

# Biologia Evolutiva



Coala em Lone Pine Koala Sanctuary – Brisbane  
Austrália – por Fabricio Breve



Maritacas em Rio Claro – por Fabricio Breve



Lagartixa em Rio Claro – por Fabricio Breve



Columbina (Rolinha) em Rio Claro – por Fabricio Breve



Canguru em Lone Pine Koala Sanctuary – Brisbane,  
Austrália – por Fabricio Breve



Gafanhoto Soldado em Rio Claro – por Fabricio Breve



Lagarto no DEMAC – Unesp de Rio Claro – por Fabricio Breve



Aranha em Rio Claro – por Fabricio Breve

Fabricio Breve – [www.fabriciobreve.com](http://www.fabriciobreve.com)

25/03/2025 Fabricio Breve

# Aula Anterior

- Introdução à Computação Evolutiva
- Resolução de Problemas como uma Tarefa de Busca
  - Escolha de Representação
  - Especificação de Objetivo
  - Escolha de Função de Avaliação
  - Soluções Factíveis
  - Minimização e Maximização
  - Ótimos Locais e Global
  - Exploração versus Exploração
  - Cenários de Aptidão

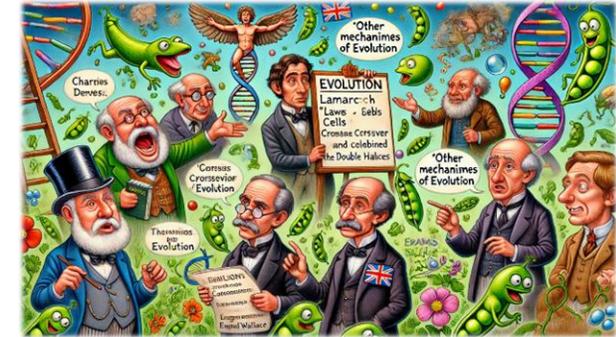
- Subida da Colina
- Subida da Colina Probabilístico
- Recozimento Simulado
- Exemplo de Aplicação
- Exercícios



# Agenda

- História
- Lamarck
- Leis de Lamarck
- Princípios do Lamarckismo
- Charles Darwin
- A Viagem de Darwin
- Erasmus Darwin
- Alfred Wallace
- Teoria da Evolução
- Mendel
- Experimentos de Mendel
- Leis de Mendel

- Genética
- Células
- DNA
- Cross-Over
- Mutação
- Evolução como Resultado de Variação Genética mais Seleção
- Outros Mecanismos de Evolução
- O Caso da Obesidade em Samoa
- Exemplo Clássico das Mariposas na Inglaterra
- Questões





Todas as fotos no campus da UNESP em Rio Claro por Fabricio Breve  
2011 a 2019

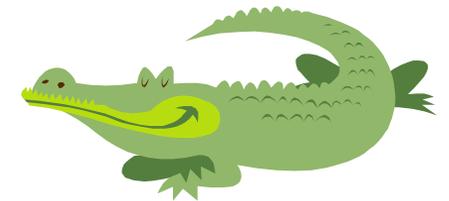
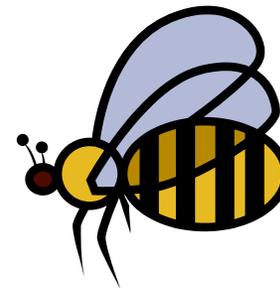
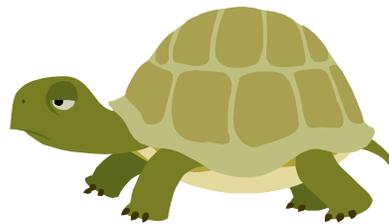


Todas as fotos no campus da UNESP em Rio Claro por Fabricio Breve 2011 a 2025



# Biologia Evolutiva

- Ciência que estuda:
  - Diversidade da vida
  - Diferenças e similaridades entre organismos
  - Características adaptativas e não-adaptativas dos organismos
  - Etc.
- *Procura entender como organismos vivos se adaptam ao ambiente em que habitam*



# Biologia Evolutiva

- Ajuda a entender:
  - Epidemias de doenças
  - Dinâmica de populações
  - Produção de culturas melhoradas
    - Ex.: Transgênicos
  - Etc...



Pássaros em Brisbane, Austrália – por Fabricio Breve



# Biologia Evolutiva

- Nos últimos 60 anos, cientistas e engenheiros da computação perceberam que a biologia evolutiva tem várias idéias interessantes para o desenvolvimento de modelos teóricos de evolução (alguns bem abstratos) que podem ser usados para resolver problemas complexos do mundo real.



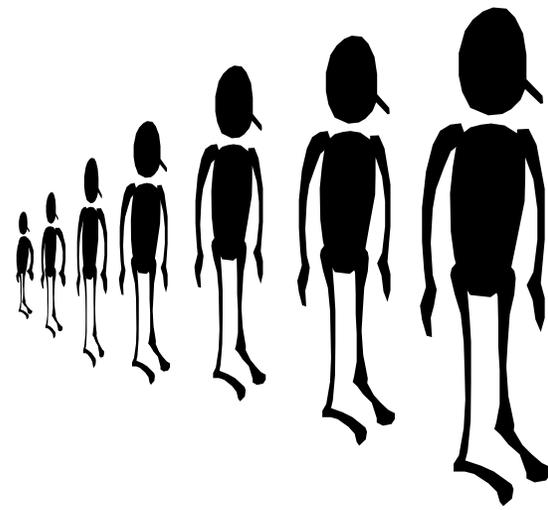
# Sistemas Evolutivos

- Há uma descendência de entidades através do tempo, uma geração após a outra.
- As características das entidades vão se modificando através das gerações.
- Evolução:
  - Descendência com modificação
  - Descendência com diversificação
- Exemplos:
  - Linguagens, reprodução celular, sistemas imunes, receitas culinárias, automóveis, etc...

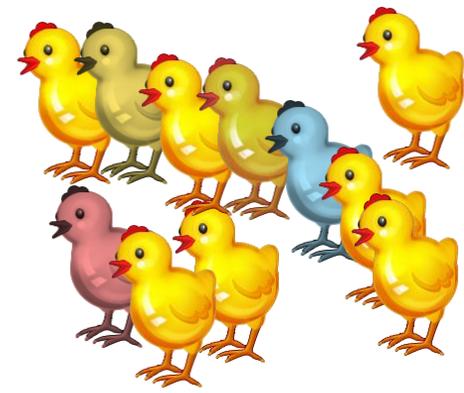


# Sistemas Evolutivos

- Qualquer sistema evolutivo apresenta algumas características:
  - População(ões)
    - Em todo sistema evolutivo há populações ou grupos de entidades, geralmente chamados indivíduos.
  - Reprodução
    - Para a evolução ocorrer, os indivíduos da população precisam se reproduzir, seja sexuadamente ou assexuadamente.



# Sistemas Evolutivos



- *Variação*
  - Há variação em uma ou mais características dos indivíduos da população.
- *Similaridade Hereditária*
  - Pais e filhos apresentam características similares.
  - Através das gerações, podem haver mudanças nas proporções de indivíduos com diferentes características dentro de uma população; um processo chamado *descendência com modificação*.



# Sistemas Evolutivos

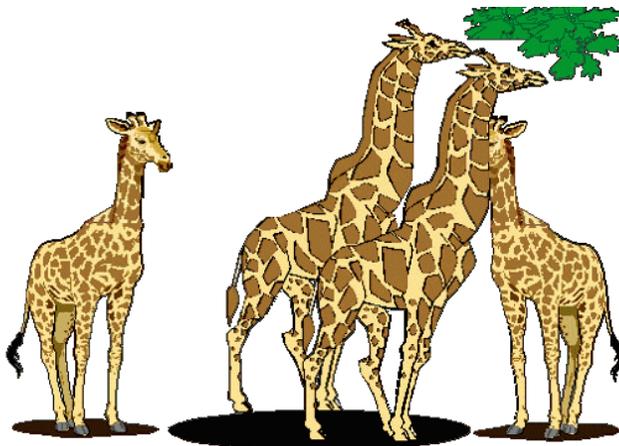
- *Escolha de Variação*

- Neste processo podemos destacar:

- Acaso
  - Probabilidade aleatória na sobrevivência ou reprodução de diferentes variantes.
- Seleção Natural
  - Diferenças não-aleatórias entre as variantes nas diferentes probabilidades de sobrevivência ou reprodução.



Fabricao Breve



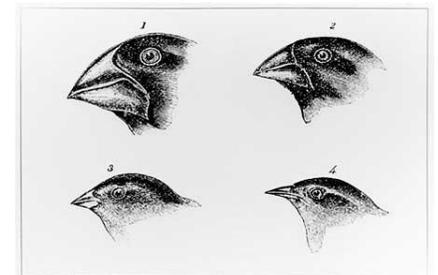
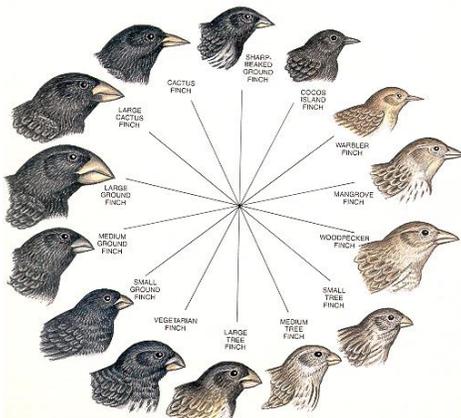
Fabricao Breve

# Sistemas Evolutivos



- Adaptação

- Resultado de variação mais seleção natural leva a melhoria na função de um organismo e suas várias partes componentes.
- De acordo com a definição da Evolução:
  - Indivíduos não evoluem.
  - Mudanças na população acontecem através da herança, por meio do material genético, de uma geração para outra.



# Biologia Evolutiva



por Fabricio Breve

- O Brasil apresenta uma das maiores diversidades do planeta.
  - Possui um grande número das espécies de seres vivos.
  - Agrupados em diferentes ecossistemas.
    - Cada ecossistema é formado pelas espécies que melhor se adaptaram ao seu ambiente.
      - Floresta amazônica
      - Cerrado
      - Caatinga



# Biologia Evolutiva

- Cada espécie de ser vivo está adaptada às condições do ambiente em que vive.
- Ex.: Jacaré de papo amarelo.
  - Possui seus olhos e narinas localizados acima da superfície da água quando se desloca em um rio.
  - Pode se aproximar de uma presa sem ser percebido e consegue respirar sem dificuldades.



