas forem hereditárias. Essas características vantajosas são chamadas de **adaptativas**. Podemos perceber que esse processo explica, ao longo do tempo, o surgimento de adaptações (características que parecem ajustadas ao ambiente, como no exemplo do pica-pau). Veja o esquema abaixo que ilustra o processo de seleção natural.

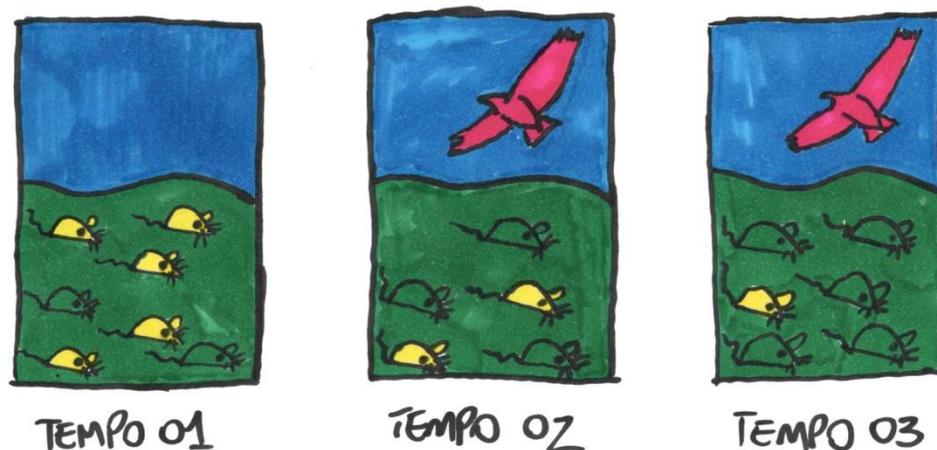


FIGURA 07: VEJA NA IMAGEM QUE EXISTE UMA POPULAÇÃO INICIAL DE ROEDORES NO TEMPO 01. EXISTE VARIAÇÃO NESTA POPULAÇÃO (UNS SÃO AMARELOS E OUTROS VERDES). ENTRETANTO, NO TEMPO 02 APARECE UM PREDADOR NO AMBIENTE. ESSE PREDADOR CONSEGUE VER MELHOR OS ROEDORES AMARELOS E SE ALIMENTA MAIS DELES. ISSO FAZ COM QUE OS ROEDORES VERDES CONSIGAM DEIXAR MAIS DESCENDENTES. ESSA CARACTERÍSTICA É HEREDITÁRIA (NO EXEMPLO) E, POR ISSO, OS FILHOS DOS ROEDORES VERDES SÃO VERDES TAMBÉM. COM O TEMPO, OS INDIVÍDUOS VERDES AUMENTAM DE FREQUÊNCIA NA POPULAÇÃO. ESSA CARACTERÍSTICA DE SER VERDE E MENOS FACILMENTE VISÍVEL PARA O PREDADOR PODE SER CONSIDERADA UMA ADAPTAÇÃO.

Darwin chamou esse processo de sobrevivência diferencial de seleção natural, em comparação à **seleção artificial**. Nesse último processo, criadores de animais ou plantas selecionam características desejáveis. Na seleção natural não existe nenhuma entidade selecionando variedades. O que ocorre é que, devido a características do ambiente, alguns indivíduos com determinadas características conseguem deixar mais descendentes do que outros. Essas mudanças vão se acumulando ao longo do tempo.

Perceba como o papel do ambiente para Lamarck e para Darwin é diferente. Para Lamarck, o ambiente de certa forma induz a transformação das linhagens que, por necessidade, mudavam. Para Darwin, o ambiente “seleciona” variedades que já ocorrem na população e que, ao longo do tempo, podem aumentar sua frequência. Veja na ilustração abaixo, que utiliza o famoso exemplo do pescoço da girafa para comparar as ideias de Darwin e Lamarck. Esse exemplo serve mais para ilustrar do que para comparar explicações que Darwin e Lamarck realmente formularam para a evolução dessa característica das girafas.

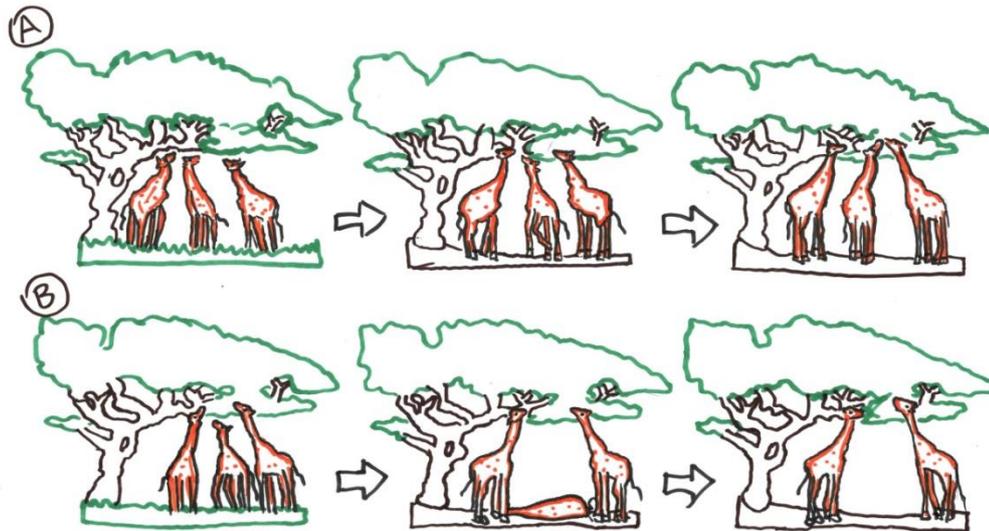


FIGURA 08: NA PARTE A DA FIGURA ESTÁ REPRESENTADA A IDEIA DE EVOLUÇÃO TRADICIONALMENTE ATRIBUÍDA A LAMARCK. EXISTEM GIRAFAS COM PESCOÇO RELATIVAMENTE CURTO VIVENDO EM UM AMBIENTE NO QUAL EXISTE GRAMA. ACONTECE ALGO E A GRAMA DESAPARECE. AS GIRAFAS DESENVOLVEM UM PESCOÇO MAIOR QUE ALCANÇA A COPA DAS ÁRVORES PELA NECESSIDADE DE SE ADAPTAR ÀS NOVAS CONDIÇÕES. JÁ NA PARTE B ESTÁ REPRESENTADA A VISÃO DARWINISTA. A POPULAÇÃO DE GIRAFAS APRESENTA VARIAÇÃO COM ALGUNS ORGANISMOS COM PESCOÇO CURTO E OUTROS LONGOS. A GRAMA DESAPARECE E OS INDIVÍDUOS COM PESCOÇO MAIS LONGO E QUE CONSEGUEM ALCANÇAR A COPA DAS ÁRVORES DEIXAM MAIS DESCENDENTES.

## EVIDÊNCIAS DA EVOLUÇÃO

Atualmente, a evolução por seleção natural é amplamente aceita pela comunidade científica, devido ao grande poder explicativo dessa teoria e ao fato de ter corroboração de diferentes áreas. Nesta sessão vamos falar sobre algumas das evidências para a teoria evolutiva.

### EVIDÊNCIAS PALEONTOLÓGICAS

Os **fósseis** são restos de seres vivos ou indícios de suas atividades que ficam preservados em diversos materiais. São evidência de que os seres vivos que existiam no passado são diferentes dos atuais e também de que muitas espécies são extintas. Além disso, a análise do registro fóssil permite entender de que forma as mudanças ocorreram ao longo da evolução de muitos grupos.

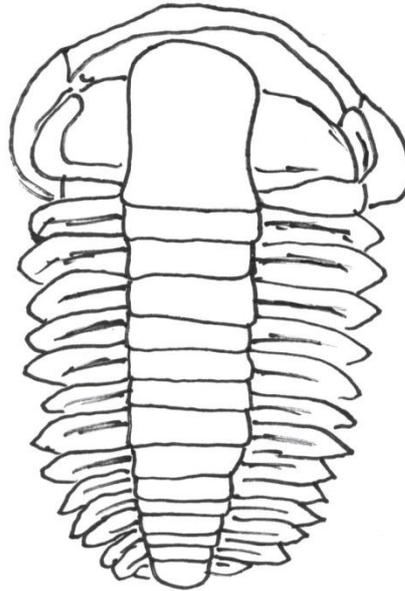


FIGURA 09: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM FÓSSIL DE TRILOBITA, UM GRUPO DE ARTRÓPODES JÁ EXTINTO.

É relativamente raro encontrar um fóssil, pois normalmente as estruturas são decompostas ao longo do tempo e o registro acaba sendo **episódico**. Só ocorre fossilização quando condições favoráveis permitem. Em alguns casos, por exemplo, quando um ser vivo morre, ele pode ser soterrado por sedimentos. Os sedimentos podem se solidificar sobre o organismo ou por dentro dele, preservando-o como fóssil. Outro fator que deve ser considerado é que estruturas duras são mais facilmente preservadas. Assim, é mais comum encontrar dentes, ossos e conchas no registro fóssil do que estruturas relacionadas a tecidos moles, como músculos e gordura.

O registro fóssil também permite testar evidências de outras áreas. Por exemplo: a partir de estudos sobre anatomia comparada foi sugerido que os anfíbios atuais são descendentes de vertebrados que colonizaram o ambiente terrestre. Caso isso esteja correto, você não espera encontrar fósseis de anfíbios mais antigos do que fósseis de vertebrados. E realmente não ocorre. Os fósseis de anfíbios mais antigos são mais recentes do que os fósseis de vertebrados mais antigos. Podemos exagerar um pouco para você perceber isso como uma evidência da evolução também. Por exemplo: humanos são organismos multicelulares que possuem ancestrais unicelulares. Uma evidência contrária à evolução seria encontrar um fóssil de ser humano mais antigo do que os primeiros indícios de vida unicelular – o que seria esperado (pelo menos fósseis de mesma idade) caso eles tivessem sido criados de forma independente.

## EVIDÊNCIAS BIOGEOGRÁFICAS

De forma geral, pensando nos padrões de distribuição dos organismos, existe mais semelhança entre espécies que são encontradas mais próximas. Esse padrão faz todo sentido se você

pensar que espécies de uma ilha são mais parecidas com as do continente próximo porque possuem um ancestral comum que vivia no continente e também colonizou as ilhas. Se as espécies tivessem sido criadas de forma independente, esse padrão não seria assim.

Veja esse exemplo relacionado com Wallace (coautor da seleção natural,) que fez importantes contribuições para a biogeografia e possivelmente foi um dos primeiros naturalistas a discutir a relação da distribuição geográfica dos diferentes grupos de organismos com a evolução. Wallace estudou a fauna do arquipélago Malaio. Entre suas observações, percebeu que os animais que vivem nas ilhas da região norte do arquipélago são mais parecidos com os animais do sul do continente asiático. Além disso, que os animais que vivem nas ilhas da região sul são mais parecidos com os animais australianos. Wallace relacionou esse padrão com a evolução da seguinte forma: organismos ancestrais da Austrália colonizaram as ilhas do sul, enquanto organismos ancestrais do sul de Ásia colonizaram as ilhas do norte. Ao longo do tempo, novas espécies foram surgindo, mas com muitas semelhanças com os ancestrais próximos. A fronteira que separa essas duas regiões zoogeográficas é atualmente chamada de **Linha de Wallace**.

Uma questão interessante sobre a Biogeografia e Paleontologia é que muitos organismos fósseis parecidos são encontrados na América do Sul e na África (ou outros continentes/locais distantes). Entretanto, esses fósseis são datados de uma época na qual essas regiões estavam unidas. A deriva dos continentes também explica porque alguns grupos de locais distantes são muito relacionados. Isso porque os ancestrais viviam quando os locais estavam unidos, e as populações que foram divididas acabaram originando esses grupos.

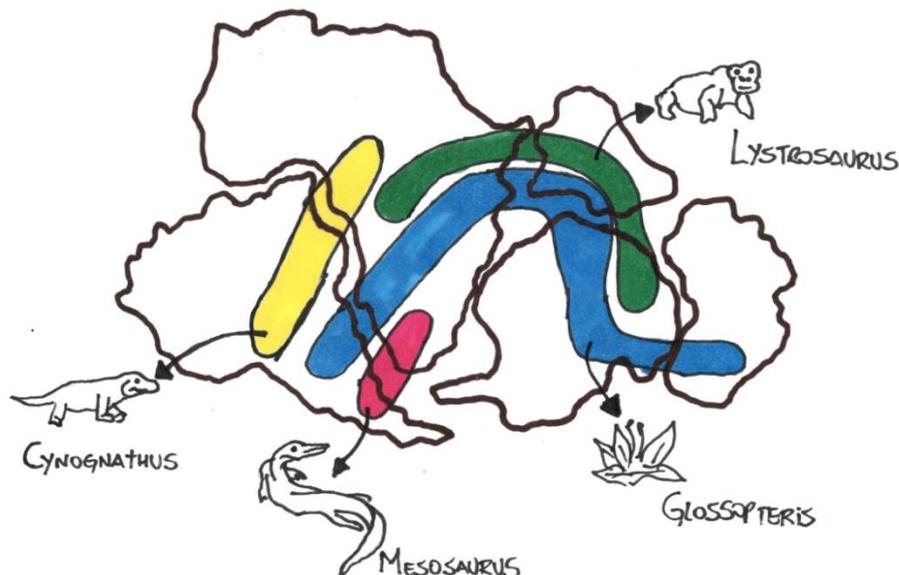


FIGURA 10: EXEMPLOS DE FÓSSEIS DE ALGUNS ORGANISMOS QUE SÃO ENCONTRADOS EM DIFERENTES CONTINENTES. SÃO UMA DAS EVIDÊNCIAS DA DERIVA CONTINENTAL, POIS INDICAM QUE OS CONTINENTES ESTAVAM UNIDOS QUANDO ESSES ORGANISMOS VIVERAM.