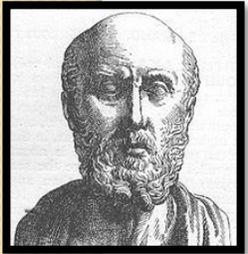
# História

- 6000 AC (Pré-história)
  - Seleção artificial de variantes genéticas dentro de populações.
    - Ex. Cultivo de plantas (Agricultura)

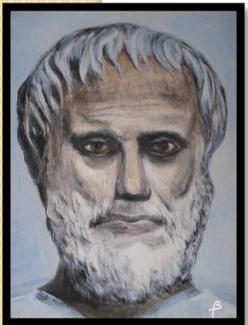


# História

- 400 AC (Grécia antiga)



- Espécies eram fixas e existiam como um protótipo ideal
  - Indivíduos na natureza eram realizações imperfeitas destes protótipos.
- Traços são transmitidos de todas as partes do corpo para dentro do sêmen e dali para os descendentes (Hipócrates – Pangênese).



- Aristóteles acreditava em uma base física da hereditariedade nas sementes produzidas pelos pais, mas rejeitou a Pangênese.
  - Propunha que estruturas novas iam sendo formadas progressivamente durante a formação do embrião (Epigênese)

# História

- Chineses (400 AC)
  - Filósofos Taoístas, como Chuang Tzu, especulavam que espécies teriam desenvolvido atributos diferentes em resposta a ambientes diferentes.
  - Seres humanos, natureza e céu eram vistos como um estado em “constante transformação” conhecido como Tao, em contraste com uma visão mais estática da natureza, típica do pensamento Ocidental.

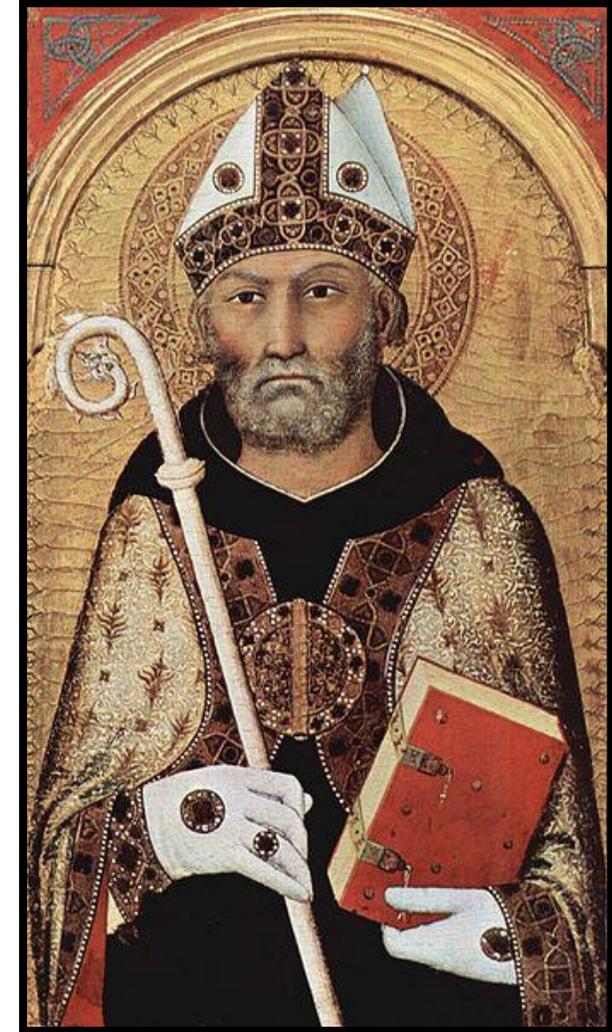


Chuang Tzu (Zhōu)  
\*369 AC †286 AC



# História

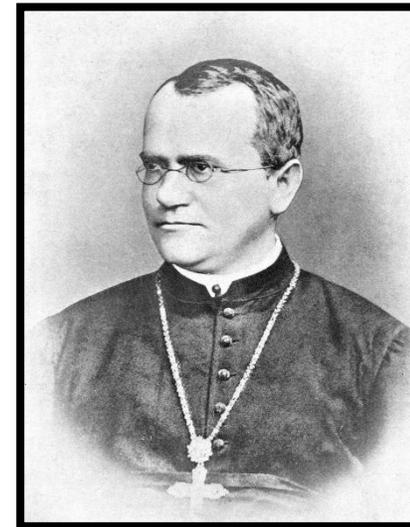
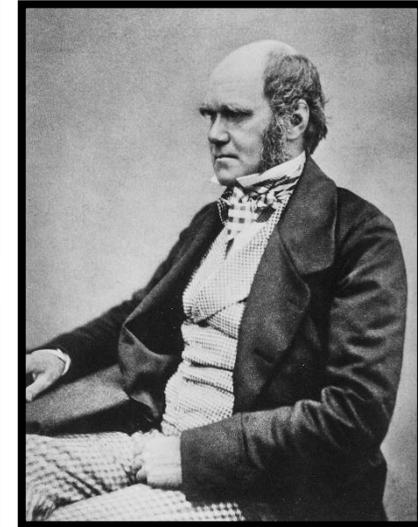
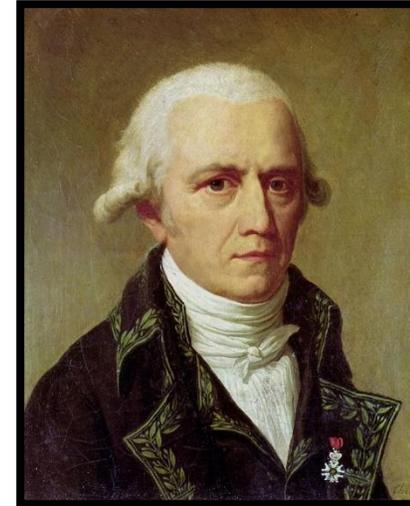
- Santo Agostinho (400 DC)
  - “A história da criação no livro dos Genesis não deve ser lida de maneira demasiadamente literal”.
  - “Em certos casos novas criaturas aparecem através da ‘decomposição’ de formas de vida anteriores”.
  - “Plantas, aves e vida animal não são perfeitos, mas criados num estado de potencialidade.”



Aurélio Agostinho de Hipona  
\*354 DC †430 DC

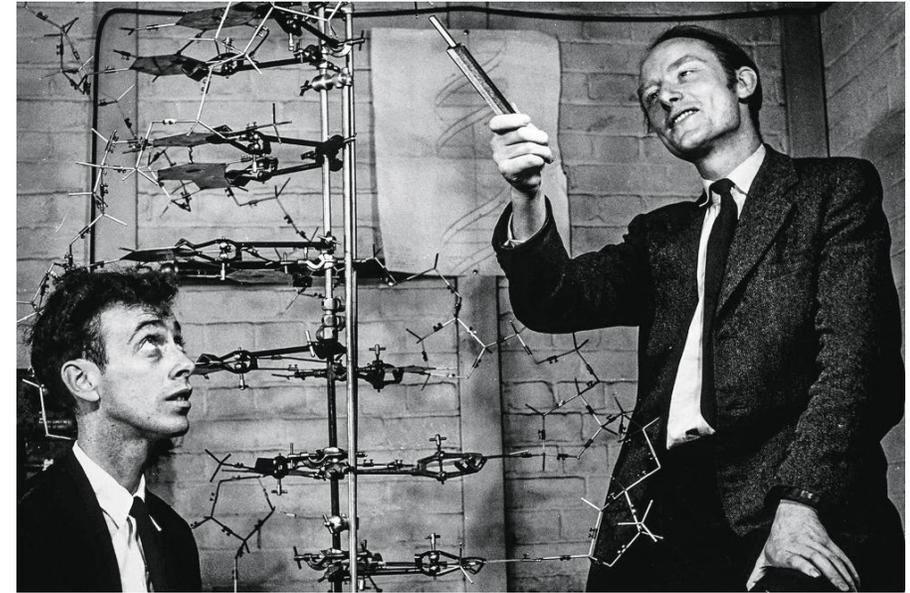
# História

- 1809
  - Evolução dos seres vivos – Lamarck
- 1858
  - Teoria da Evolução – Darwin
- 1865
  - Experimentos de Mendel
- 1868
  - Darwin – avançou a Teoria da Pangênese
- Início do século XX
  - Cientistas comprovaram a hereditariedade
    - Genética Mendeliana
    - Teoria Sintética da Evolução - neodarwinismo



# História

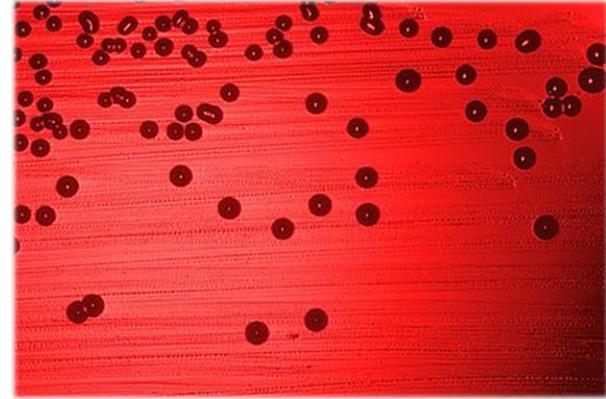
- 1955
  - Watson e Crick – modelo de dupla hélice do DNA.
    - Dogma Central da Biologia Molecular
- 1977
  - Métodos de Maxam e Gilbert; e método de Sanger: sequenciamento do DNA (1ª geração).
- 1980 a 1990
  - Início de projetos para sequenciamento de organismos.
- 1990
  - Início do Projeto Genoma Humano – Celera e Consórcio Americano – concluído em 2003.



James Watson (à esq.) e Francis Crick em 1953, diante do modelo do DNA

# História

- 1995
  - 1ª sequência de um organismo – *Haemophilus influenzae*.
- 1996
  - 1º eucarioto sequenciado – *Saccharomyces cerevisiae*.
- No Brasil Projeto Genoma – FAPESP
  - 1999 Sequenciamento da *Xylella fastidiosa*.
  - Genoma do Câncer.
  - Diversos genomas.
    - Arroz, eucalipto, boi, camarão, ...



CDC/Dr. W.A. Clark (PHIL #1617), 1977



Mogana Das Murtey and Patchamuthu Ramasamy



Valentin12

# Lamarck

- Cientista francês, afirmou em seu livro, *Filosofia Zoológica* (1809):
  - Indivíduos podem se modificar ao longo do tempo.
    - Em resposta a necessidades relacionadas ao seu ambiente.
    - Coelhos poderiam ter orelhas curtas para melhor ouvir a aproximação dos predadores.
      - Para melhor ouvir a aproximação, precisavam movimentar constantemente as orelhas.