## EVIDÊNCIAS ANATOMICAS

Muitas espécies possuem estruturas que são anatomicamente parecidas. De acordo com a hipótese da ancestralidade comum, é possível que muitas dessas estruturas sejam parecidas, porque são modificações dessa estrutura que já estava presente no ancestral. Podemos utilizar o exemplo clássico dos membros anteriores. Veja na imagem abaixo:

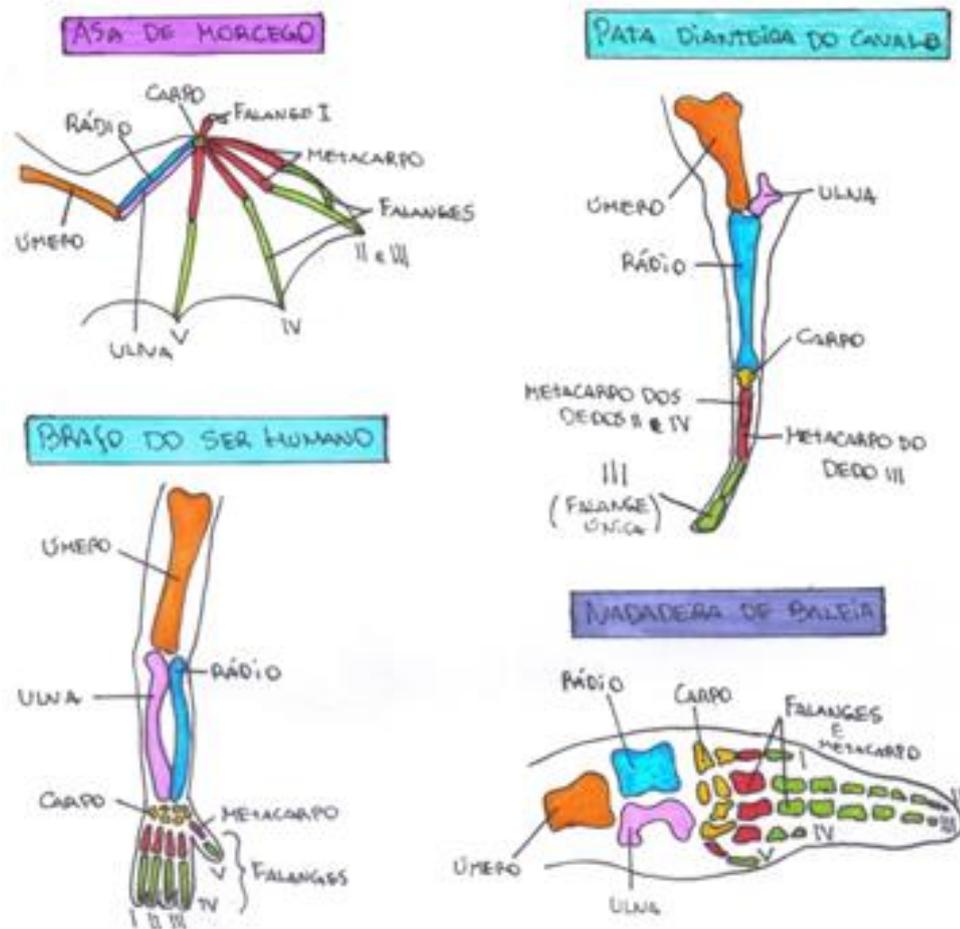


FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS MEMBROS ANTERIORES DE DIFERENTES GRUPOS DE MAMÍFEROS. PERCEBA A SEMELHANÇA ANATÔMICA.

A explicação evolucionista para essa semelhança é que esses grupos de mamíferos possuem um **ancestral comum** que tinha membros anteriores com esses mesmos ossos. Modificações ocorreram ao longo da evolução de cada grupo, mas ainda podemos perceber as semelhanças.

A partir da noção de que existem estruturas/órgãos em diferentes organismos que possuem uma mesma origem evolutiva, podemos diferenciar entre **órgãos homólogos** e **órgãos análogos**. Órgãos ou estruturas homólogas possuem uma mesma origem evolutiva/embrionária. O exemplo sobre os membros anteriores se encaixa nessa categoria, ou seja, a asa de um morcego, o braço humano, a nadadeira da baleia e a pata do cavalo são

estruturas homólogas. As diferenças entre essas estruturas se desenvolveram ao longo da evolução desses grupos, como adaptações específicas relacionadas a diferentes modos de vida. Dizemos que ocorreu **divergência evolutiva** a partir do ancestral.

Perceba então, que estruturas homólogas podem apresentar diferentes funções (ou a mesma função), mas sempre possuem origem evolutiva comum. Já estruturas ou órgãos análogos possuem a mesma função, mas origens evolutivas independentes, como no caso da asa de insetos e de uma ave, em que essas estruturas são análogas.

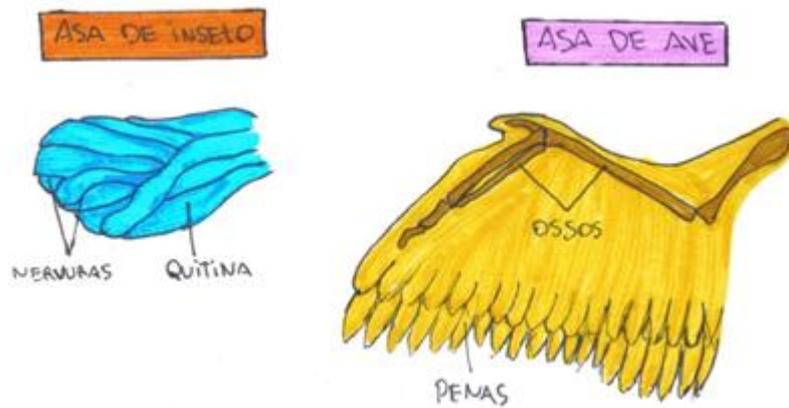


FIGURA 12: ESTRUTURAS ANÁLOGAS, MESMA FUNÇÃO, MAS ORIGENS INDEPENDENTES.

As estruturas análogas podem ser resultado de **convergência evolutiva**. Isso ocorre quando diferentes espécies, sem possuírem necessariamente parentesco próximo (porque parentes todas são), apresentam adaptações semelhantes relacionadas a ambientes parecidos. O exemplo mais clássico está relacionado à forma do corpo em golfinhos, tubarões e ictiossauros (extintos). Em todos esses grupos, o corpo apresenta um formato que facilita o deslocamento de forma rápida na água. Podemos imaginar que esse formato evoluiu de forma convergente nesses três grupos como uma adaptação ao seu hábito de vida aquático e predador – os três grupos são formados por predadores aquáticos). Dessa forma, o formato do corpo semelhante não tem relação com origem comum (não é homólogo), mas sim com adaptação convergente devido ao ambiente e comportamento semelhante (é análogo).

## ESTRUTURAS VESTIGIAIS

Outro exemplo de evidência anatômica está relacionado às estruturas ou órgãos chamados de **vestigiais**. Essas estruturas são pouco desenvolvidas e em muitos casos não se conhece nenhuma função específica delas. Um exemplo interessante é o do apêndice vermiforme em humanos (que pode inflamar e causar apendicite). O apêndice possui abriga micro-organismos fundamentais para a digestão da celulose em certos herbívoros. É possível que essa estrutura estivesse presente no ancestral de humanos e outros mamíferos herbívoros. Ao longo do tempo, com uma dieta menos herbívora, o apêndice virou uma estrutura vestigial. Sendo mais

exato, atualmente sabemos que o apêndice possui algumas funções nos seres humanos relacionadas ao sistema imunológico. Outros exemplos de estruturas vestigiais podem ser observados para o que seriam os membros posteriores de serpentes ou baleias. O cóccix seria outro exemplo de estrutura vestigial em seres humanos, um vestígio da cauda presente nos ancestrais.

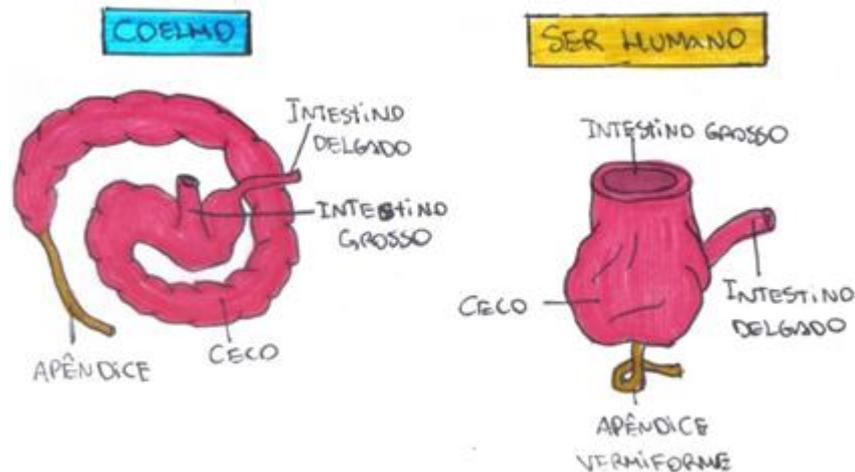


FIGURA 13: O APÊNDICE É DESENVOLVIDO EM MUITO HERBÍVOROS, MAS APARECE COMO UMA ESTRUTURA VESTIGIAL EM SERES HUMANOS (APÊNDICE VERMIFORME).

## EMBRIOLOGIA COMPARADA

Quando estudamos os embriões (nas fases iniciais) de diferentes espécies de animais, percebemos semelhanças anatômicas que normalmente não são percebidas quando comparamos os adultos. Um exemplo é que todos os embriões, todos os cordados (entre eles os vertebrados), possuem um cauda localizada após o ânus. Outras semelhanças percebidas nos embriões de todos os cordados é a presença de fendas faríngeas e da notocorda. Todas essas semelhanças servem de evidência para a teoria da ancestralidade comum.

## EVIDÊNCIAS MOLECULARES

É razoavelmente fácil comparar organismos presentes em diferentes grupos animais para tentar compreender suas semelhanças. Mas e humanos, bactérias ou fungos? Independente do organismo que seja analisado, pelo menos até o momento, sabemos que todos utilizam **DNA** e **RNA**, além de um **código genético** praticamente universal. Essa é uma grande evidência de que todos os organismos conhecidos apresentam um ancestral comum.

Dessa forma, a explicação mais simples é que essas características já faziam parte da biologia do ancestral que deu origem a todos os seres vivos. Podemos pensar que a presença de DNA é uma característica homóloga de todos os seres vivos. A análise de dados moleculares (assim como os morfológicos) também nos ajuda a compreender melhor as relações de parentesco. Por

exemplo: humanos e chimpanzés possuem similaridade genética maior do que a que possuem com roedores. Isso indica que humanos e chimpanzés possuem um ancestral comum mais recente do que aquele que compartilham com roedores. As análises não precisam ficar limitadas ao material genético e muitas vezes são realizadas comparações entre as similaridades das proteínas ou outras moléculas de diferentes grupos de organismos.

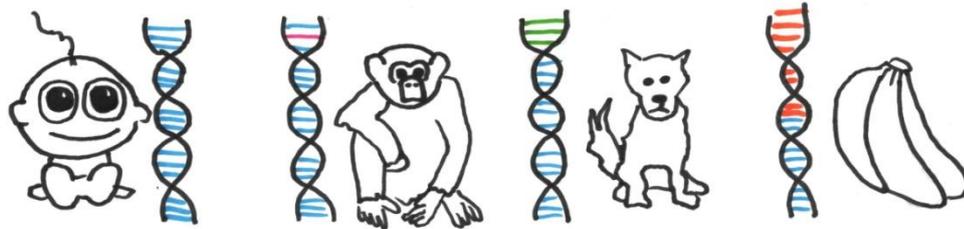


FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DAS SIMILARIDADES GENÉTICAS ENTRE HUMANOS E OUTROS ORGANISMOS. NOTE QUE EXISTEM MENOS DIFERENÇAS ENTRE O DNA DE HUMANOS E CHIMPANZÉS DO QUE ENTRE HUMANOS E CACHORROS. ENTRE HUMANOS E BANANAS A DIFERENÇA É AINDA MAIOR. DE QUALQUER FORMA, TODOS POSSUEM DNA.

## EVIDÊNCIAS E SELEÇÃO ARTIFICIAL

O estudo da seleção artificial foi muito importante para o desenvolvimento das ideias de Darwin. Ele próprio era criador de pombos. Destinou uma parte considerável da Origem das Espécies para discutir a seleção artificial. Apesar de não ser “seleção natural”, ou seja, estar relacionada à seleção planejada de características desejáveis, a seleção artificial mostra como grandes mudanças podem ocorrer em pouquíssimo tempo. Por exemplo: alguns milhares de anos foram suficientes para a diversificação das centenas de raças de cachorros que existem atualmente, todas descendentes de um ancestral muito parecido com os atuais lobos cinzentos, e que até podemos considerar um lobo cinzento. Se em tão pouco tempo podemos produzir tamanha diversidade utilizando uma única espécie, imagine o que pode acontecer ao longo dos bilhões de anos desde que a vida se originou em nosso planeta!

## EVIDÊNCIAS E SELEÇÃO NATURAL

Atualmente existem muitos estudos, muitos deles relacionados à evolução de organismos patogênicos, que mostram a seleção natural ocorrendo e as adaptações resultantes. Exemplos são a evolução de **bactérias ou vírus resistentes a medicamentos**. Também existem diversos trabalhos com outros grupos, em que observações e experimentos são muito bem explicados pela seleção natural. Por exemplo: para uma determinada espécie de peixes, os pesquisadores observaram que os machos mais brilhantes atraem mais fêmeas, mas que também são mais facilmente percebidos por predadores. Dessa forma, observando populações de peixes nas

quais não estavam presentes muitos predadores, perceberam que os machos são mais brilhantes do que em locais nos quais existem mais predadores. A presença do predador está atuando em favorecimento de variedades menos brilhantes e que sobrevivem mais. Experimentos em laboratório corroboraram a hipótese. A evolução natural em ação!

Adaptações como essa (ser menos brilhante), para evitar predadores visualmente orientados são ótimos exemplos de como a seleção natural funciona. Pense em **camuflagem**, por exemplo, na qual um indivíduo se assemelha à coloração de fundo do ambiente. Muitas vezes observamos animais com camuflagens incríveis e parece difícil explicar como isso evoluiu. Entretanto, se um ancestral levemente parecido com o ambiente deixasse mais descendentes do que um mais chamativo, ao longo do tempo a semelhança poderia se acumular. Veja esse vídeo para ter uma ideia melhor: <https://www.youtube.com/watch?v=M3bROOvWMcM>. Um organismo pode ser camuflado para predação melhor também, como um tigre com suas listras.

Outro tipo de adaptação interessante é chamado de **mimetismo**. Pode ser mimetismo **batesiano**, quando uma espécie não perigosa “imita” outra que é percebida como perigosa pelos predadores. Assim, uma serpente com peçonha pouco tóxica (falsa-coral) é semelhante à outra com peçonha poderosa (coral) e não é predada porque os predadores preferem não arriscar. Outro tipo de mimetismo é chamado de **mülleriano**, no qual duas espécies “perigosas” são parecidas e acabam “amplificando” o sinal de perigo, que é mais facilmente memorizado pelo predador.



FIGURA 15: EXEMPLO DE MIMETISMO BATESIANO. A SERPENTE NÃO PEÇONHENTA NÃO É IDÊNTICA À PEÇONHENTA, MAS É SIMILAR O SUFICIENTE PARA “ENGANAR” OS PREDADORES. ESSE É UM DESENHO ESQUEMÁTICO. NÃO SE CONSIDERE UM ESPECIALISTA EM DIFERENCIAR SERPENTES PEÇONHENTAS E NÃO PEÇONHENTAS POR CAUSA DELE. SÉRIO!!

Agora que vimos diferentes evidências relacionadas à teoria evolutiva, vamos descobrir mais sobre o processo de formação das espécies (especiação).