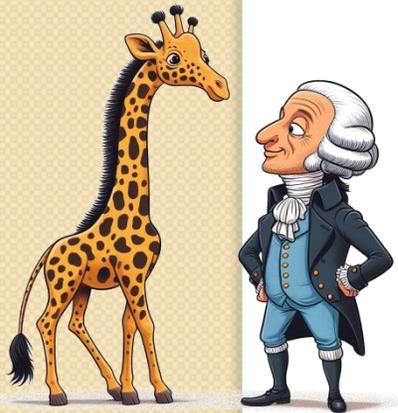
Jean-Baptiste de Lamarck  
\*1744 †1829

# Lamarck

- Todas as espécies se originaram por geração espontânea.
- Um “fluido nervoso” age nas espécies fazendo com que elas progridam através do tempo, através de um único caminho pré-determinado que toda espécie está determinada a seguir.
- Nenhuma extinção ocorreu: espécies fósseis ainda estão entre nós, mas se transformaram.
- Espécies também se adaptam ao seu ambiente.
  - Órgãos mais usados atraem mais fluido nervoso e crescem.
  - Órgãos menos usados atraem menos fluido e diminuem.
- Lamarck acreditava no pensamento dominante na época de que as alterações adquiridas ao longo da vida do indivíduo são passadas aos descendentes.
  - Herança de Características Adquiridas.

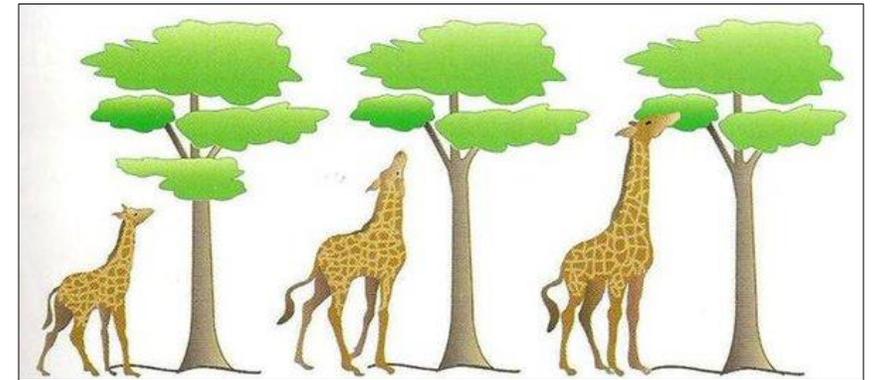
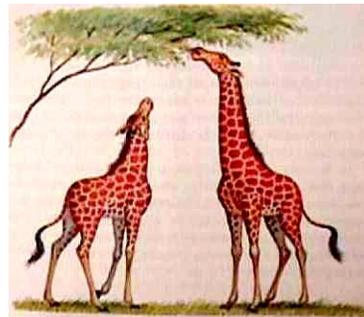


Beatrice the Biologist



# Lamarck

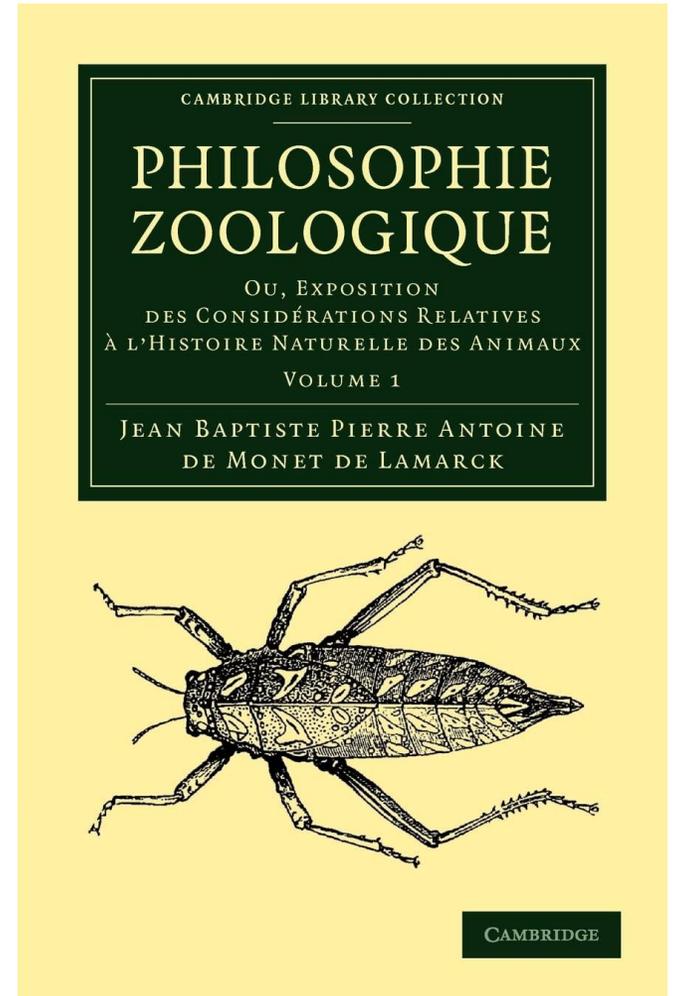
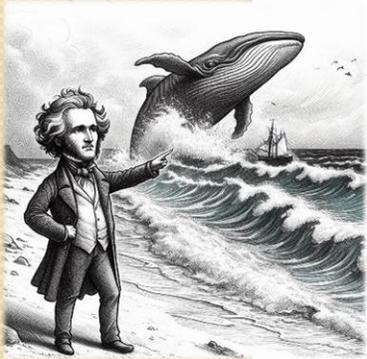
- Exemplo mais famoso: Girafa
  - Precisam de um pescoço maior para alcançarem as folhagens acima delas.
  - Como estavam sempre esticando seus pescoços, elas se tornaram cada vez maiores.



<http://profjaborritmo.blogspot.com/2015/12/a-ressurreicao-cientifica-de-lamarck.html>

# Princípios fundamentais do Lamarckismo (1809)

- Lei do uso e desuso
  - Estruturas muito utilizadas teriam tendência a se desenvolver.
  - Enquanto as pouco utilizadas teriam tendência a se atrofiar.
- Lei da herança das características adquiridas.
  - As mudanças no organismo, devido ao uso/desuso, seriam transmitidas aos seus descendentes.



# Lamarck: mais duas leis (1815~1822)

- Força “Complexificante”

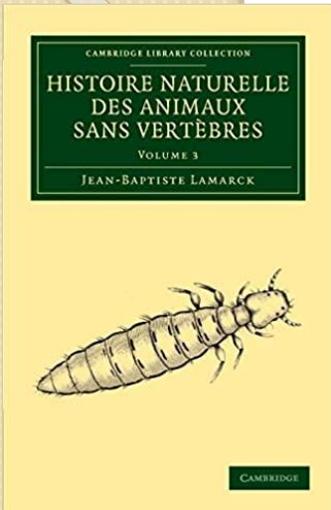
- Tendência para aumento da complexidade

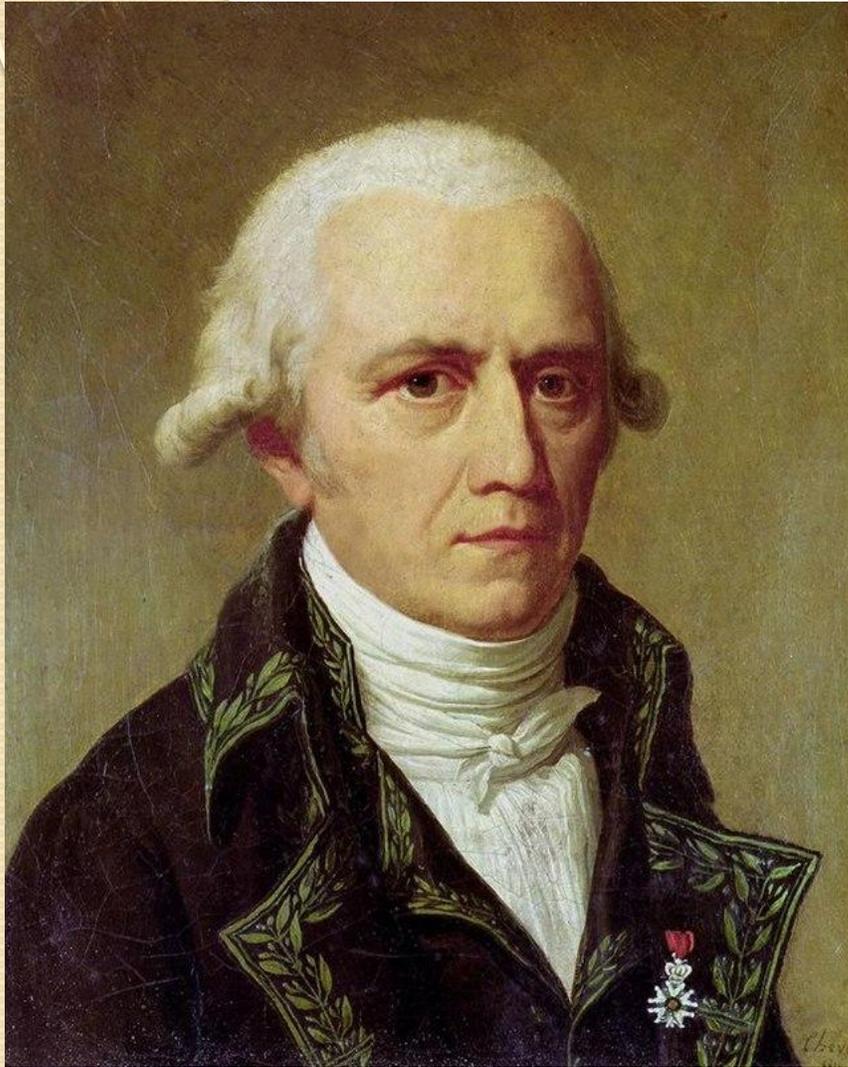
- Tendência de todos os corpos para aumentar de volume, estendendo as dimensões de suas partes até um limite que seria próprio de cada organismo.
  - Assim como ovo se torna embrião, organismos mais complexos surgiram a partir dos mais simples.

- Força Adaptativa

- Surgimento de órgãos em função de necessidades

- Hábitos e circunstâncias da vida de um ser vivo podem modificar seu corpo.
  - Antenas de gastrópodes (como caracóis) surgiram pela necessidade de sentir objetos à frente.



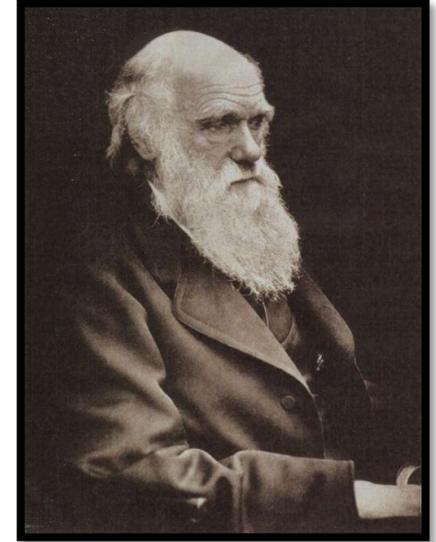


# Lamarck

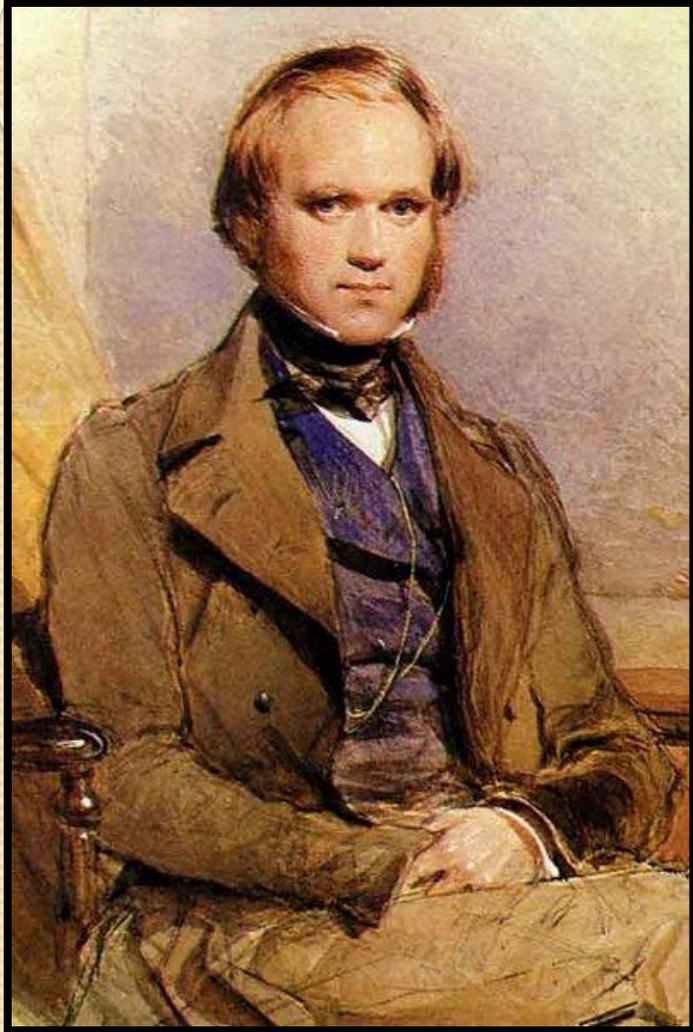
- Seu trabalho não teve o reconhecimento da comunidade científica da época.
- O desenvolvimento da genética esclareceu os mecanismos de herança biológica.
  - Características adquiridas durante a vida (uso/desuso) não são transferidas.
    - Ex.: Filhos de halterofilistas não nascem mais fortes que filhos de cientistas.

# Charles Darwin

- Britânico, filho de médico.
- Entrou em um seminário para estudar teologia.
  - Interessava-se mais por aves e insetos que pelas matérias do curso.
  - Segundo o reitor, ele não falava coisa com coisa e era disperso.
- Durante o seminário, sofreu influência de um professor de história natural.
  - Este o indicou para uma expedição que ia fazer um mapa cartográfico do extremo sul da América do Sul.



Charles Robert Darwin  
\*1809 †1882



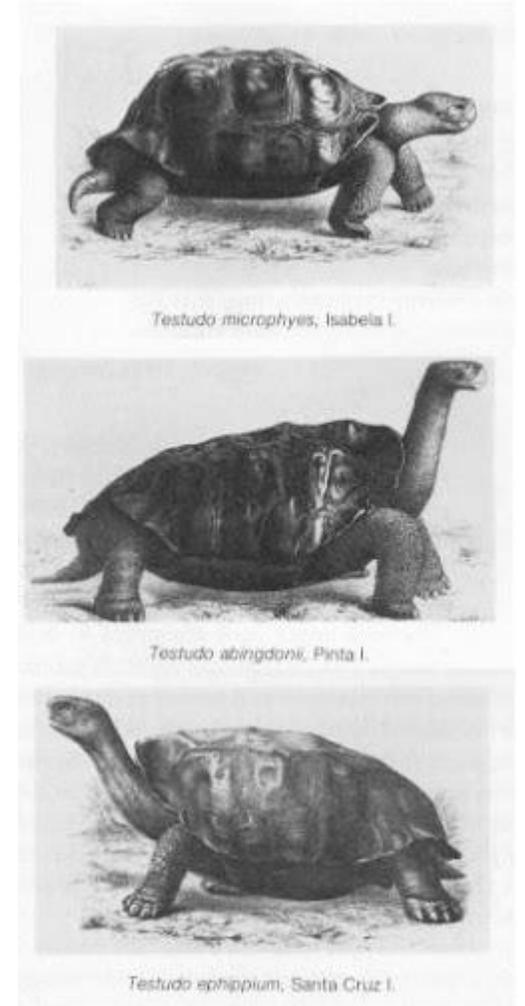
# A Viagem de Charles Darwin

- Aos 22 anos, participa de Viagem de 5 anos ao redor do mundo no navio H. M. S. Beagle.
  - Previsão inicial da viagem era de 2 anos.
  - Não recebeu salário e seu pai pagou a viagem.
  - Reuniu material de pesquisa que enviava ao Reino Unido.
  - Voltou para casa já como um pesquisador famoso.



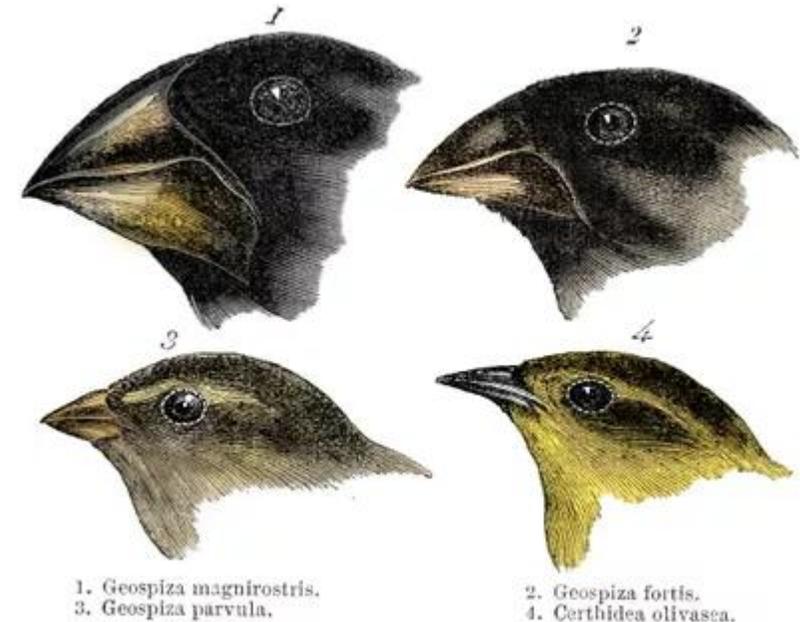
# A Viagem de Charles Darwin

- Uma das paradas: ilhas Galápagos (» 1000 Km do Equador).
  - Ficou intrigado com os diferentes tipos de tartarugas que viviam nas diferentes ilhas.
  - Animais diferiam em relação a:
    - Formato do bico
    - Formato das patas
    - Comprimento do pescoço
  - Deveria haver uma explicação.



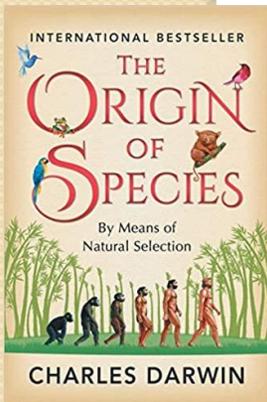
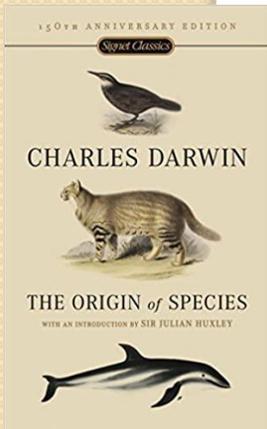
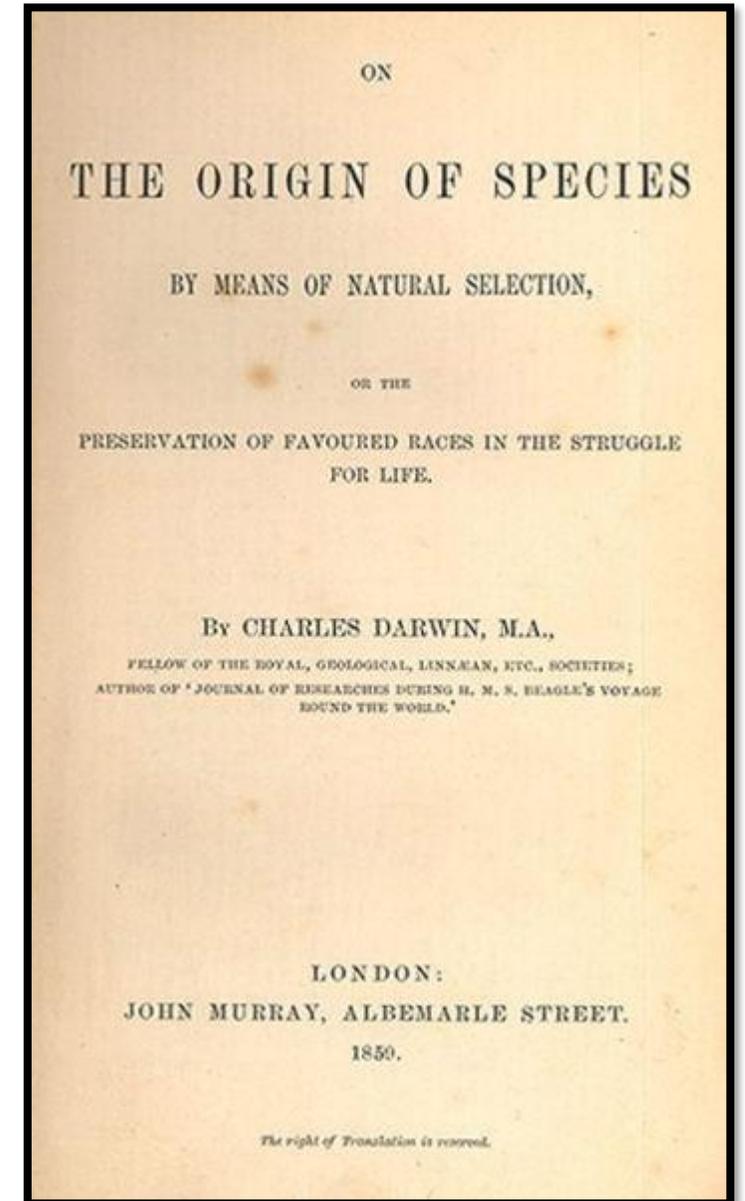
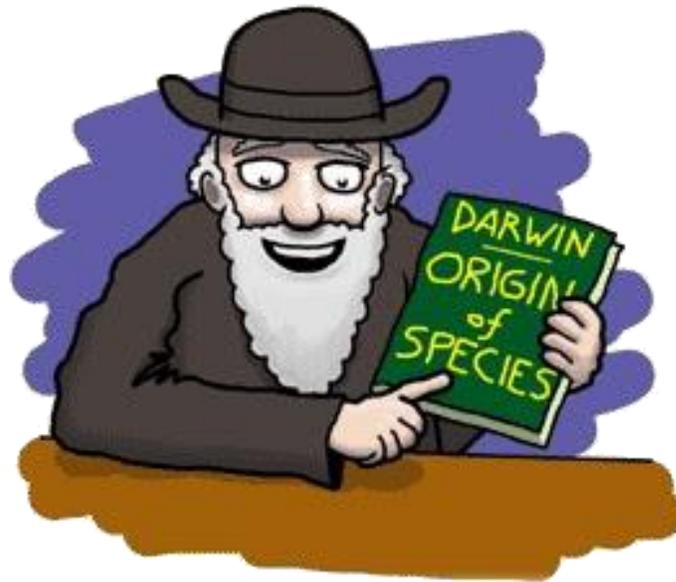
# A Viagem de Charles Darwin