## ESPECIAÇÃO

O termo **especiação** é utilizado para descrever o processo de formação de novas espécies. Certamente é um fenômeno que desperta interesse, pois está relacionado à explicação da origem da biodiversidade. Entretanto, para compreender como se formam as espécies é necessário discutir um pouco mais sobre o que é uma espécie.

### O QUE É UMA ESPÉCIE?

Bom, pessoal, esse é um dos conceitos mais debatidos da Biologia (talvez mais que o próprio conceito de vida, que também é complexo). Existem vários conceitos que tentam definir o que é uma **espécie** (sério, são dezenas de conceitos). O mais famoso é o conceito biológico de espécie. Segundo esse conceito, uma espécie *engloba populações que podem se intercruzar real ou potencialmente e que estão reprodutivamente isoladas de indivíduos de outros grupos*. O “intercruzam” significa reproduzir. Dessa forma, dois organismos são de uma determinada espécie se conseguem acasalar e deixar descendentes férteis (que também possam deixar descendentes). Perceba que, conforme o conceito biológico de espécie, a compatibilidade reprodutiva é muito importante para agrupar organismos em uma espécie. Pensando no caso dos humanos, são todos da mesma espécie (*Homo sapiens*) porque apresentam o potencial de reproduzir e deixar descendentes.

Outra parte importante do conceito está no “reprodutivamente isoladas de indivíduos de outros grupos”. Para o conceito biológico, dois grupos de indivíduos pertencem a espécies diferentes se existir isolamento reprodutivo entre eles. Outra forma de dizer isso é que não pode ocorrer **fluxo gênico** entre eles (troca de material genético). De forma geral, existirão fatores que impedem que membros de duas espécies diferentes consigam reproduzir e deixar descendentes férteis, como vamos estudar mais adiante.

O **conceito biológico** de espécie, como já comentado, não é o único e apresenta limitações. Uma delas é que ele não pode ser aplicado para todos os grupos. Por exemplo: como utilizar esse conceito para definir espécies de fósseis? Também não podemos aplicar o conceito biológico para organismos que se reproduzem apenas ou preferencialmente de forma assexuada, como no caso das bactérias. Além disso, muitas vezes existem grupos de organismos que são diferentes em diversos aspectos (anatômicos, ecológicos, comportamentais, etc.), mas que eventualmente apresentam fluxo gênico. Apesar disso, o conceito biológico é o mais utilizado e o usaremos para falar sobre especiação. Mas antes vamos discutir alguns outros conceitos de espécie.

O **conceito morfológico** de espécie ainda é muito utilizado (os cientistas normalmente não fazem cruzamentos controlados de todas as populações de espécies conhecidas para ver se deixam descendentes férteis) e foi o que Lineu utilizou. Esse conceito vai definir as espécies conforme similaridade em sua aparência (forma do corpo ou outras características). O conceito pode ser aplicado em organismos de reprodução assexuada ou fósseis. Apesar disso, é muito subjetivo. Muitas vezes o que é parecido para um cientista não é para outro.

Você pode encontrar uma definição de espécie parecida com outro nome: conceito fenotípico de espécie.

Já o **conceito ecológico** utiliza o nicho ecológico de diferentes organismos para agrupá-los ou não em espécies. Mesmo indivíduos muito parecidos (que seriam colocados na mesma espécie segundo o critério morfológico) poderiam ser colocados em diferentes espécies se tiverem horários de atividades diferentes, caso comam preferencialmente coisas diferentes, etc.

Temos também o **conceito filogenético** de espécie. Vamos entendê-lo: para esse conceito, uma espécie será o menor conjunto de indivíduos que compartilham um ancestral comum (que forma, basicamente, um dos ramos da árvore da vida). Cada um desses ramos tem um ancestral que não é ancestral das espécies nos outros ramos.

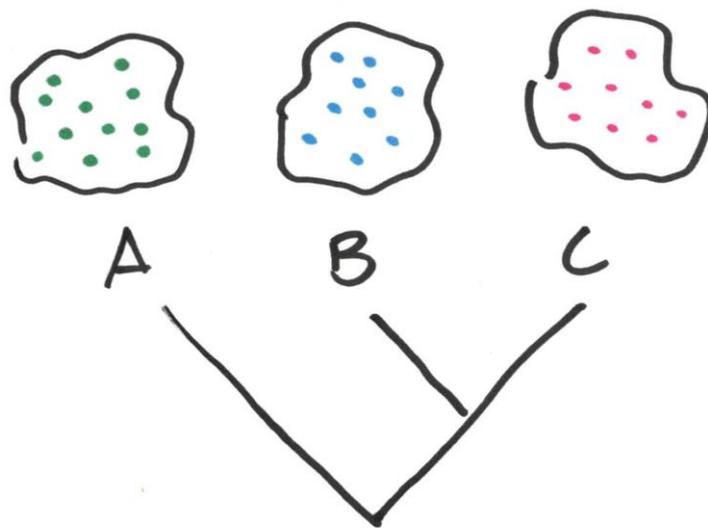


FIGURA 16: O CONJUNTO DE INDIVÍDUOS REPRESENTADOS EM VERDE FORMA A ESPÉCIE A. O CONJUNTO DE INDIVÍDUOS REPRESENTADOS EM AZUL FORMA A ESPÉCIE B. O CONJUNTO DE INDIVÍDUOS EM ROSA FORMA A ESPÉCIE C.

Bem, como falamos, tem MUITO conceito de espécie, mas o conceito biológico será particularmente didático para discutir especiação. Então vamos lá!

## ANAGÊNESE E CLADOGÊNESE

Imagine a população de alguma espécie. Ao longo do tempo essa população vai mudando, ficando diferente. A geração número 50 provavelmente será diferente, em muitos aspectos, da geração 01. Se tempo suficiente passasse, é possível que os organismos ancestrais fossem classificados em uma espécie diferente dos atuais. Essa mudança gradual dentro de uma população é um processo chamado de **anagênese**. Certamente esse processo está relacionado

a mudanças evolutivas, inclusive com transformações resultantes do processo de seleção natural. Entretanto, o processo de anagênese sozinho não serve para explicar a diversidade da vida. Se a partir do primeiro ser vivo só ocorresse o processo de anagênese, o número total de espécies no planeta poderia ser um. Para explicar a diversidade de espécies precisamos compreender outro processo, chamado de **cladogênese**, que causam especiação. Nesse processo, duas ou mais espécies são originadas a partir de uma espécie ancestral. Ou seja, uma linhagem se diversifica e origina mais de uma. Ao longo do tempo esse processo pode originar uma quantidade enorme de diferentes espécies.

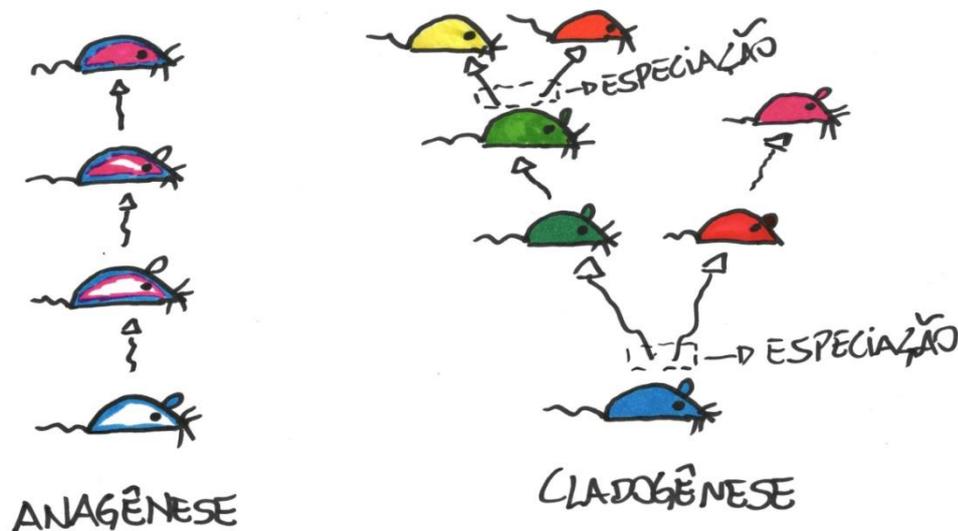


FIGURA 17: UMA POPULAÇÃO MUDA AO LONGO DO TEMPO NA ANAGÊNESE; NA CLADOGÊNESE OCORRE DIVERSIFICAÇÃO DE ESPÉCIES. PERCEBA QUE A ANAGÊNESE (MUDANÇA SEM DIVERSIFICAÇÃO) PODE OCORRER ENTRE EVENTOS DE CLADOGÊNESE. POR EXEMPLO, NA IMAGEM DA DIREITA A MUDANÇA AO LONGO DO TEMPO DA ESPÉCIE VERMELHA PARA A ROSA REPRESENTA ANAGÊNESE. O MESMO OCORRE DA ESPÉCIE VERDE ESCURA PARA A VERDE CLARA.

A especiação por cladogênese pode ser classificada em dois tipos principais, alopátrica e simpátrica, relacionados à forma como ocorrerá o isolamento reprodutivo.

### ESPECIAÇÃO ALOPÁTRICA

Na **especiação alopátrica** as espécies vão se originar após a formação de alguma **barreira física**, que causa o **isolamento geográfico** de duas ou mais populações de uma espécie. O termo “alopátrica” vem do grego *allos*, que significa outro, e *patra*, que significa pátria. Significa basicamente que as duas populações ficarão em locais diferentes.

Então, imagine que inicialmente temos uma população de alguma espécie e ocorre o surgimento de uma barreira que separa essa população em duas. No caso de uma população de uma espécie de peixes, por exemplo, pode ser que uma seca transforme uma lagoa em

duas lagoas menores; ou pode ser que um rio mude seu curso e isole duas populações de uma espécie de serpente; ou dois continentes se separam e isolam populações de muitas espécies diferentes. Enfim, a ideia é que na especiação alopátrica ocorrerá uma separação geográfica – haverá **isolamento geográfico**.

O que ocorre após a separação? Bem, cada população vai viver sua vida. Ao longo do tempo, mutações que surgem em uma população não surgem na outra. O ambiente das duas populações também é diferente. A seleção natural não ocorrerá da mesma forma. Outros fatores evolutivos também são diferentes em cada uma das populações. Ao longo do tempo, as diferenças vão se acumulando. Podem se acumular tantas diferenças que, mesmo que essas duas populações voltem a se encontrar, não sejam mais compatíveis em termos de reprodução. Olha só! Ocorreu então o isolamento reprodutivo, que, como vimos, está na base do conceito biológico de espécies. Assim, se essas duas populações de uma espécie ancestral não podem mais reproduzir e deixar descendentes, existem agora duas espécies diferentes, e não duas populações da mesma espécie.

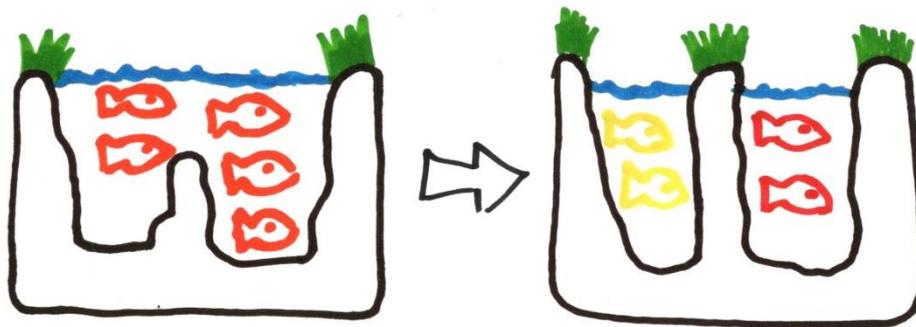


FIGURA 18: NA ESPECIAÇÃO ALOPÁTRICA DUAS ESPÉCIES SE FORMAM DEPOIS QUE UMA BARREIRA FÍSICA SE FORMA.

Normalmente o que é destacado é o acúmulo de diferenças genéticas entre as duas populações. Mutações inserem novos alelos, a seleção natural diminui ou aumenta a frequência de outros alelos. Como as populações estão isoladas, dizemos que o fluxo gênico entre elas foi interrompido. Ou seja, caso ocorra uma mutação em uma das populações, ela não poderá “migrar” para a outra porque não existe fluxo gênico entre as populações. Podemos dizer que o **pool gênico** de cada população foi isolado.

Resumindo, na especiação alopátrica inicialmente uma barreira geográfica impede o fluxo gênico, o que causa o acúmulo de diferenças entre populações até elas serem tão diferentes que, mesmo que se encontrem, não podem mais reproduzir – o isolamento geográfico leva ao isolamento reprodutivo. O mais aceito atualmente é que a especiação alopátrica seja o principal processo relacionado com a formação de novas espécies.

## ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA

Na especiação simpátrica as espécies se originam **sem a formação de uma barreira física**, ou seja, em uma mesma área geográfica. O termo “simpátrica” vem do grego *syn*, que significa junto. Mas como pode ocorrer especiação em uma separação física? Provavelmente, como o contato não é totalmente interrompido, a especiação simpátrica não seja tão comum quanto a alopátrica. Alguns fatores podem estar relacionados; entre eles está o isolamento ecológico. Um exemplo seria um inseto que se alimenta de determinada planta. Pode ocorrer alguma variação na população que faz com que um grupo de indivíduos se alimente preferencialmente de uma planta um pouco diferente. Os filhos podem herdar essa diferença. Caso essas diferenças influenciem o fluxo gênico, podem se formar novas espécies mesmo sem o isolamento geográfico. Em plantas, principalmente, esse tipo de especiação está relacionado a grande mutações cromossômicas que geram indivíduos poliploides (com um conjunto extra de cromossomos). Os indivíduos poliploides podem resultar em novas espécies. Em alguns casos de poliploidia, em uma única geração pode ocorrer a formação de uma nova espécie, isolada reprodutivamente, por especiação simpátrica.

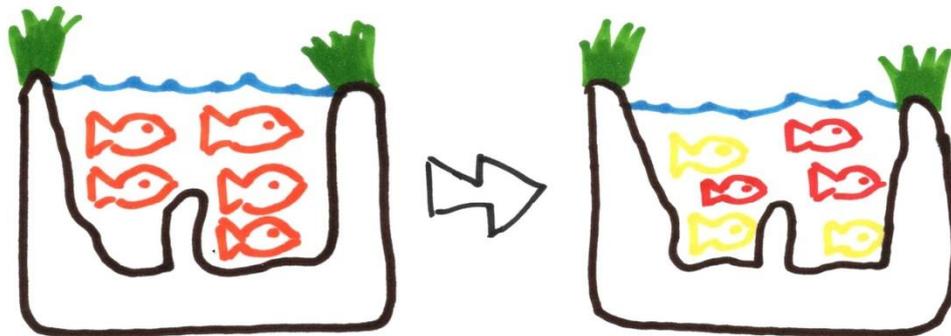


FIGURA 19: NA ESPECIAÇÃO SIMPÁTRICA NOVAS ESPÉCIES PODEM SE FORMAR SEM A NECESSIDADE DE UMA BARREIRA FÍSICA ENTRE ELAS. NO ESQUEMA ESTÃO REPRESENTADAS DUAS ESPÉCIES DIFERENTES A PARTIR DA ANCESTRAL. ENTRETANTO, PELO MENOS NO COMEÇO DO PROCESSO, VOCÊ PODE IMAGINAR A NOVA ESPÉCIE SE FORMANDO A PARTIR DE UM PEQUENO GRUPO DA POPULAÇÃO ORIGINAL.