- Intrigou-se também com os tentilhões (pássaros).
  - Espécies eram ligeiramente diferentes em cada ilha.
    - Formas dos bicos.
    - Relacionados com a alimentação.
      - Sementes de pinha
      - Folhas
      - Frutas
      - Insetos em troncos e galhos
      - Insetos no chão



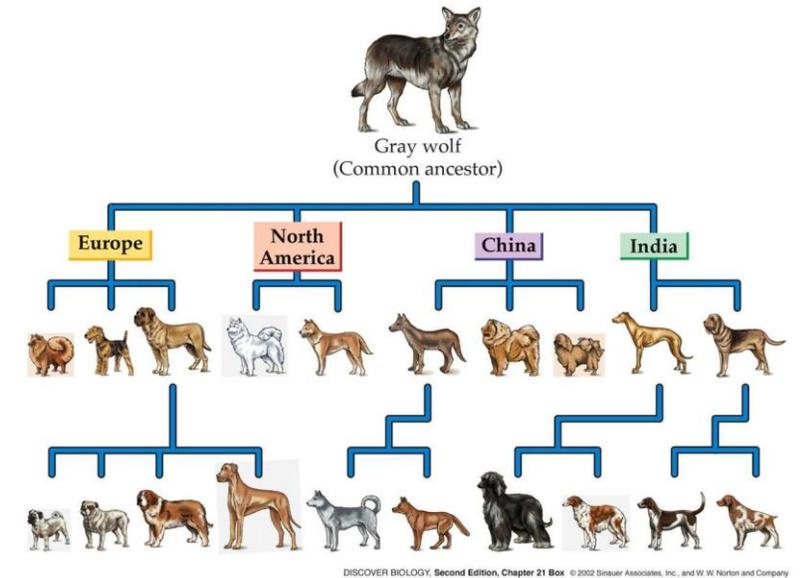
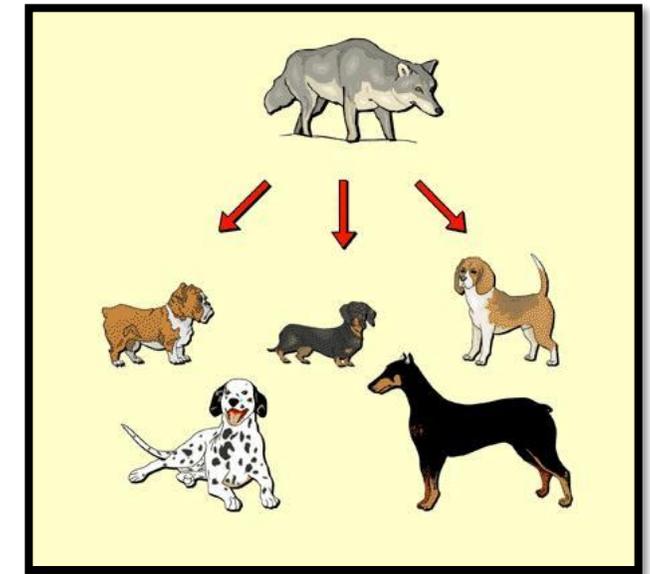
# Charles Darwin

- De volta, publica em 1859 o livro “A Origem das Espécies”
  - Propôs a Teoria de Seleção Natural



# Teoria de Seleção Natural

- Indivíduos são selecionados pelo ambiente.
  - Luta pela sobrevivência.
    - Indivíduos mais aptos têm maiores chances de gerar descendentes.
    - Indivíduos pouco adaptados seriam extintos.
- Existe um ancestral comum a todas as espécies.
  - Todas as espécies evoluíram a partir deste ancestral comum.



# Erasmus Darwin

- Médico e botânico avô de Charles Darwin.
  - Publicou uma teoria da evolução 60 anos antes do neto.
- Algumas de suas frases:

*“Todos os vegetais e animais que vivem hoje foram originalmente derivados dos organismos microscópicos.”*

*“No final de toda essa disputa entre os machos parece que o macho mais forte e mais ativo irá propagar as espécies, a qual por esta razão se tornará melhorada.”*



Erasmus Darwin  
\*1731 †1802

# Erasmus Darwin

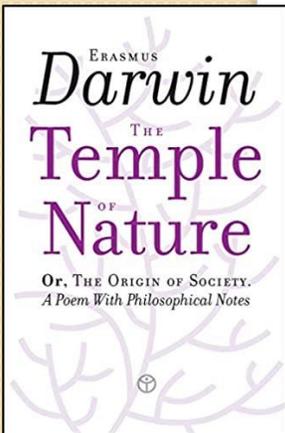
- Seu último trabalho, o poema O Templo da Natureza, antecipava a Teoria da evolução.
  - Publicado em 1803.



*Organic life beneath the shoreless waves  
Was born and nurs'd in Ocean's pearly caves  
First forms minute, unseen by spheric glass,  
Move on the mud, or pierce the watery mass;  
These, as successive generations bloom,  
New powers acquire, and larger limbs assume;  
Whence countless groups of vegetation spring,  
And breathing realms of fin, and feet, and wing.*

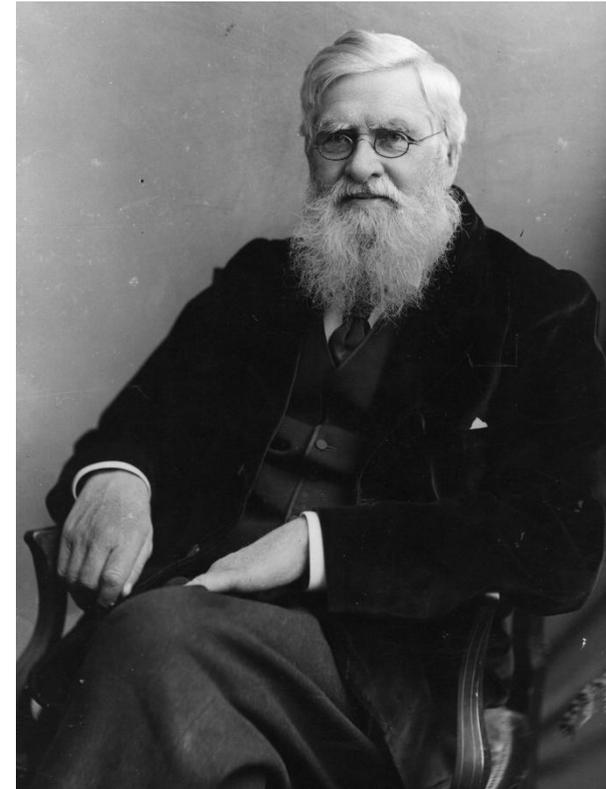
*A vida orgânica sob as ondas sem costas  
Nasceu e cresceu em cavernas peroladas do oceano  
As primeiras formas minuciosas, não vistas pela lente esférica,  
Moviam-se sobre a lama, ou atravessavam a aquosa massa;  
Essas, à medida que as gerações sucessivas florescem,  
Adquirem novas forças e maiores extremidades;  
Donde incontáveis grupos de vegetação surgem,  
Assim como mundos que respiram de nadadeiras, patas e asas.*

<https://www.allaboutsociety.org/portuguese/charles-darwin.htm>



# Alfred Wallace

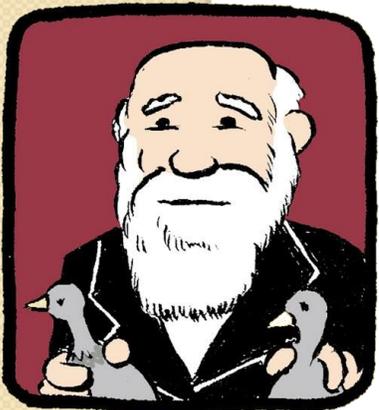
- Naturalista, geógrafo, antropólogo e biólogo britânico.
- Darwin estava trabalhando há muitos anos no seu livro e foi convencido a publicá-lo logo após receber uma carta de Wallace, com um estudo semelhante ao seu.
  - Baseado em espécies biológicas coletadas no sudeste da Ásia.
  - Darwin ficou surpreso ao ver que Wallace chegou à mesma conclusão que ele.
    - Insistiu para que Wallace também recebesse crédito pela teoria da Seleção Natural.
    - Apresentou o trabalho de Wallace juntamente com o seu.



Alfred Russel Wallace  
\*1823 †1913

# Charles Darwin e a Teoria da Seleção Natural

- Teoria de seleção natural não foi muito bem aceita pela comunidade científica da época.
  - Modelo de evolução (seleção natural) foi aceito.
  - Mas Darwin não explicou como a adaptação ocorria.
    - Necessário para entender a seleção natural.
  - Faltava responder às perguntas:
    - Qual a origem da variabilidade e diversidade das características presentes nas espécies?
    - Como tais características eram transmitidas no decorrer das gerações?



# Gregor Johann Mendel

- Monge agostiniano, meteorologista e botânico austríaco.
- Tornou-se professor de ciências naturais na Escola Superior de Brno, na República Checa.
  - Dedicou-se ao estudo do cruzamento de muitas espécies:
    - feijões, chicória, bocas-de-dragão, plantas frutíferas, abelhas, camundongos, etc.
- Recebeu uma pequena área no monastério para realizar experimentos com ervilhas.
- Propôs, em 1865, conceito da hereditariedade.
  - Complementava os estudos de Darwin.



Gregor Johann Mendel  
\*1822 †1884

# Mendel

- Conceito da hereditariedade
  - Explicava como as características de um indivíduo poderiam ser transmitidas aos seus descendentes.
  - Aceito (redescoberto) apenas em 1920.
    - Mendel faleceu em 1884.



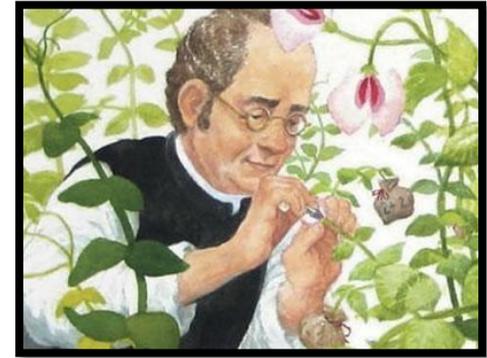
# Experimentos de Mendel



- Durante 10 anos realizou experimentos com hibridação de ervilhas.
  - Cruzamento de plantas com características diferentes.
  - Investigou a transmissão de características.
- Como resultado, formulou as leis da hereditariedade das características dominantes e recessivas.
  - As duas leis de Mendel.



# Genótipo e Fenótipo



- Genótipo
  - Descreve o material genético de um indivíduo;
  - Genes codificam características.
- Fenótipo
  - Descreve as características codificadas pelo genótipo de um indivíduo.
  - Características herdadas de pais diferentes são representadas por alelos.
    - Ex.: cor dos olhos.

# Homozigotos e Heterozigotos

- Com relação a uma dada característica, organismo pode ser:
  - Homozigoto: apresenta dois alelos idênticos para aquela característica.
    - Linhagem pura
    - Ex.: BB ou bb
  - Heterozigoto: apresenta dois alelos diferentes para aquela característica.
    - Ex.: Bb
  - Alelo Dominante: B\_ ; Recessivo bb
    - Dois indivíduos podem ter o mesmo fenótipo, mas genótipos diferentes (homozigoto e heterozigoto).



# Experimentos de Mendel

- Mendel tinha três preocupações para realizar seus experimentos.
  - Plantas eram fecundadas artificialmente.
    - Permitindo controle absoluto sobre os cruzamentos que iriam ou não ocorrer.
  - Analisou apenas 1 ou 2 características em cada cruzamento.
  - Observava apenas características cujas variações fossem facilmente percebidas.



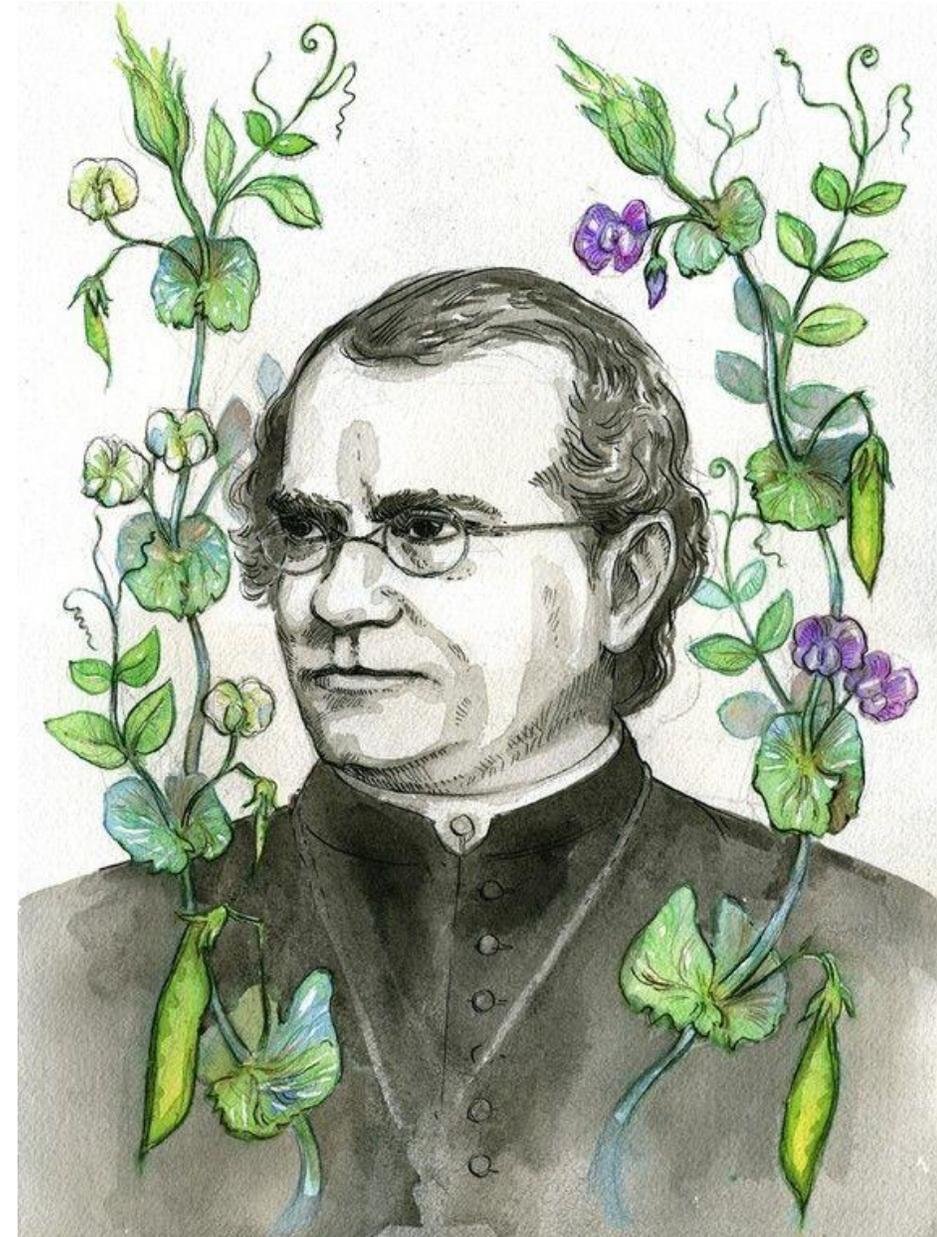
# Iº Experimento de Mendel

- Monohibridismo (apenas uma característica era variada).
- Linhagem inicial pura.
  - BB: flor púrpura
  - bb: flor branca



# 1ª Lei de Mendel (Lei da segregação)

- Cada característica é determinada por um par de fatores, que se separam na formação dos gametas.
  - Estes fatores se combinam aleatoriamente na fecundação.
  - Um destes fatores tende a se expressar em detrimento do outro.



<https://br.pinterest.com/pin/851461873284944292/>

# Lei da Segregação

- Primeira Geração

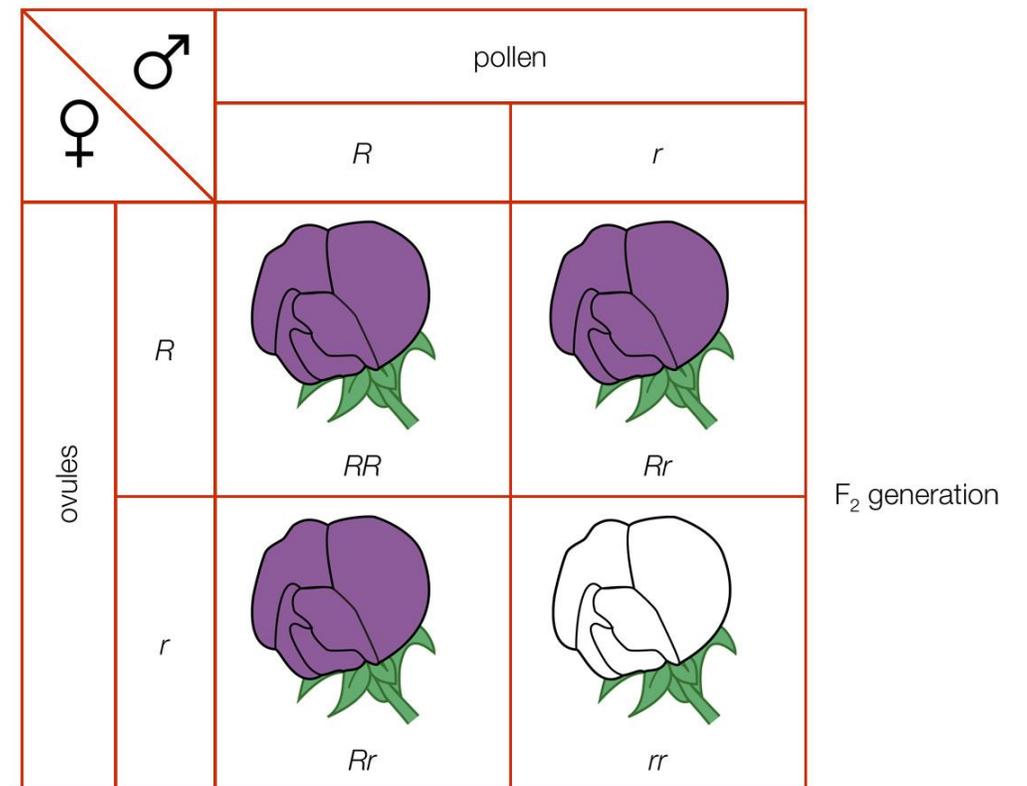
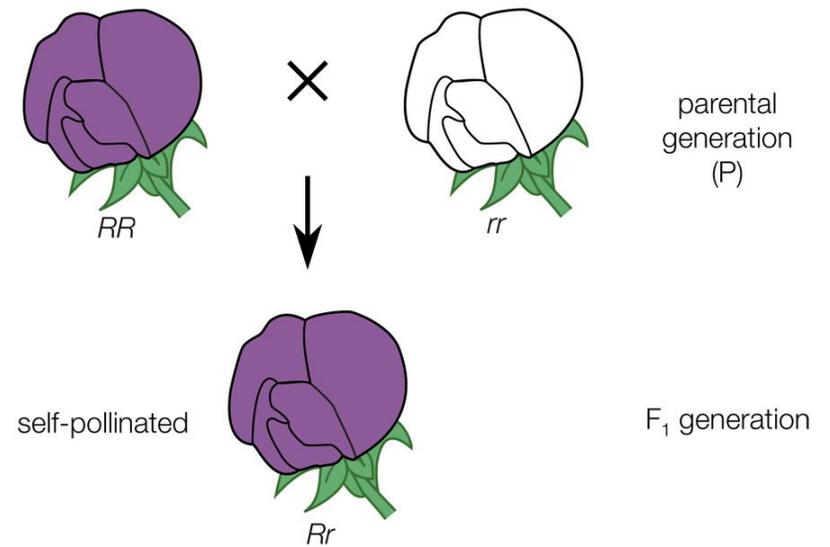
- Pais RR x rr