Tanto na especiação alopátrica como na especiação simpátrica ocorre isolamento reprodutivo de diferentes grupos de organismos. A incompatibilidade reprodutiva ocorre através de vários mecanismos diferentes (relacionados ao acúmulo de diferenças que surge nos grupos de indivíduos). Mas que mecanismos são esses? Podemos classificá-los em dois grupos: barreiras pré-zigóticas e barreiras pós-zigóticas.

## BARREIRAS PRÉ-ZIGÓTICAS

Lembre-se que estamos falando de barreiras que impedem o fluxo gênico entre espécies. Ou seja, que impedem a troca de genes entre populações de uma espécie. Podem ser espécies que se originaram de um ancestral recentemente. Então, caso elas voltem a se encontrar, por quais mecanismos não conseguiriam mais reproduzir e deixar descendentes férteis?

As **barreiras pré-zigóticas** são mecanismos que impedem o acasalamento ou a fertilização caso o cruzamento ocorra. Dessa forma, elas impedem a formação do **zigoto** (por isso o nome pré-zigóticas). Existem várias barreiras pré-zigóticas, entre elas:

- 1. Isolamento de hábitat:** Os organismos das duas espécies podem até viver em uma mesma área, mas selecionam diferentes habitats. Um dos resultados é que eles podem nunca se encontrar. Imagine duas espécies de sapos que vivem na mesma floresta, mas uma vive dentro de bromélias e a outra no solo úmido. Nesse caso, seria rara a possibilidade de ocorrer fluxo gênico entre elas;

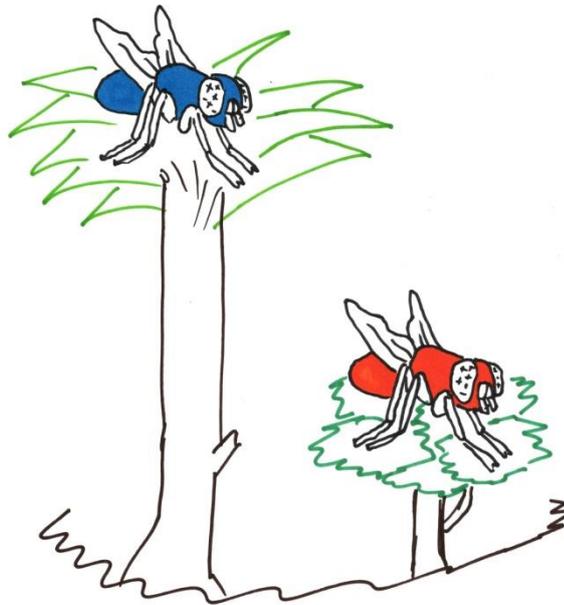


FIGURA 20: ESSAS DUAS ESPÉCIES DE MOSCAS VIVEM EM HÁBITATS DIFERENTES DENTRO DE UMA MESMA ÁREA E DIFICILMENTE SE ENCONTRAM.

- 2. Isolamento temporal:** as duas espécies podem viver muito próximas, mas o período reprodutivo de cada uma ocorre em épocas diferentes. Podem ser períodos diferentes durante o dia ou mesmo em diferentes épocas do ano. Digamos que em um gênero de gambás existam duas espécies que até possuem uma sobreposição em sua distribuição e os indivíduos se encontrem eventualmente, mas uma das espécies se reproduz de janeiro até abril e a outra de junho até setembro. Digamos que, quando um quer, o

outro nem sabe o que é isso. Enfim, sem fluxo gênico também. Você pode encontrar esse isolamento com outro nome também: sazonal;

- 3. Isolamento comportamental:** os indivíduos das duas espécies podem possuir rituais de acasalamento ou outros comportamentos característicos que não funcionam com outras espécies. Assim, os indivíduos das duas espécies não se identificam como parceiros reprodutivos. Imagine uma espécie de ave que o macho precisa fazer uma “dancinha” bem específica para atrair a fêmea; esse comportamento não funciona com fêmeas de outras espécies;

Esses três tipos de isolamento impedem que o acasalamento ocorra, mas, em alguns casos, ocorre tentativa ou acasalamento e mesmo assim o zigoto não é formado. Vamos falar de duas barreiras desse tipo.

- 4. Isolamento mecânico:** os indivíduos de duas espécies até tentam acasalar, mas diferenças na sua morfologia impedem a reprodução. Pode ser uma diferença de tamanho, de forma, etc. Alguns insetos possuem órgãos copulatórios com estrutura característica que não permite que o acasalamento tenha sucesso com indivíduos de outras espécies;
- 5. Isolamento gamético:** o acasalamento ocorre, entretanto os espermatozoides de uma espécie podem morrer devido a condições do sistema reprodutivo da fêmea de outra espécie, ou talvez não apresentem compatibilidade química com os óvulos da outra espécie. Em alguns animais aquáticos que liberam os gametas na água, por exemplo, as proteínas da superfície do óvulo e do espermatozoide não se ligam.

## BARREIRAS PÓS-ZIGÓTICAS

As barreiras pós-zigóticas operam após a formação do zigoto (a fecundação ocorre). Mas depois que o zigoto híbrido está formado, o que pode impedir que o fluxo gênico ocorra de forma frequente entre as duas espécies? Híbrido é um organismo formado a partir de duas espécies diferentes. Vamos estudar dois casos:

- 1. Baixa viabilidade do híbrido:** o desenvolvimento do zigoto pode ser comprometido. O zigoto pode morrer ou nascer e apresentar muitos problemas que dificultam sua sobrevivência.

2. **Baixa fertilidade do híbrido:** os híbridos podem se tornar adultos (inclusive mais robustos que os adultos das duas espécies que o originaram), mas são inférteis. Como esses indivíduos não conseguem reproduzir e deixar descendentes, o fluxo gênico não continua. Um exemplo clássico é a descendência resultante de cavalos e jumentos; as mulas (ou burros) geradas são usualmente inférteis.

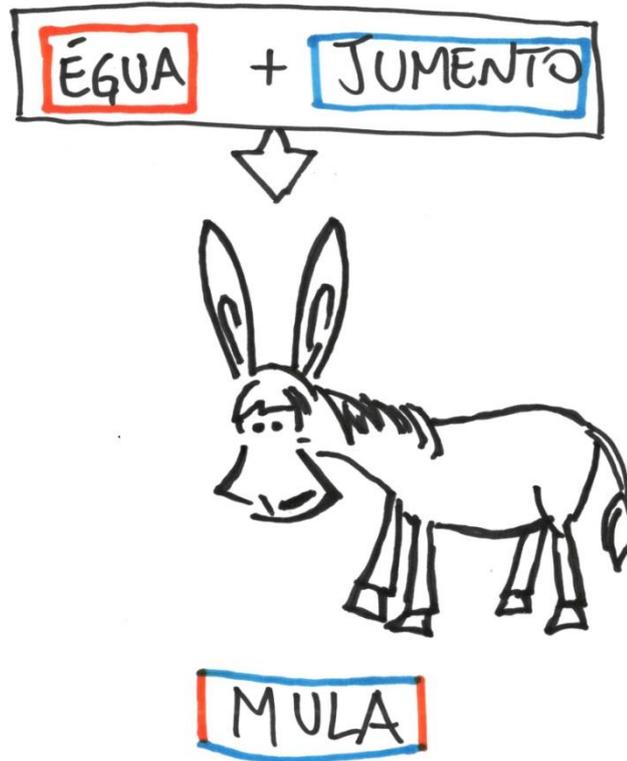


FIGURA 21: A MULA É UM HÍBRIDO, NORMALMENTE NÃO FÉRTIL, DO CRUZAMENTO ENTRE CAVALOS E JUMENTOS.

A seleção natural pode estar relacionada ao desenvolvimento de barreiras pré-zigóticas. A ideia é simples. Se indivíduos de uma espécie que cruzam com indivíduos de outras espécies deixam menos prole fértil (por causa dos mecanismos pós-zigóticos), os indivíduos que por algum motivo não cruzam com outras espécies aumentam de frequência na população. Mecanismos pré-zigóticos podem ser, de certa forma, “acentuados” através desse processo, chamado de **reforço**.

## ZONAS HÍBRIDAS

Caso duas populações descendentes de uma espécie ancestral voltem a se encontrar antes do isolamento reprodutivo ter se desenvolvido, pode ocorrer cruzamento entre os indivíduos. Podem ocorrer diferentes resultados a partir do contato e cruzamento:

1. Se os híbridos não tiverem desvantagem em relação aos indivíduos das duas “espécies”, eles podem se espalhar pelas duas populações e o fluxo gênico se

- estabelecer novamente. Nesse caso, o processo não resultará na formação de duas espécies;
2. Se os híbridos tiverem desvantagem (como nos casos de isolamento pós-zigótico), pode ocorrer o isolamento definitivo das duas populações com a formação de duas espécies. Nesse caso, mecanismos de reforço podem estar envolvidos, “acentuando” as barreiras pré-zigóticas;
  3. Algumas vezes, mesmo com híbridos menos adaptados, pode ficar estabelecida uma região onde os membros das duas espécies se encontrem e cruzem. Essa região é chamada de **zona híbrida**.

## RADIAÇÃO ADAPTATIVA

Outro conceito para estudarmos ainda nesta apostila é o de **radiação adaptativa** (ou irradiação adaptativa). Esse termo é utilizado para se referir a processos de especiação em que um único ancestral origina diversas espécies em um período relativamente curto de tempo. Esse conceito é um tanto quando amplo e gera debates. Para dar uma ideia melhor, vamos ver o exemplo mais clássico de irradiação adaptativa, relacionado com a evolução dos mamíferos.

Após a extinção dos grandes dinossauros, com muitos ambientes “disponíveis”, os mamíferos se diversificaram (principalmente os com placenta), tornando-se ecologicamente diferentes e com adaptações diversas. Esse exemplo também ilustra outra característica das radiações adaptativas. Elas têm boas chances de ocorrer em regiões com muitos **recursos não utilizados** (subutilizados). No caso dos mamíferos, muitas vezes é dito que eles ocuparam “nichos ecológicos vagos” deixados pelos grandes dinossauros. Apesar de a ideia de “nicho vago” poder ser discutida, ela pode aparecer em suas provas. A questão dos recursos disponíveis ajuda a entender porque radiações adaptativas ocorrem depois de **extinções em massa**. Ilhas também podem ser locais onde se percebem radiações rápidas (principalmente as formadas recentemente, exatamente porque ainda possuem poucos organismos utilizando os recursos). A radiação adaptativa também não precisa ser de um número absurdo de espécies. A própria origem de mais 14 espécies de tentilhões nas ilhas Galápagos a partir de um ancestral do continente configura um bom exemplo de irradiação adaptativa, na qual diferentes espécies surgiram com adaptações específicas relacionadas aos ambientes em que vivem.

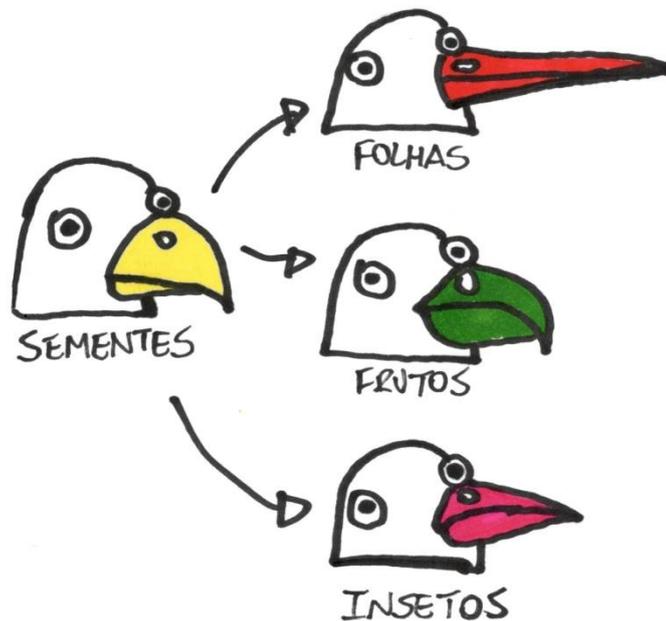


FIGURA 22: ESQUEMA PARA REPRESENTAR A RADIAÇÃO ADAPTATIVA. UMA ESPÉCIE DE AVE ANCESTRAL QUE VIVIA EM UM AMBIENTE E SE ALIMENTAVA DE SEMENTES COLONIZOU OUTROS LOCAIS E ORIGINOU TRÊS ESPÉCIES ADAPTADAS AOS NOVOS LOCAIS, COM MUDANÇAS NOS FORMATOS DO BICO RELACIONADAS À DIETA.

Bem, agora vamos falar mais um pouco sobre de que forma as ideias evolutivas se desenvolveram. Você já sabe que as ideias de Darwin estavam centradas em alguns pontos, como a **seleção natural**, o **gradualismo** e a **ancestralidade comum**. Entretanto o próprio Darwin utilizava a herança de caracteres adquiridos em suas explicações, apesar do papel central que destinava para a seleção natural. Atualmente, a herança de caracteres adquiridos como utilizada por Lamarck (ou Darwin) não é aceita. Além disso, Darwin não possuía uma boa teoria para explicar a **hereditariedade**. Ele sabia que existia variação nos organismos e que essas variações poderiam ser transmitidas. Mas como isso ocorre? O entendimento sobre os mecanismos de transmissão hereditária foram incorporados às ideias evolutivas modernas. Mas como foram ocorrendo essas mudanças no pensamento evolutivo?

## NEODARWINISMO

August Weismann foi um importante cientista com diversas contribuições para a Biologia. Pode-se dizer que era um seguidor das ideias de Darwin, mas questionava a herança de caracteres adquiridos. Lembre-se que a noção de que as características que um indivíduo adquire durante sua vida (modificações que sofre) são transmitidas para os filhos era aceita nos tempos de Darwin. Darwin tinha uma teoria para a herança que ele mesmo desenvolveu chamada de teoria da **pangênese**, e essa teoria incorpora elementos de herança de caracteres adquiridos.

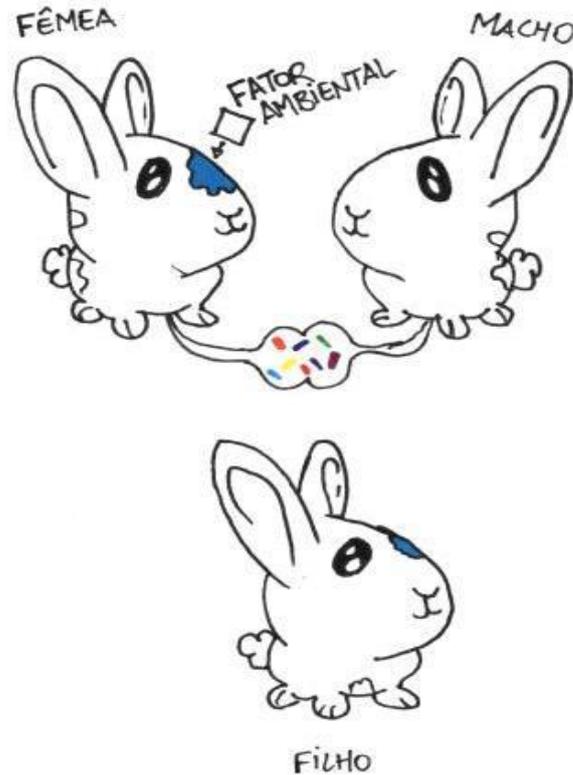


FIGURA 01: CONFORME A TEORIA DA PANGÊNESE, PARTÍCULAS REPRESENTATIVAS (GÊMULAS) DAS CARACTERÍSTICAS DE UM ORGANISMO SE ACUMULAM EM SEUS ÓRGÃOS REPRODUTIVOS. A GÊMULAS DE CADA INDIVÍDUO SE COMBINAM APÓS A FECUNDAÇÃO. NO ESQUEMA MOSTRADO, UM FATOR AMBIENTAL (QUADRADO) INDUZ UMA ALTERAÇÃO NA FÊMEA, A ALTERAÇÃO É UMA MANCHA AZUL NO ROSTO. AS GÊMULAS PRODUZIDAS POR ESSA PARTE DO CORPO SERÃO ENTÃO MODIFICADAS (A CARACTERÍSTICA PODE SER TRANSMITIDA PARA OS FILHOS). PERCEBA QUE O EFEITO É "DILUÍDO" (O FILHO DO CASAL NÃO POSSUI UMA MANCHA AZUL TÃO GRANDE). ISSO SERIA EXPLICADO EM PARTE, PORQUE GÊMULAS DA FÊMEA PRODUZIDAS ANTES NÃO SÃO MODIFICADAS E TAMBÉM, PORQUE O MACHO NÃO POSSUI ESSAS GÊMULAS TAMBÉM MODIFICADAS.

Weismann não concordava com essa teoria proposta por Darwin e formulou outra teoria sobre herança chamada de teoria do **germoplasma**. A teoria de Weismann separava as células em dois grandes grupos: as **somáticas** e as **germinativas**. Segundo essa teoria, modificações sofridas nas células somáticas (do corpo) não são transmitidas para os filhos. Apenas modificações sofridas nas células germinativas poderiam ser transmitidas e, além disso, o uso ou desuso das diferentes partes do corpo não causam modificações semelhantes nas células da linhagem germinativa. Assim, a possibilidade de herança de caracteres adquiridos foi

removida das ideias evolutivas. O conceito de **Neodarwinismo** é esse (pelo menos para alguns autores). Uma reformulação nas ideias de Darwin que não incorporava herança de caracteres adquiridos.

Galera, em suas provas, quando cair uma questão comparando Darwin e Lamarck, provavelmente a resposta certa vai associar Darwin com seleção natural e Lamarck com uso, desuso e herança de caracteres adquiridos. Darwin usava herança de caracteres adquiridos eventualmente, mas a seleção natural era um mecanismo muito mais importante no seu pensamento. Então não se confundam! Neodarwinismo, como o nome já mostra, incorpora as ideias de Darwin, incluindo a seleção natural (até enfatiza mais ela), mas exclui a possibilidade de herança de caracteres adquiridos.

Weismann realizou, durante quase dois anos, experimentos usando roedores com o objetivo de testar efeitos hereditários de caracteres adquiridos. Ele media as caudas de camundongos, depois cortava as caudas (pois é!) e deixava eles se reproduzirem. Quando os filhotes dos camundongos com caudas cortadas cresciam ele media as caudas deles também. Ele acabou medindo caudas de mais de 900 roedores. O que descobriu? Que ter a cauda cortada (uma característica adquirida) não fazia a cauda diminuir de tamanho ou desaparecer ao longo das gerações.

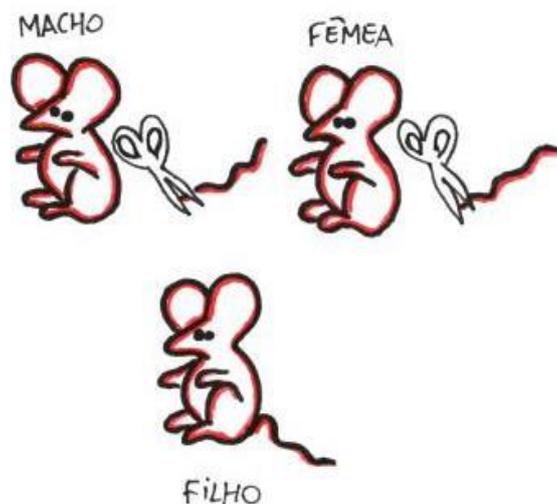


FIGURA 02: EXPERIMENTO DE WEISMANN. NOTE QUE ROEDORES QUE TIVERAM SUAS CAUDAS CORTADAS CONTINUARAM TENDO FILHOS QUE POSSUÍAM CAUDAS.

Esse é um dos experimentos clássicos utilizados para refutar a herança de caracteres adquiridos. Todavia, é possível que um “lamarckista” diga que isso não conta, pois só são transmitidas características que os organismos se “esforçam” para adquirir, o que não é o caso de amputações.

## DARWIN E MENDEL

Como comentado, Darwin não possuía uma boa teoria para explicar a hereditariedade. Por outro lado, Gregor Mendel havia proposto um modelo que explicava bem a herança de várias características. Existe uma discussão sobre se Darwin chegou a ler os trabalhos de Mendel e é bem possível que pelo menos uma leitura rápida ele tenha feito. Contudo, ele acabou não se dando conta da importância das ideias de Mendel. O motivo disso não é tão difícil de entender. Mesmo após a redescoberta dos trabalhos de Mendel, cientistas acreditavam que as ideias dos dois não eram compatíveis. Demorou um tempo até ocorrer a associação clássica que entendemos atualmente entre genética e evolução.

De forma geral, pode-se dizer que a genética explica de onde vem a variabilidade que sofre seleção natural. Além disso, a genética também explica como ocorre a transmissão de certas características hereditárias. De forma bem superficial, podemos dizer que essa unificação das ideias neodarwinistas, mendelianas e alguns de seus desdobramentos, que envolveram biólogos das mais diversas áreas (genética, paleontologia, taxonomia, biogeografia, zoologia, botânica), é chamada de **síntese moderna** ou **teoria sintética da evolução** (porque é uma síntese de ideias vindas de diferentes áreas). Digo “bem superficial”, pois tudo isso ocorreu ao longo de boa parte do século XX e daria para separar em diferentes fases. Enfim, não temos muito espaço para discutir isso aqui. Caso queira se aprofundar mais no assunto, leia o livro: *Biologia, Ciência Única*, de Ernst Mayr (o capítulo 7 trata especificamente disso e é de fácil leitura). Antes de falar sobre a Teoria Sintética da Evolução, saiba que é muito comum encontrar livros e questões que tratam ela como sinônimo de neodarwinismo. Em termos históricos isso não está muito correto. A exclusão da herança de caracteres adquiridos, compatibilização com as ideias mendelianas e outras reformulações ficam todas no mesmo barco. Então, leve essa utilização como termos sinônimos e acerte a questão!

## TEORIA SINTÉTICA DA EVOLUÇÃO

A Teoria Sintética da Evolução também pode ser chamada de Síntese Moderna ou **Teoria Moderna da Evolução**. Os mecanismos (já vamos falar deles) relacionados com essa teoria são de forma geral os mais aceitos atualmente para explicar como a evolução ocorre. Existe uma discussão na comunidade científica sobre a importância relativa desses mecanismos no processo evolutivo e se são os únicos relacionados com as mudanças evolutivas, ou seja, discussão sobre COMO a evolução ocorre. Apesar disso, a esmagadora maioria da comunidade científica não tem dúvidas de que a evolução ocorre. É fato que as espécies mudam ao longo do tempo.

Da perspectiva da síntese moderna, podemos entender evolução também como mudança, mas vamos utilizar uma definição mais específica de mudança. Vai ocorrer evolução quando as **frequências alélicas de uma população mudam ao longo das gerações**. Assim, os **mecanismos**

**evolutivos** são fatores que alteram as frequências gênicas (alélicas) da população ao longo das gerações. Que fatores são esses?

## FATORES (OU MECANISMOS) EVOLUTIVOS

Os fatores evolutivos podem ser compreendidos de acordo com a sua relação com a variabilidade genética. Vamos estudar os cinco mecanismos mais enfatizados: **mutações**, **recombinação gênica**, **fluxo gênico**, **deriva genética** e **seleção natural**. Os dois primeiros fatores são importantes porque originam variabilidade genética. Os três últimos alteram as frequências dos alelos nas populações. Explicar a origem da variabilidade é importante para a biologia evolutiva. Para a seleção natural ocorrer precisa existir variação hereditária nas populações. Assim, a variabilidade é um pré-requisito para a evolução como ocorre em nosso planeta (e em outros, caso possuam vida).

### MUTAÇÕES

Uma **mutação** pode ser entendida como qualquer mudança no DNA de um indivíduo. Essas mutações podem inserir novos alelos/genes em uma população. Perceba então, que mutações podem ser consideradas como a fonte primária de variabilidade genética. Todos os organismos vivos estão sujeitos a mutações. De forma geral, uma mutação acaba sendo danosa (ruim para o indivíduo) ou neutra (sem grandes efeitos). Eventualmente pode ocorrer uma mutação que traga vantagem adaptativa ao organismo, uma mutação benéfica, ou o ambiente pode mudar e uma mutação antes pouco vantajosa passa a ser vantajosa. Mutações também podem inserir novamente alelos que foram perdidos através de outros mecanismos. Dessa forma, mutações podem tanto originar variação, quanto manter a variabilidade genética de uma população.

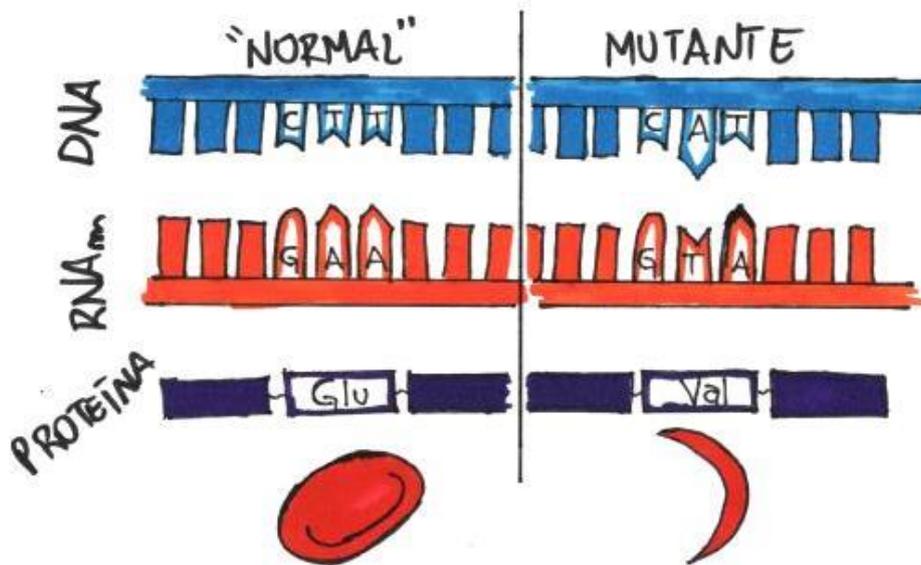


FIGURA 03: EXEMPLO DE MUTAÇÃO. UM DOS NUCLEOTÍDEOS “T” DO DNA NÃO MUTANTE É SUBSTITUÍDO POR UM NUCLEOTÍDEO “A” NO DNA MUTANTE. ISSO CAUSA UMA MUDANÇA NO RNAM QUE VAI INFORMAR UM AMINOÁCIDO DIFERENTE NA COMPOSIÇÃO DA PROTEÍNA (NO CASO A HEMOGLOBINA). ISSO CAUSA UMA MUDANÇA NO FORMATO DA HEMÁCIA. PESSOAS COM HEMÁCIAS ASSIM POSSUEM ANEMIA FALCIFORME.

Um aspecto importante de ter em mente é que as mutações além de serem **eventos raros**, podem ser compreendidas como **eventos aleatórios**. Dessa forma, não é possível, a partir de aplicação de fatores que aumentem a taxa de mutação (como radiação), causar uma mutação específica para alguma característica. Você consegue aumentar a taxa geral de mutações, mas pode ser que a mutação de interesse nunca apareça.

Em organismos multicelulares, para que uma mutação passe para as próximas gerações ela precisa ocorrer nas células germinativas. Se uma mutação ocorrer em uma célula somática (como uma célula da pele) ela não vai ser transmitida. Isso é uma regra mais “forte” em animais, uma vez que em plantas e fungos, novos indivíduos podem se originar de diferentes linhagens celulares.

Também podemos separar as mutações entre as **gênicas** e as **cromossômicas**. As gênicas são as que estamos falando até agora. São mutações que acabam alterando uma única base do DNA, sendo por isso também chamadas de **mutações de ponto**. Mutações em grande escala (chamadas de cromossômicas) pode eliminar, quebrar, ou reestruturar cromossomos inteiros. Essas mutações apresentam grande probabilidade de serem deletérias. Em alguns casos, podem ser benéficas e uma fonte de variabilidade. Por exemplo, se um gene for totalmente duplicado, uma das cópias pode sofrer mutações enquanto a outra continua funcional. Eventualmente a cópia que sofre mutações pode apresentar uma função nova.

Como já comentado, mutações são eventos raros. Logo, geralmente a taxa de mutação nos mais diferentes organismos não é muito elevada. Para você ter uma ideia, uma taxa de uma mutação por locus a cada mil zigotos de uma geração é considerada alta. Mesmo assim, se

você pensar na grande quantidade de material genético em um organismo, mutações mesmo em pequenas taxas podem ao longo do tempo resultar em muita variabilidade.