	R	R
r	Rr	Rr
r	Rr	Rr

- Segunda Geração

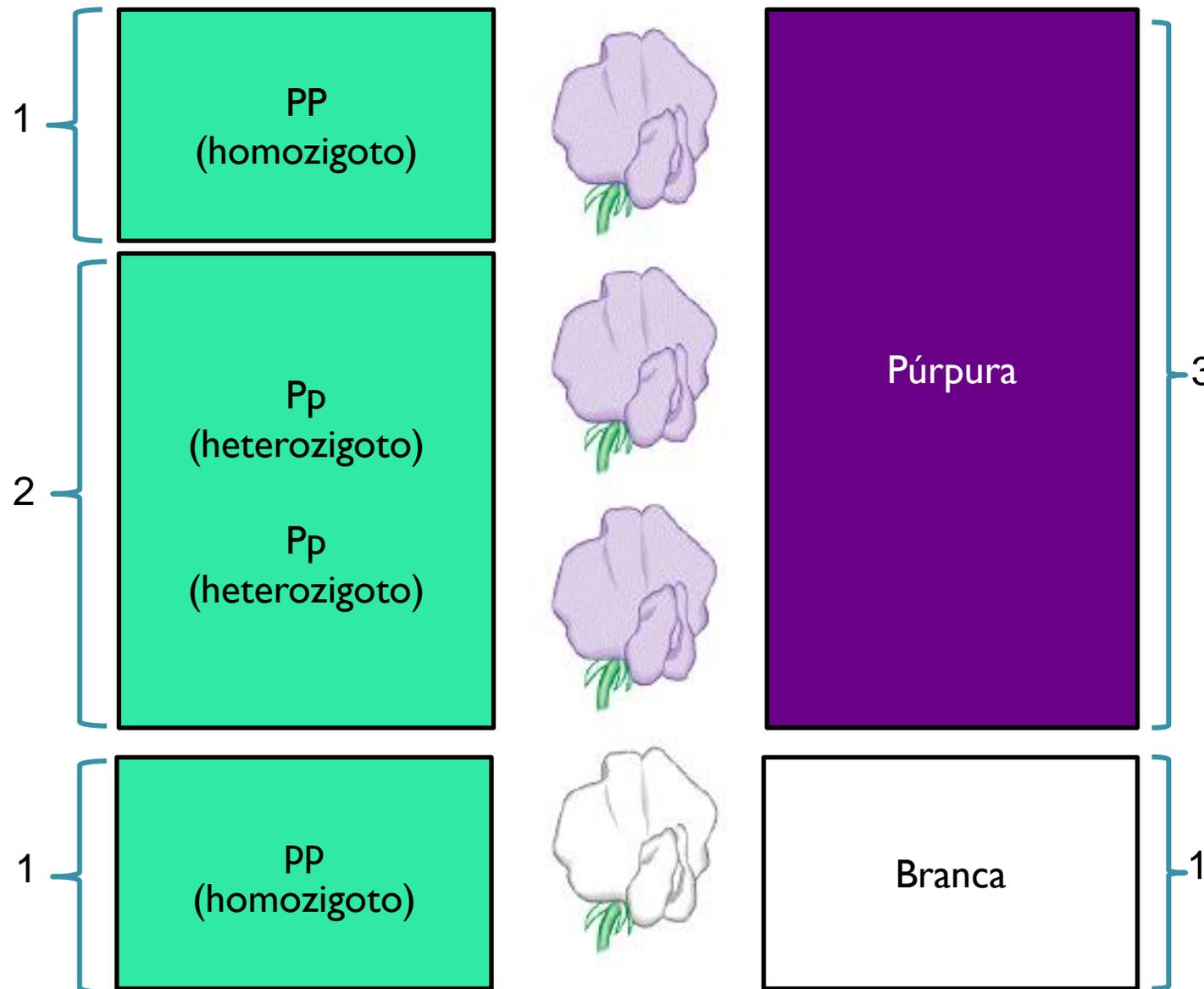
- Pais Rr x Rr

	R	r
R	RR	Rr
r	Rr	rr



# Genótipo

# Fenótipo

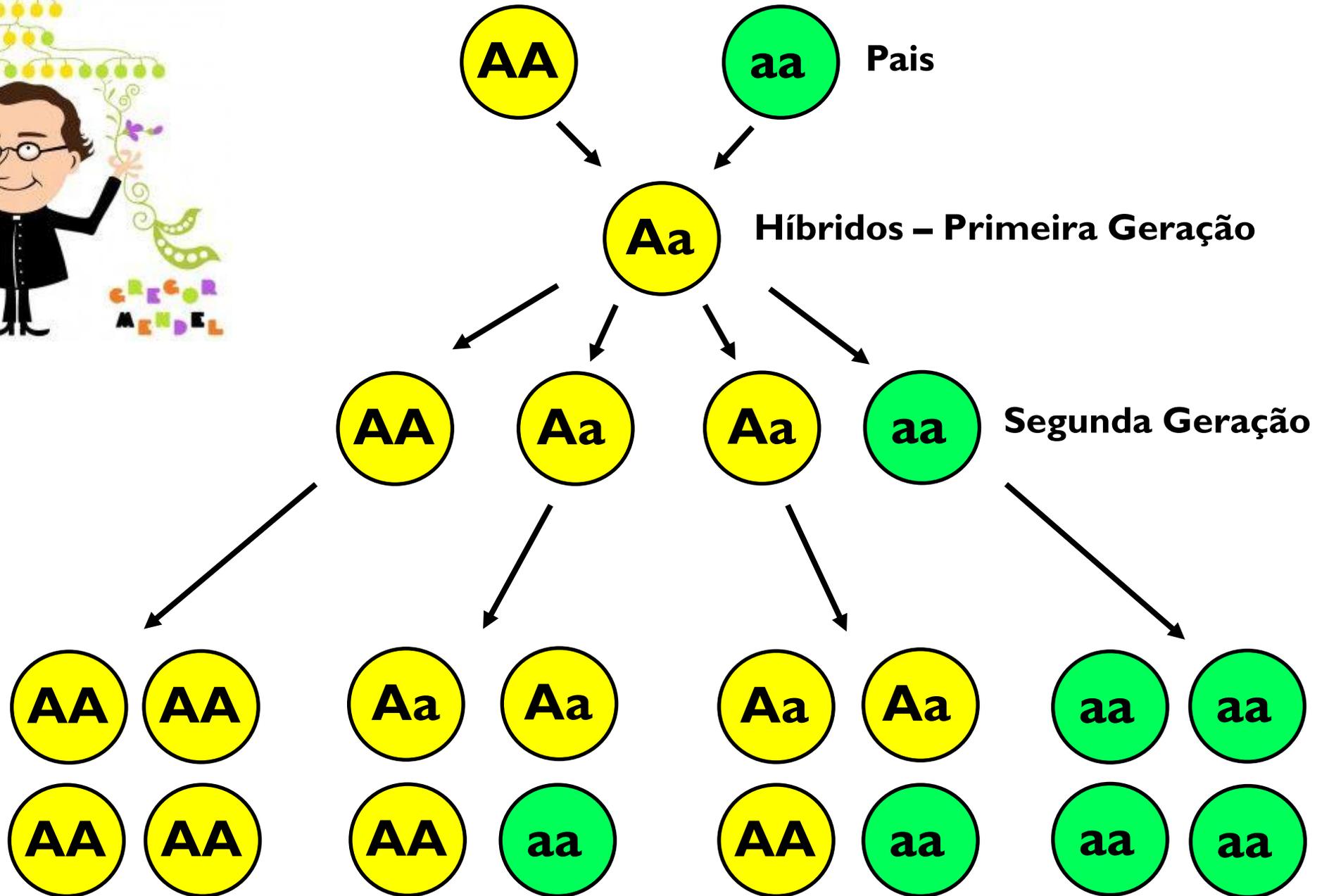


Razão 1:2:1

Razão 3:1

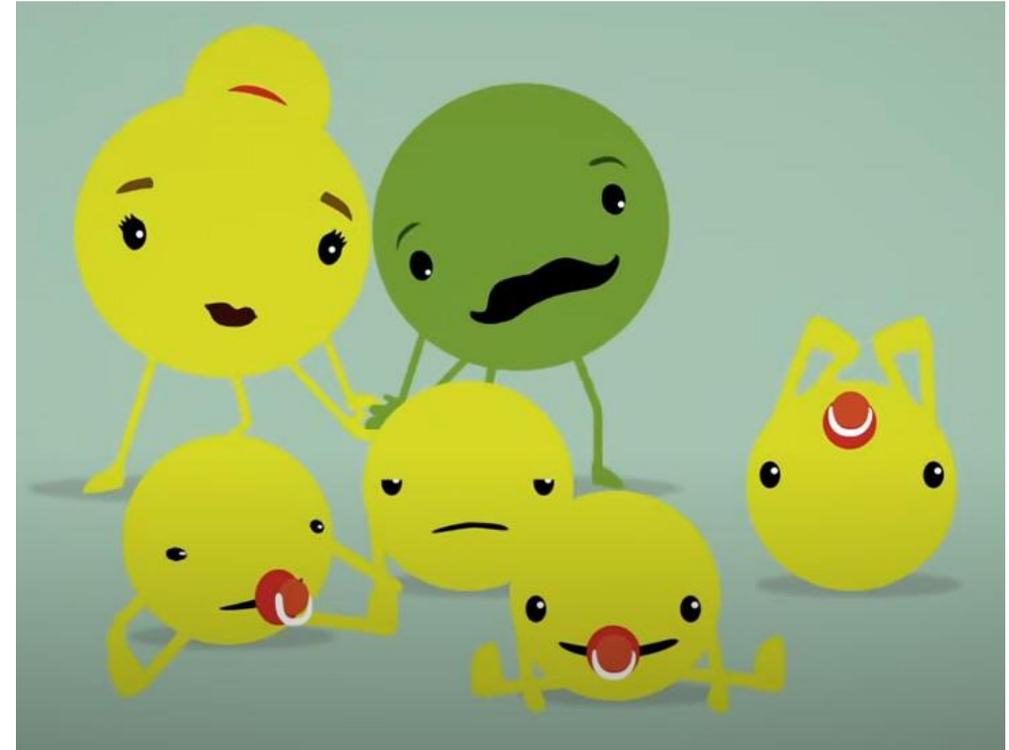


Terceira Geração



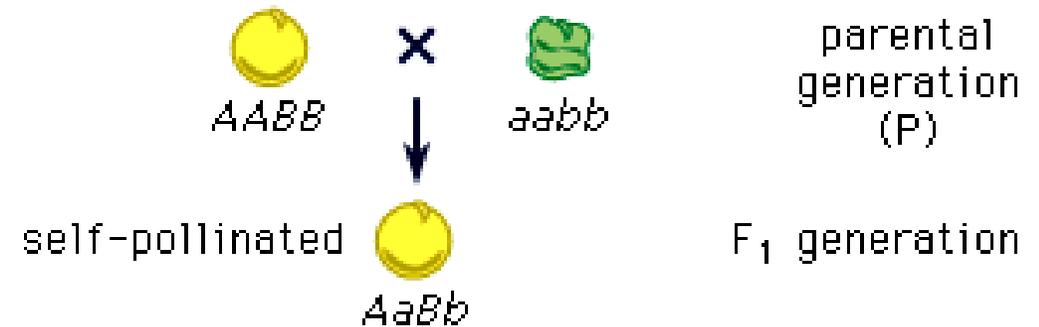
# 2º Experimento de Mendel

- Investigou duas características que eram variadas simultaneamente:
  - Eram herdadas independentemente?
  - Tinham sua herança influenciada pela outra característica?
  - Todas as possíveis combinações podiam ocorrer na segunda geração?