## RECOMBINAÇÃO GÊNICA

A **reprodução sexuada** possui a vantagem de proporcionar variabilidade genética. Isso ocorre, pois os indivíduos produzidos por reprodução sexuada apresentam uma constituição genética diferente dos pais (mesmo sem mutações ocorrerem). Cada pai vai enviar apenas metade de seu material genético para os filhos. Então, nos filhos o material genético pode ser visto como uma “mistura” do material genético de ambos os pais. Imagine o material genético dos pais e dos filhos como um baralho. O baralho do filho vai ter metade das cartas vindas do baralho de cada pai. Essa “mistura” de genes/alelos provenientes de cada pai é chamada **de recombinação gênica**. A recombinação gênica não vai inserir novos alelos na população, como ocorre com a mutação, entretanto ela vai gerar variabilidade introduzindo novos arranjos genéticos nos indivíduos (baralhos que utilizam as mesmas cartas mas com composições variadas delas). A recombinação gênica é explicada através do processo de **segregação independente dos cromossomos** durante a meiose (veja no esquema abaixo).

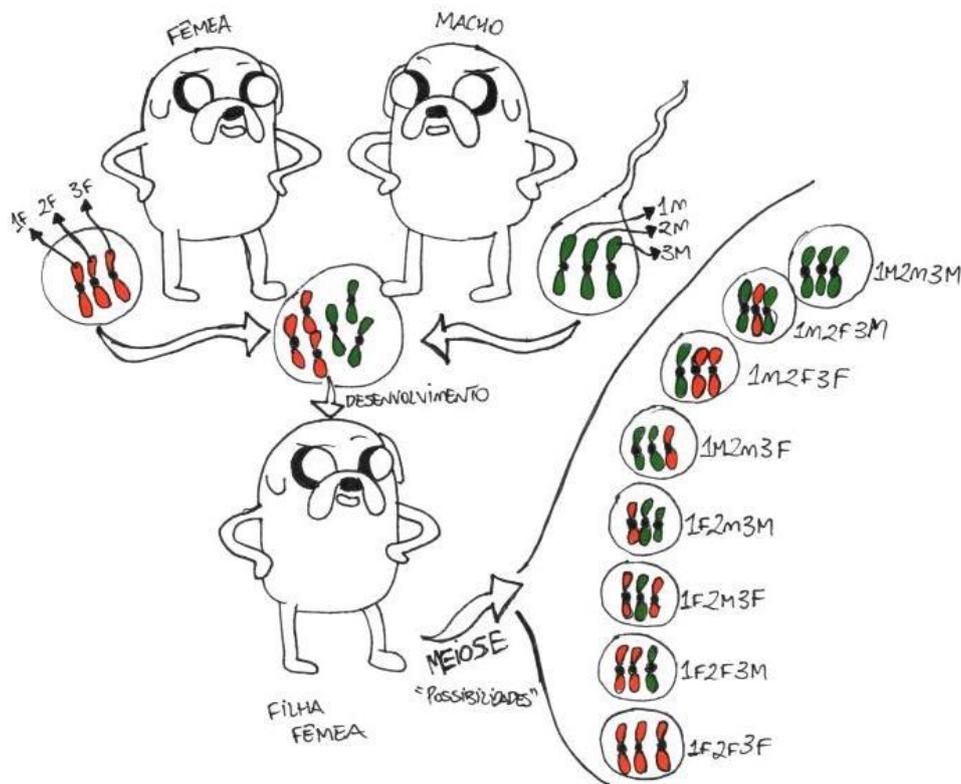


FIGURA 04: ESQUEMA PARA REPRESENTAR O PROCESSO DE SEGREGAÇÃO INDEPENDENTE DOS CROMOSSOMOS HOMÓLOGOS E A CONSEQUENTE VARIABILIDADE PROPORCIONADA. NESSA ESPÉCIE HIPOTÉTICA O ORGANISMOS

$2N$  POSSUI 6 CROMOSSOMOS. DESSES, 3 SÃO DE ORIGEM MATERNA E 3 SÃO DE ORIGEM PATERNA. A PARTIR DOS 6 CROMOSSOMOS RECEBIDOS DOS PAIS, PERCEBAM QUE A FILHA PODE PRODUZIR DURANTE A MEIOSE ATÉ 8 GAMETAS COM COMPOSIÇÃO GENÉTICA DIFERENTE. NA ESPÉCIE HUMANA QUE POSSUI 23 PARES DE CROMOSSOMOS, UMA ÚNICA PESSOA TEM O POTENCIAL DE PRODUZIR 8.388.608 GAMETAS DIFERENTES. ISSO SEM LEVAR EM CONSIDERAÇÃO O CROSSING-OVER.

Além da segregação independente dos cromossomos, durante a meiose pode ocorrer outro fenômeno que também aumenta a variabilidade genética que é a **permutação (crossing-over)**. Nesse processo, os cromossomos homólogos de ambos os pais vão trocar pedaços durante a meiose.

Tanto a recombinação gênica (reprodução sexuada) como mutações são fatores relacionados com a produção de variabilidade necessária para a evolução ocorrer.

## FLUXO GÊNICO

As populações das espécies usualmente não estão totalmente isoladas. Isso significa que indivíduos de uma população podem **migrar** para outra. Essa migração de indivíduos entre populações está relacionada com o **fluxo gênico**. Os genes/alelos de uma população podem ser levados para outra se os indivíduos que migram reproduzem na nova população. Você pode imaginar isso pensando que ocorre uma migração de gametas. Isso pode mudar as frequências alélicas de uma população, tanto inserindo novos alelos, como mudando a proporção dos alelos que já existiam. O fluxo gênico entre duas populações tende a diminuir suas diferenças genéticas. Dessa forma, as duas populações apresentam um **pool gênico** parecido.

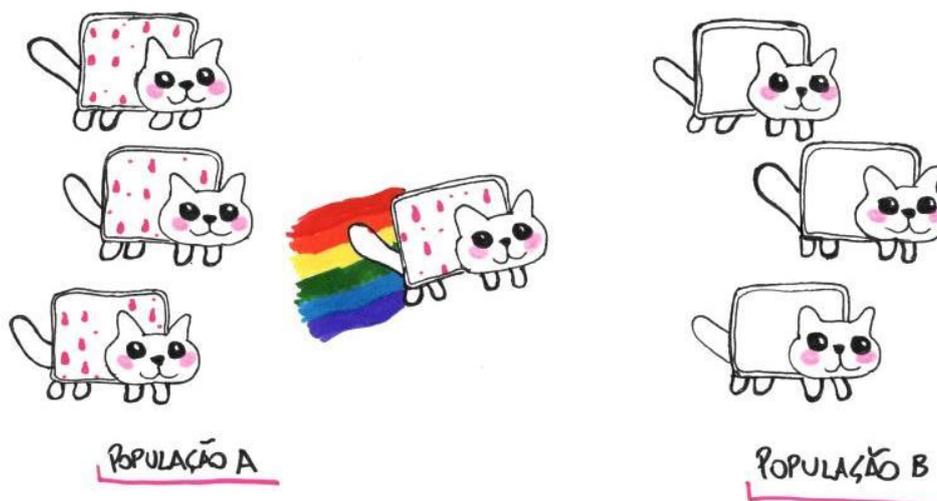


FIGURA 05: OBSERVE QUE UM INDIVÍDUO DA POPULAÇÃO A ESTÁ MIGRANDO PARA A POPULAÇÃO B. ELE PODE INTRODUIZIR NOVOS ALELOS NA POPULAÇÃO B, COMO OS RELACIONADOS COM OS PONTOS ROSAS NO CORPO. ALÉM DA INTRODUÇÃO DE NOVOS ALELOS NA POPULAÇÃO B AS FREQUÊNCIAS DOS QUE JÁ EXISTEM PODEM SER

ALTERADAS. A POPULAÇÃO DE ORIGEM PODE PERDER ALELOS SE ELES SÓ ESTAVAM PRESENTES NO INDIVÍDUO QUE MIGRA.

O fluxo gênico, assim como mutações, pode inserir novos alelos em uma população. Como o fluxo gênico pode acontecer em taxas mais altas do que as mutações, ele pode ser um fator que altera as frequências alélicas de forma mais direta. Além da entrada de novos alelos em uma população por **imigração** de indivíduos, a **emigração** também pode alterar ou diminuir a diversidade genética da população da qual o indivíduo migrante saiu.

### DERIVA GENÉTICA

Deriva genética é basicamente a **mudança aleatória nas frequências dos alelos**. A deriva é um mecanismo de mudanças mais significativo em populações pequenas. Para você entender, imagine uma população que apresente só dois indivíduos. Para um determinado gene, os dois indivíduos são heterozigotos Aa. Eles reproduzem uma vez e os alelos são recombinados de forma aleatória nos filhos. Entretanto em nosso exemplo nenhum dos filhos recebe o alelo “a”. Essa nova geração só apresenta então, o alelo A. Quanto maior o tamanho de uma população, menor a probabilidade disso ocorrer entre uma geração e outra.

A deriva pode ocorrer também quando uma população sofre grandes perdas. Por exemplo, uma enchente, uma erupção vulcânica ou um meteoro podem eliminar boa parte dos indivíduos de uma população, deixando poucos indivíduos sobreviventes. Nesse caso, podemos dizer que ocorreu o **efeito gargalo** ou gargalo populacional. Durante um evento desses, a variabilidade genética de uma população pode diminuir por deriva genética (quem vai sobreviver ou não nessas situações depende do acaso).

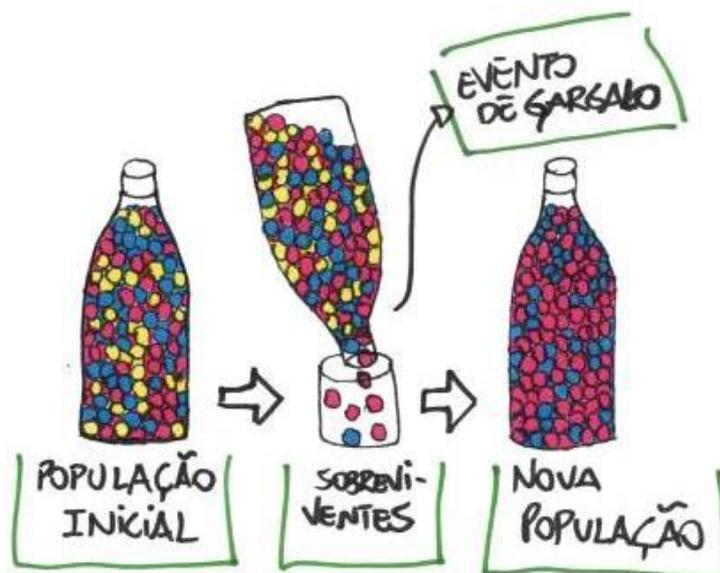


FIGURA 06: AS BOLINHAS PRESENTES NAS GARRAFAS REPRESENTAM OS ALELOS QUE EXISTEM NA POPULAÇÃO. NA POPULAÇÃO INICIAL EXISTEM 3 ALELOS (AMARELOS, AZUIS E ROSAS). OCORRE UM EVENTO DE GARGALO E APENAS ALGUNS INDIVÍDUOS SOBREVIVEM. PERCEBA QUE NENHUM INDIVÍDUO COM O ALELO “AMARELO” SOBREVIVEU. ALÉM DISSO, POUCOS ALELOS “AZUIS” RESTARAM. A NOVA POPULAÇÃO ALÉM DE NÃO POSSUIR O ALELO AMARELO AINDA VAI TER UMA FREQUÊNCIA MAIOR DO ALELO ROSA.

Outro efeito parecido e que também está relacionado com a deriva genética ocorre quando poucos indivíduos de uma população acabam por migrar e colonizar um novo local. Como são poucos indivíduos, a probabilidade de que eles possuam toda diversidade genética da população fonte é baixa. Chamamos isso de **efeito fundador**, e na prática ele é equivalente a um evento de gargalo populacional. Se não ocorrer fluxo gênico entre a população fonte e essa nova população, uma nova espécie pode surgir ao longo das gerações.

Resumindo, a deriva causa mudanças aleatórias na frequência alélica de uma população que podem diminuir a variabilidade genética. A deriva é um evento aleatório, então mesmo um alelo deletério pode aumentar de frequência ao longo do tempo. O efeito da deriva genética é mais significativo em populações pequenas e existem alguns casos especiais de deriva chamados de efeito gargalo e efeito fundador.

## SELEÇÃO NATURAL

Vimos que indivíduos que possuem características vantajosas podem deixar mais descendentes que também possuem essas características se forem herdáveis. No sentido de evolução como mudança na frequência dos alelos, poderia se dizer então, que a seleção natural pode aumentar a frequências de alelos relacionados com características que beneficiam os indivíduos que os possuem. Essa “escolha” de determinados alelos relacionada com a seleção natural é o único mecanismo entre os que falamos que leva ao desenvolvimento de adaptações de forma consistente. De forma geral, você pode pensar assim: mecanismos como mutação e recombinação gênica originam variação que por sua vez vai poder aumentar ou diminuir de frequência devido à seleção natural. Outra forma de pensar é que mutação e recombinação estão relacionadas com a origem da variação enquanto mecanismos como seleção natural e deriva genética estão relacionados com o destino da variação. A seleção natural pode atuar de diferentes formas em uma população, produzindo resultados variáveis.

### 1. SELEÇÃO ESTABILIZADORA

A **seleção estabilizadora** possui esse nome porque “estabiliza” o valor de determinada característica podendo diminuir a variação. Ela diminui a variação (que surge por mutação, recombinação ou fluxo gênico) sem alterar a média. Um exemplo seria o peso dos bebês na espécie humana. Bebês que ao nascer possuem peso muito abaixo ou muito acima da média têm menor probabilidade de sobreviver. A seleção natural favorece então os pesos intermediários.

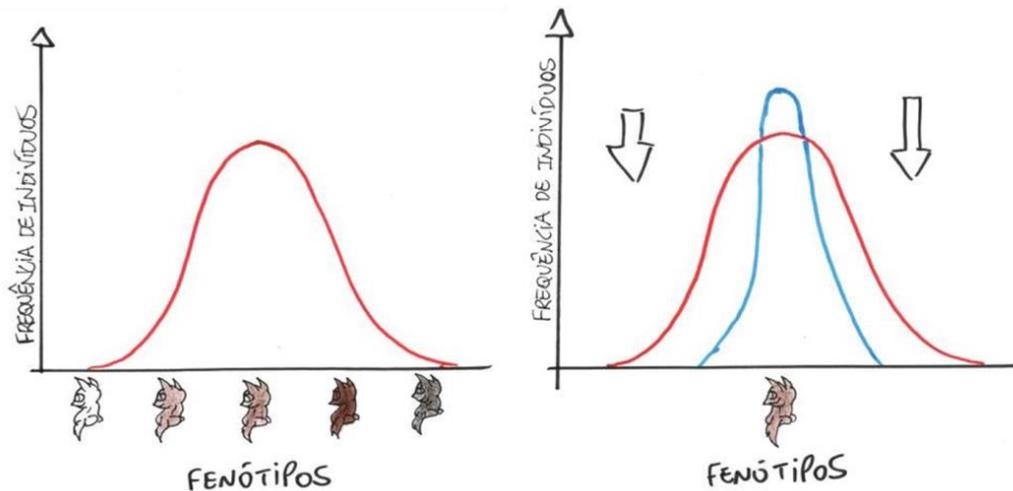


FIGURA 07: NO PRIMEIRO GRÁFICO VOCÊ PERCEBE A DISTRIBUIÇÃO EM TERMOS DE FREQUÊNCIA DE CINCO POSSÍVEIS FENÓTIPOS EM UMA POPULAÇÃO DE RAPOSAS. O FENÓTIPO MARROM MÉDIO É O MAIS FREQUENTE, SEGUIDO PELOS FENÓTIPOS MARROM CLARO E MARROM ESCURO. OS FENÓTIPOS BRANCO E PRETO SÃO OS MENOS FREQUENTES. NO SEGUNDO GRÁFICO, VOCÊ PODE VER O QUE ACONTECERIA CASO ESSA POPULAÇÃO PASSASSE POR SELEÇÃO ESTABILIZADORA. OS INDIVÍDUOS COM FENÓTIPO MÉDIO VÃO TER VANTAGENS. AS GRANDES SETAS REPRESENTAM SELEÇÃO CONTRÁRIA OCORRENDO COM OS INDIVÍDUOS QUE POSSUEM OS FENÓTIPOS MAIS DISTANTES DO MÉDIO. NO SEGUNDO GRÁFICO, A LINHA VERMELHA FOI MANTIDA PARA REPRESENTAR A DISTRIBUIÇÃO DOS FENÓTIPOS DA POPULAÇÃO ORIGINAL ENQUANTO A LINHA AZUL MOSTRA A FREQUÊNCIA APÓS A SELEÇÃO ESTABILIZADORA.

Outro exemplo seria o da anemia falciforme em regiões endêmicas para malária. O alelo relacionado com a anemia falciforme é altamente prejudicial quando em homozigose e os indivíduos que o possuem apresentam quadros severos de anemia e usualmente morrem antes de reproduzir. Você poderia esperar, então que esse alelo ocorresse em frequências muito baixas. Isso ocorre na maior parte das regiões habitadas por humanos. Mas existem exceções. Em locais onde a malária é uma doença comum, o alelo para anemia falciforme aparece em frequências mais elevadas. Isso está relacionado com o fato de que pessoas que são heterozigotas (possuem o alelo que causa anemia falciforme, mas também o alelo “normal”) são mais resistentes à doença do que pessoas que são homozigotas para o alelo “normal”. As pessoas heterozigotas, apesar de possuírem quadros mais brandos de anemia, podem deixar mais descendentes do que pessoas sem o alelo para a anemia, mas que morrem devido à malária. Nesses casos a seleção natural favorece o genótipo intermediário.

## 2. SELEÇÃO DIRECIONAL

Caso os indivíduos que possuem o fenótipo em um dos extremos da distribuição deixam mais descendentes do que os demais, o valor médio da característica fenotípica em questão vai ser “deslocado” para esse extremo. No caso de esse tipo de seleção persistir por muito tempo, podemos chamar essa mudança da característica de uma **tendência evolutiva** (isso não significa que vai ser assim para sempre). A **seleção direcional** pode ser relacionada a alterações no ambiente ou à colonização de um novo local. Nesses contextos, fenótipos que antes não eram tão vantajosos podem ser mais vantajosos após essas mudanças. A evolução da camuflagem pode ser vista inicialmente como seleção direcional. No passado alguns indivíduos de uma população que apresentavam um fenótipo pouco frequência, mas que era mais parecido com a coloração de fundo do ambiente começaram a deixar mais descendentes. Ao longo de muitas gerações de seleção direcional os indivíduos da população ficaram cada vez mais parecidos (camuflados) com a coloração de fundo do ambiente.

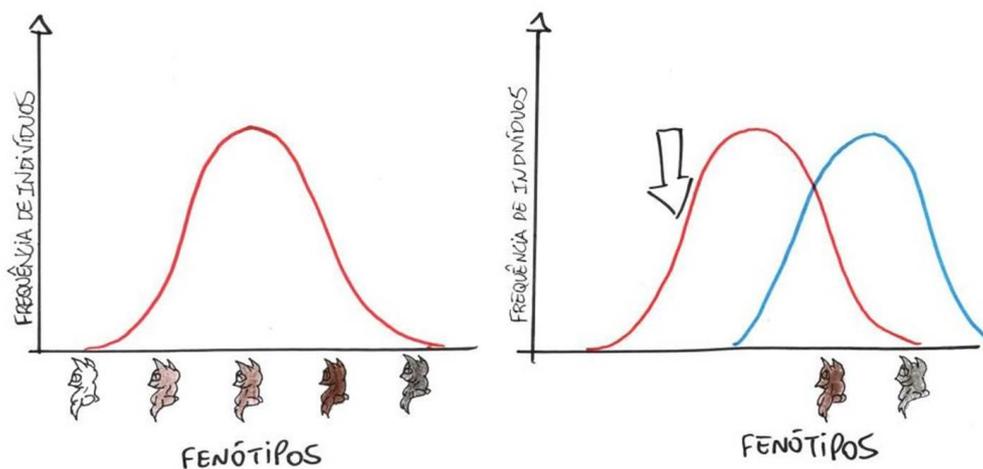


FIGURA 08: NO SEGUNDO GRÁFICO VOCÊ PODE VER O QUE ACONTECERIA CASO ESSA POPULAÇÃO PASSASSE POR SELEÇÃO DIRECIONAL. OS INDIVÍDUOS COM FENÓTIPO EM UM DOS EXTREMOS VÃO TER VANTAGENS. A GRANDE SETA REPRESENTA SELEÇÃO CONTRA FENÓTIPOS QUE NÃO ESTÃO NESTE EXTREMO. NESTE SEGUNDO GRÁFICO, A LINHA VERMELHA FOI MANTIDA PARA REPRESENTAR A DISTRIBUIÇÃO DOS FENÓTIPOS DA POPULAÇÃO ORIGINAL ENQUANTO A LINHA AZUL MOSTRA A FREQUÊNCIA APÓS A SELEÇÃO DIRECIONAL.

Outros exemplos de seleção direcional podem ser a evolução de linhagens de bactérias resistentes a antibióticos. Uma população de bactérias acaba infectando uma pessoa. A pessoa começa a tomar antibióticos e as bactérias que por algum motivo são resistentes podem aumentar de frequência na população. A mesma lógica pode ser aplicada a evolução de insetos resistentes a inseticidas.

### 3. SELEÇÃO DISRUPTIVA

Na seleção direcional, os indivíduos com características em um dos extremos de distribuição são selecionados. Já na **seleção disruptiva** são selecionados os indivíduos em ambos os extremos de distribuição para uma determinada característica. Quando isso ocorre, esses indivíduos deixam mais descendentes do que os que estão próximos da média. Esse tipo de seleção é interessante porque ela aumenta a variação da população.

Alguns exemplos podem ser verificados em plantas que crescem próximas de minas. O solo desses locais pode estar contaminado com metais pesados. Quando isso ocorre a fronteira entre a área contaminada e não contaminada é claramente observada. Algumas plantas dessas regiões apresentam alguns indivíduos que se desenvolvem bem no solo contaminado enquanto outros se desenvolvem bem no solo não contaminado. Através de seleção disruptiva, dois fenótipos diferentes de plantas são selecionados. As plantas “médias”, que talvez fossem mais ou menos adaptadas para ambos os tipo de solo, não competem bem com as outras.

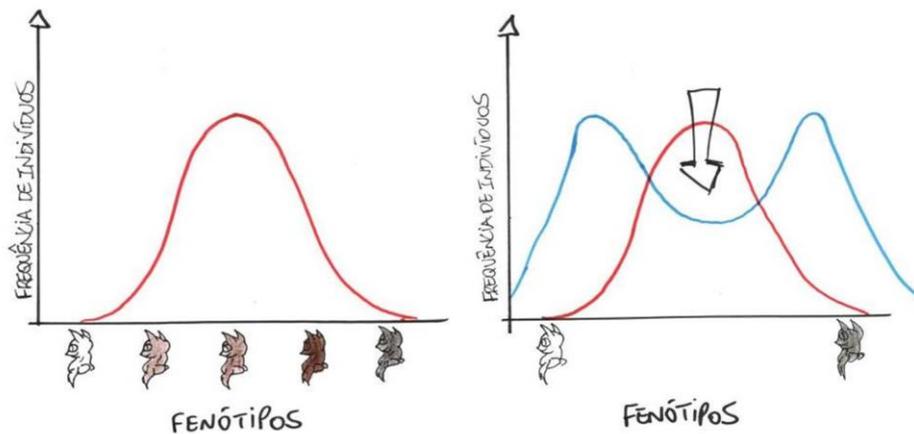


FIGURA 09: NO SEGUNDO GRÁFICO VOCÊ PODE VER O QUE ACONTECERIA CASO ESSA POPULAÇÃO PASSASSE POR SELEÇÃO DISRUPTIVA. OS INDIVÍDUOS COM FENÓTIPOS EM AMBOS OS EXTREMOS VÃO TER VANTAGENS. A GRANDE SETA REPRESENTA SELEÇÃO CONTRA INDIVÍDUOS COM FENÓTIPOS INTERMEDIÁRIOS. NESTE SEGUNDO GRÁFICO A LINHA VERMELHA FOI MANTIDA PARA REPRESENTAR A DISTRIBUIÇÃO DOS FENÓTIPOS DA POPULAÇÃO ORIGINAL ENQUANTO A LINHA AZUL MOSTRA A FREQUÊNCIA APÓS A SELEÇÃO DISRUPTIVA.

Imagine um exemplo hipotético de uma espécie de grilos com coloração verde que migre para um novo ambiente. Nesse novo ambiente, existem predadores que conseguem visualizar melhor verde-médios, enquanto os verde-claros e verde-escuros são menos predados. Novamente o fenótipo médio apresenta uma desvantagem e os fenótipos extremos são favorecidos.

Outro exemplo possível de seleção disruptiva está relacionado com o tamanho do bico em uma espécie de tentilhão (*Pyrenestes ostrinus*). Essa espécie se alimenta de sementes de

juncos. Pássaros com bicos grandes conseguem se alimentar de forma eficiente de sementes grandes de uma espécie de junco. Pássaros com bicos pequenos se alimentam de forma eficiente (mais do que pássaros com bicos grandes) das sementes pequenas de outra espécie de junco. As aves que nascem com bicos intermediários não conseguem se alimentar muito bem de nenhum dos dois tipos de sementes.

O tipo de distribuição com dois picos, como no caso dos bicos, é chamada de distribuição bimodal (olhe novamente o gráfico de seleção disruptiva). Como a seleção disruptiva aumenta a variação de uma população, ela pode ter uma importância na formação de novas espécies.

Resumindo, a seleção estabilizadora confere vantagem para indivíduos com fenótipo médio (intermediário). Já a seleção direcional favorece indivíduos com fenótipo que se desviam da média para uma das extremidades de distribuição. A seleção disruptiva favorece indivíduos com fenótipos em ambas as extremidades mas não os indivíduos com fenótipos médios.

## SELEÇÃO SEXUAL

A **seleção sexual** pode ser considerada outro tipo de mecanismo evolutivo. É muito comum encontrar livros que tratam a seleção sexual como um caso especial, um subtipo de seleção natural, entretanto isso não é consenso e a seleção sexual ser tratada como algo diferente de seleção natural. Isso, porque esse conceito foi proposto exatamente para dar conta de observações que através de seleção natural são difíceis de explicar.

Por exemplo, de que forma uma cauda grande e chamativa ajuda um pavão a sobreviver? A partir de seleção sexual fica mais simples explicar o desenvolvimento de estruturas que parecem dispendiosas, inúteis ou deletérias para a sobrevivência de um organismo, pois essas características, apesar de não estarem diretamente relacionadas com vantagens na sobrevivência, aumentam o **sucesso reprodutivo** dos organismos que as possuem fazendo com que deixem mais descendentes do que os que não a possuem.

No caso dos pavões, a explicação é que as fêmeas preferem acasalar com pavões machos que possuem uma cauda grande e chamativa. Assim, um pavão macho que não apresenta uma cauda assim até pode sobreviver um bom tempo, mas não vai deixar descendentes. De forma sintética, a seleção sexual ocorre quando indivíduos com determinada característica conseguem parceiros sexuais em uma frequência maior do que aqueles sem essa característica. Uma das consequências da seleção sexual é o **dimorfismo sexual**. Dimorfismo sexual significa que vão existir diferenças no fenótipo de machos e fêmeas de uma espécie (normalmente as relacionadas a características sexuais secundárias). Exemplos comuns envolvem diferenças no tamanho, comportamento, coloração, ornamentos, etc.



FIGURA 10: EXEMPLO DE UMA ESPÉCIE HIPOTÉTICA DE AVE QUE APRESENTA DIMORFISMO SEXUAL. É COMUM ENTRE AVES OS MACHOS APRESENTAREM COLORAÇÃO E ORNAMENTOS MAIS CHAMATIVOS QUE AS FÊMEAS. A SELEÇÃO SEXUAL É UTILIZADA PARA EXPLICAR ESSE PADRÃO.

A seleção sexual pode ser **intrasexual** (relacionada com indivíduos de um mesmo sexo) quando ocorre competição por parceiros do sexo oposto. Exemplos mais conhecidos desse tipo de seleção envolvem machos que competem por fêmeas (mas pode ser o oposto também). Esse tipo de seleção pode resultar no desenvolvimento de estruturas que auxiliem na competição, como tamanhos maiores ou chifres.

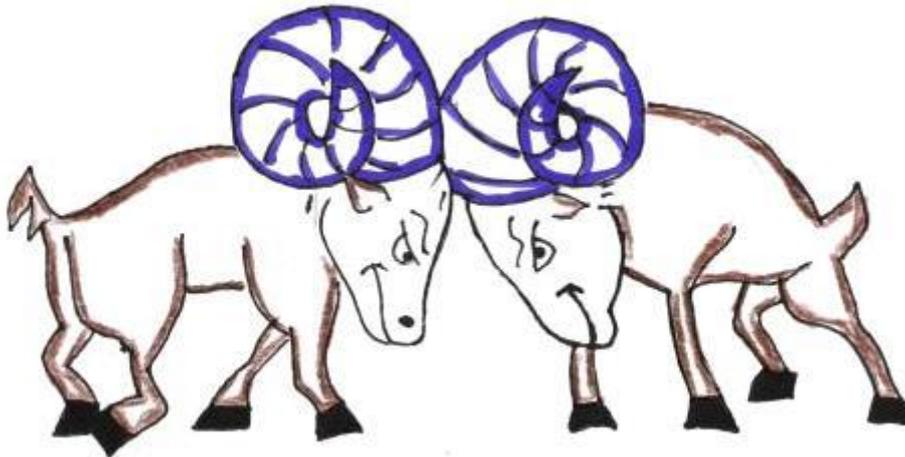


FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DE ESTRUTURAS (CHIFRES) E COMPORTAMENTO RELACIONADOS COM SELEÇÃO INTRASEXUAL.

Já na seleção **intersexual** (entre sexos), indivíduos de um sexo selecionam parceiros. A cauda do pavão é um exemplo, no qual as fêmeas selecionam os machos com caudas grandes e

vistas. Na figura anterior que mostra o dimorfismo sexual entre uma espécie hipotética de ave também podemos ver um exemplo de seleção intersexual.

Uma das hipóteses para explicar porque a seleção sexual ocorre está relacionada com possibilidade da característica selecionada indicar a presença de “bons genes”, sendo um indicativa de qualidade genética do parceiro.

## COEVOLUÇÃO

As espécies podem afetar a evolução umas das outras de forma recíproca. Quando isso ocorre, falamos em **coevolução**. É muito comum em espécies que possuem um relacionamento ecológico próximo e as mudanças evolutivas que ocorrem em uma das espécies influenciam as mudanças evolutivas da outra (e vice-versa). Dependendo da relação ecológica estabelecida entre as espécies podemos ver alguns padrões comuns de coevolução. Entre elas estão as relações estabelecidas entre **predadores e presas, parasitas e hospedeiros** e muitos casos de interações entre **insetos e plantas**. A coevolução entre insetos e plantas pode beneficiar ambas as espécies nos casos de **polinização**, mas também pode estar relacionada com a **herbivoria**. Nesses casos, ao mesmo tempo em que as plantas são selecionadas no sentido de desenvolver compostos tóxicos que dificultem serem ingeridas pelos insetos, desenvolvem mecanismos de defesa. Você pode compreender essa relação com uma interação entre predador e presa. Um exemplo muito comum de coevolução desse tipo envolve predadores como grandes felinos e suas presas. Digamos que as presas se tornem mais rápidas, isso gera uma pressão de seleção para que o predador se torne mais rápido também e consiga capturar as presas. Esse tipo de processo pode ser chamado metaforicamente de **corrida armamentista**.



FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO DA RELAÇÃO ECOLÓGICA QUE RESULTA EM COEVOLUÇÃO ENTRE PREDADORES E PRESAS.

Nesse contexto, você também pode se deparar o termo “rainha vermelha” em referência ao livro Alice Através do Espelho. Neste livro, você encontra a frase “veja você, é preciso correr tanto quanto se consegue para ficar no mesmo lugar”. Perceba que isso descreve bem a relação comentada sobre a relação entre predadores e presas, por exemplo, uma vez que uma melhora no “ataque” do predador gera um resposta na melhora da “defesa” da presa. Assim,

os organismos ficam mudando (“correndo tanto quando se consegue”), mas acabam mantendo uma relação semelhante ao longo do tempo (“para ficar no mesmo lugar”).

## GENÉTICA DE POPULAÇÕES

Como mencionado anteriormente, a síntese moderna enfatiza a evolução como mudança nas **frequências alélicas** de uma população. É possível estimar as frequências alélicas em indivíduos que se cruzam dentro de uma população geograficamente definida (chamada de população mendeliana). Além de frequências alélicas também podemos falar em **frequências genotípicas**. A frequência de um determinado alelo pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$\text{Frequência de um alelo} = \frac{\text{Nº total desse alelo}}{\text{Nº total de alelos para esse locus}}$$

Perceba que a frequência de um alelo corresponde ao número de cópias desse alelo na população dividido pelo número total de alelos desse gene que existem na população. Vamos ver um exemplo para ficar mais claro. Imagine que em uma população exista um gene com dois possíveis alelos (“A” e “a”). Nessa população existem 1000 indivíduos, sendo que desses, 240 possuem o genótipo homocigoto dominante AA, 400 possuem o genótipo heterocigoto Aa e 360 o genótipo homocigoto recessivo aa. Como saber a frequência de A e de a? Vamos usar a fórmula, começando com o alelo A. Se temos 240 indivíduos AA, isso significa que temos 480 alelos A, uma vez que cada indivíduo AA possui dois alelos A. Além disso, temos 400 indivíduos Aa, mas como esses só possuem um alelo A, adicionamos mais 400 alelos A em nossa conta. Como os indivíduos aa não possuem alelos A eles não somam alelos desse tipo na conta. Somando o número de alelos dos indivíduos AA (480) com os alelos dos indivíduos Aa (400) temos um total de 880 alelos do tipo A nessa população. Para ter a frequência do alelo A então dividimos esse valor pelo número total de alelos da população. O número total de alelos nesse caso é de 2000, porque em uma população com 1000 indivíduos, cada um com dois alelos, temos o valor de 2000. A fórmula vai ficar então com os seguintes valores:

$$\text{Frequência de um alelo} = \frac{880}{2000}$$

E o resultado é:

$$\text{Frequência de um alelo} = 0,44$$

A frequência do alelo A é, portanto, de 0,44 ou 44%.

E a frequência do alelo a? Bem, você poderia utilizar o mesmo raciocínio, mas alterando os valores na fórmula de acordo com o total de alelos a, ou poderia simplesmente utilizar a fórmula  $p + q = 1$ . Nessa fórmula, p representa a frequência do alelo A e q a do alelo a. Então

ficaria  $0,44 + q = 1$ . Nesse caso o valor de  $q$  é de 0,56, ou seja, 56% de alelos  $a$  nessa população.

As frequências alélicas também podem ser chamadas de **frequências gênicas**. Não confunda essas frequências com a frequência genotípicas que é a frequência de cada genótipo na população. Em nosso exemplo com os alelos “ $A$ ” e “ $a$ ”, existem três genótipos possíveis:  $AA$ ,  $Aa$  e  $aa$ . Para calcular a frequência de cada um desses genótipos, podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$\text{Frequência de um genótipo} = \frac{\text{Nº de indivíduos com o genótipo}}{\text{Nº de indivíduos da população}}$$

Pegando os valores informados para o número de indivíduos com cada um desses genótipos anteriormente, sabemos que na população existem 240 indivíduos  $AA$ , 400 indivíduos  $Aa$  e 360 indivíduos  $aa$ . Vamos descobrir utilizando a fórmula a frequência de indivíduos  $AA$ . Vai ficar assim:

$$\text{Frequência de um genótipo} = \frac{240}{1000}$$

Resultado:

$$\text{Frequência de um genótipo} = 0,24$$

A frequência de do genótipo (genotípica)  $AA$  é então, 0,24 ou 24%. Utilizando a mesma fórmula para os outros dois genótipos, você encontra uma frequência de 0,4 (40%) para o genótipo  $Aa$  e 0,36 (36%) para o genótipo  $aa$ .

Bom galera, tanto as frequências gênicas como as genotípicas formam a estrutura genética de uma população. As frequências gênicas nos ajudam a compreender a quantidade de variação genética, enquanto as frequências genotípicas mostram a forma como essa variação genética está distribuída entre os diferentes indivíduos.

## EQUILÍBRIO DE HARDY-WEINBERG

Pessoal, conforme a síntese moderna, a evolução atua alterando as frequências gênicas de uma população ao longo das gerações. Essas frequências podem ser alteradas pelos diferentes mecanismos evolutivos que descrevemos anteriormente. Agora, se nenhum desses mecanismos está agindo sobre a população, as frequências dos alelos e genótipos permanecem constantes ao longo das gerações. Dois pesquisadores (Hardy e Weinberg),

trabalhando de forma independente, chegaram a essa conclusão e a uma equação utilizada para compreender de que forma isso acontece. Antes de falar sobre a equação, vamos entender as condições para que ocorra o **equilíbrio gênico** (ou equilíbrio de **Hardy-Weinberg**). Como mencionado, os fatores evolutivos não podem estar influenciando a população e alterando suas frequências alélicas/genotípicas. Dessa forma, as condições para o equilíbrio de Hardy-Weinberg são:

1. **Ausência de mutações:** mutações alteram as frequências alélicas transformando um “a” em um “A”, por exemplo, ou inserem novos alelos.
2. **Cruzamentos aleatórios:** os indivíduos se reproduzem aleatoriamente com qualquer outro indivíduo do sexo complementar. Caso ocorram cruzamentos preferenciais, por seleção sexual, por exemplo, alguns alelos/genótipos podem aumentar de frequência ao longo das gerações.
3. **Tamanho populacional grande (infinito):** a deriva genética atua mais significativamente em populações pequenas. Dessa forma, quanto maior o tamanho de uma população menor a probabilidade das frequências alélicas serem alteradas por deriva.
4. **Ausência de fluxo gênico:** a população deve estar isolada sem a imigração ou emigração de indivíduos que poderiam causar a introdução ou remoção de alelos.
5. **Ausência de seleção sexual:** não pode existir escolhas preferencias de ou os alelos/genótipos associados vão aumentar de frequência na população.

Caso essas condições sejam atendidas, as frequências alélicas são constantes ao longo das gerações (um alelo dominante, apesar desse nome, não precisa aumentar de frequência ao longo das gerações) e, além disso, após uma geração envolvendo cruzamentos aleatórios, vamos ter a seguinte relação entre a frequência dos genótipos (pensando em alelos “A” e “a”):

<b>Genótipo</b>	<b>AA</b>	<b>Aa</b>	<b>aa</b>
<b>Fenótipo</b>	<b>p<sup>2</sup></b>	<b>2pq</b>	<b>q<sup>2</sup></b>

Lembre-se que na fórmula **p + q = 1**, p representa a frequência do alelo A e q representa a frequência do alelo a. Guarde um pouco essa informação.

Agora imagine que em determinada população as frequências desses dois alelos sejam 0,4 para A e 0,6 para a. Nesse caso, a probabilidade de um gameta ser “A” nessa população também é de 0,4. E de ser “a” também é de 0,6. Qual a chance de um organismo após cruzamento aleatórios nascer AA? Então, vai ser chance de um gameta A (0,4) encontrar outro gameta A (0,4). Temos então a probabilidade de 0,4 X 0,4 de indivíduos serem AA nessa população. Então a frequência genotípica de indivíduos AA nessa população seria 0,16 (16%). Como p é utilizado para descrever a frequência do alelo A, a frequência de AA nesses casos pode ser encontrada elevando p ao quadrado:  $p^2$ . A mesma lógica se aplica ao a, que ficaria 0,6 X 0,6. Isso daria um  $q^2$  de 0,36 (36%). E a frequência do genótipo heterozigoto (Aa), como pode ser encontrada? Seria a probabilidade de um gameta A (p) (0,4) encontrar um gameta a (q) (0,6) X 2 (porque também pode ser que um gameta “a” encontre um gameta “A”). Então a frequência do genótipo heterozigoto pode ser encontrada com  $2pq$ .

A equação de Hardy-Weinberg mostra basicamente isso. Aqui está:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Com ela você pode chegar nas frequências alélicas a partir das genotípicas. Por exemplo, digamos que seja informado que em uma determinada população a frequência de indivíduo com fenótipo recessivo é de 0,36. Se é a frequência do fenótipo recessivo, essa também é a frequência do genótipo aa. Se você sabe que a frequência do genótipo aa é de 0,36, e que isso representa o  $q^2$ , pode extrair a raiz desse valor para obter o valor de q. Nesse caso, a frequência de q (que é a frequência do alelo a) é igual a 0,6. Após isso você pode utilizar a fórmula  $p + q = 1$  para obter o valor de p. Vai ficar  $p + 0,6 = 1$ . Então p é igual a 0,4. Você já sabe as duas frequências alélicas. Tanto de “A” como de “a”. E agora, substitua o p na equação de Hardy-Weinberg para obter o  $p^2$ . Teremos 0,16 que é igual a 0,16. Esse valor, de  $p^2$  é basicamente a frequência do genótipo AA. Para obter a frequência do genótipo heterozigoto, substitua os valores encontrados para p e q no “ $2pq$ ” da equação. Vai ficar  $2 \times 0,4 \times 0,6$ , que é igual a 0,48. Logo, a frequência do genótipo Aa é 48%. Viram? A partir da frequência genotípica do homocigoto recessivo é possível estabelecer as frequências genotípicas de uma população em equilíbrio.

Olhe novamente as condições para a ocorrência do equilíbrio de Hardy-Weinberg. Perceba que nenhuma população na natureza vai satisfazer totalmente essas condições. Então, para que serve isso? Bom, um dos motivos você já sabe, com a equação é possível ter uma estimativa das frequências genotípicas a partir das alélicas. Outro elemento importante é que se você estudar uma população e perceber que ela não se encontra em equilíbrio, você sabe que algum fator evolutivo está atuando sobre essa população, e o mais legal, dependendo da forma como os valores se desviam do equilíbrio dá pra ter uma ideia de qual fator evolutivo é. Dá pra saber se a deriva genética está atuando de forma mais decisiva do que a seleção natural sobre um determinado alelo, por exemplo. Por isso esse princípio é a base da genética de populações.

Bem galera, falamos de bastante coisa. Nessa última parte é um pouco mais abstrata. Se ficou um pouco confuso, tente assistir o módulo de genética de populações e fazer os exercícios que certamente vai ajudar!

Abaixo no “para saber mais” e nas referências você encontra uma série de dicas legais para aprofundar seus conhecimentos.

Bons estudos!

## PARA SABER MAIS!

### Livros:

- ✓ Biologia, Ciência Única. Ernst Mayr. 2005.
- ✓ A Escalada do Monte Improvável. Richard Dawkins. 1996.

### Sites:

- ✓ <http://www.ib.usp.br/evosite/evo101/index.shtml>

No site vocês podem “passear” pelas várias categorias de assuntos relacionados à evolução biológica. Podem seguir a ordem apresentada ou ir direto ao assunto que despertou interesse.

### Filmes e documentários:

- ✓ Criação, um filme de 2009 dirigido por Jon Amiel
- ✓ Evolução dos tentilhões de Galápagos, documentário que pode ser acessado aqui: <https://www.youtube.com/watch?v=LumJSjWG7tE>

O filme é sobre Charles Darwin. Você pode conhecer um pouco mais sobre a vida (apresentada de forma hollywoodiana) de um dos cientistas mais importantes da história da humanidade. O documentário vai ajudar você a compreender melhor a especiação e vários conceitos discutidos na apostila.

## REFERÊNCIAS

AMABIS, José M., MARTHO, Gilberto R. Fundamentos da Biologia Moderna. 4.ed. São Paulo: Moderna, 2006.

CAMPBELL, Neil A., REECE, Jane B., URRY, Lisa A., CAIN, Michael L., WASSERMAN, Steven A., MINORSKY, Peter V., JACKSON, Robert B. Biologia. 8.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010.

MAYR, Ernst. Biologia, Ciência Única. São Paulo: Companhia das Letras, 2005

MAYR, Ernst. Uma Ampla Discussão - Charles Darwin e a Gênese do Moderno Pensamento Evolucionário. São Paulo: FUNPEC, 2006.

RIDLEY, Mark. Evolução. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2006.

SADAVA, David., HELLER, Craig., ORIAN, Gordon., PURVES, Bill., HILLIS, David. Vida: A Ciência da Biologia. 8.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2009.