## 2ª Lei de Mendel (Lei da segregação e combinação independente)

- Os genes para duas ou mais características são transmitidos aos gametas de forma totalmente independente.



		pollen			
		AB	Ab	aB	ab
ovules	AB	$AABB$	$AABb$	$AaBB$	$AaBb$
	Ab	$AABb$	$AAbb$	$AaBb$	$Aabb$
	aB	$AaBB$	$AaBb$	$aaBB$	$aaBb$
	ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$

F<sub>2</sub> generation

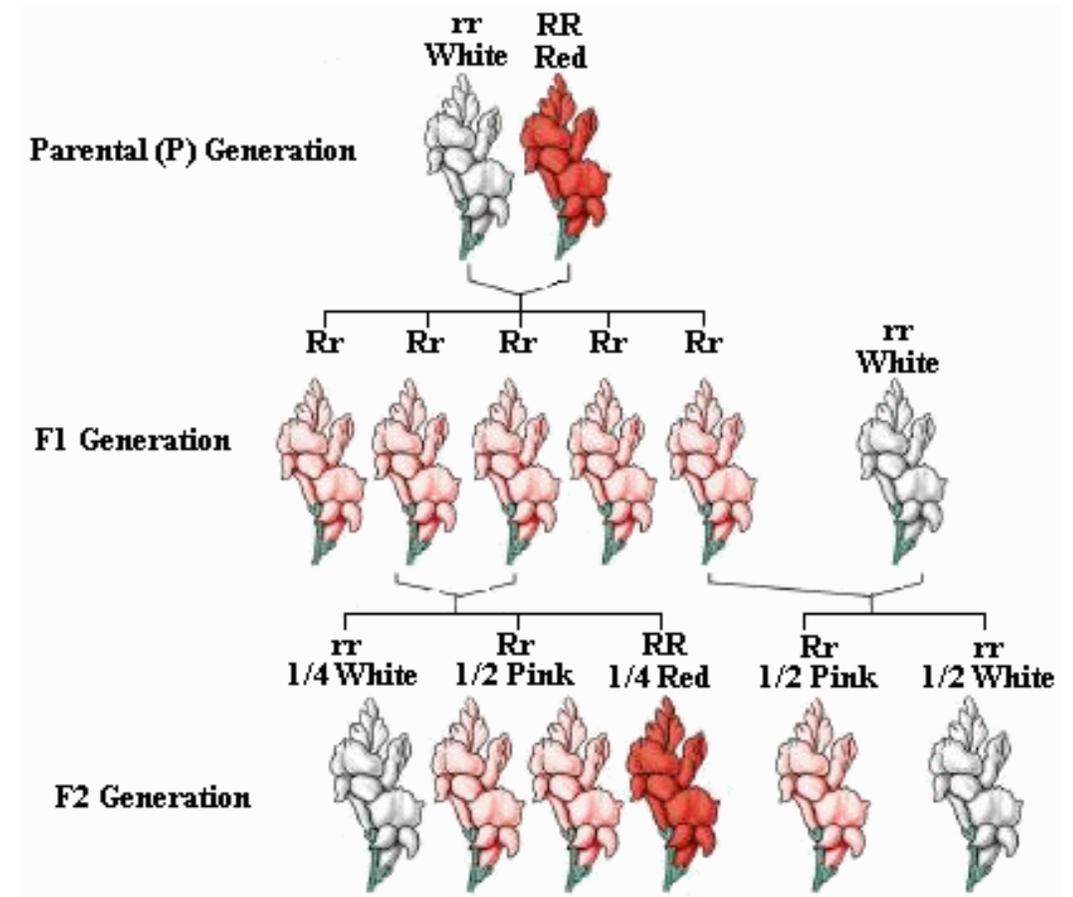
© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

# Dominância Incompleta

- Alguns alelos mostram dominância incompleta.
  - Heterozigotos apresentam um fenótipo diferente.

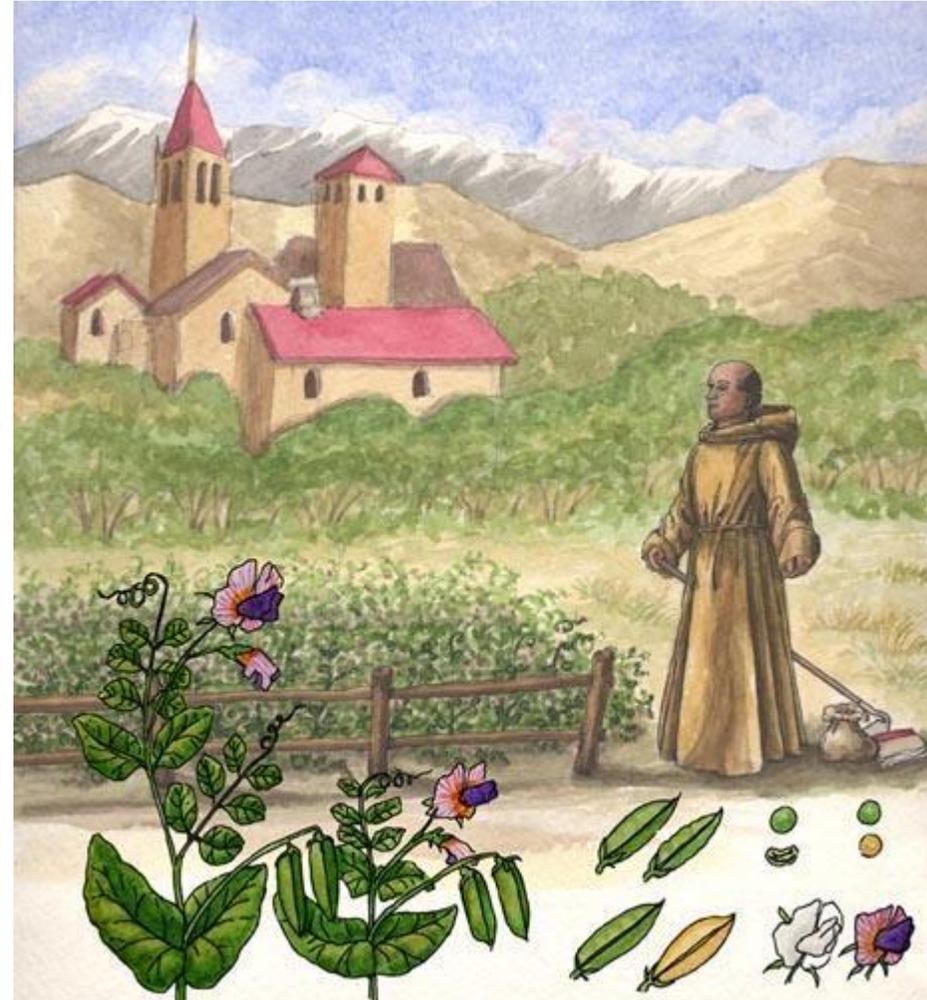


<https://cursoemgratuito.com.br/genetica-dominancia-incompleta/>



# Mendel em Resumo

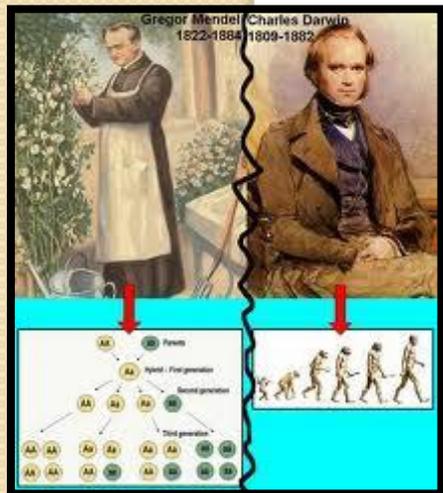
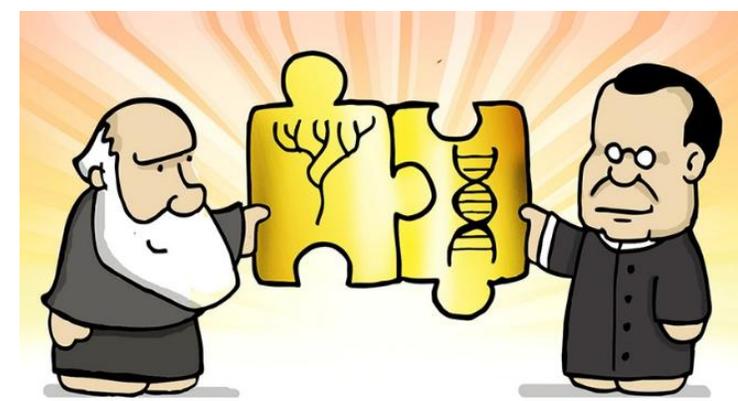
- Na época, acreditava-se que a hereditariedade era o resultado da adição da influência do pai e da mãe.
- Combinação das linhagens:
  - Mendel mostrou que a hereditariedade envolvia a interação de fatores discretos, separáveis.
- Fundador da Genética:
  - Seus estudos são a base da Genética Moderna.



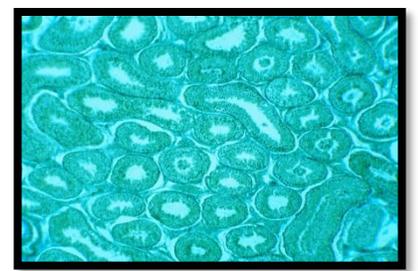
# Ponto-Chave

- Evolução:

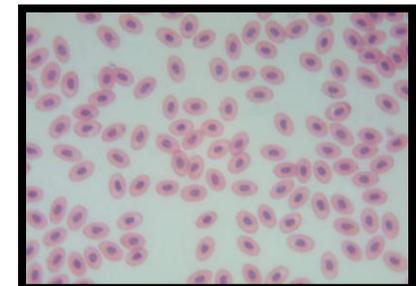
- Pode ser vista como um processo algorítmico que permite – através da reprodução com herança, variação e seleção natural – que os indivíduos mais adaptados sobrevivam e sejam levados a um estado de maior adaptabilidade ao seu ambiente.
- Esta é a inspiração dos algoritmos evolucionários.
  - A possibilidade de modelar a evolução como um processo de busca capaz de produzir indivíduos (soluções candidatas para um problema) com “desempenho” cada vez melhor.



# Células

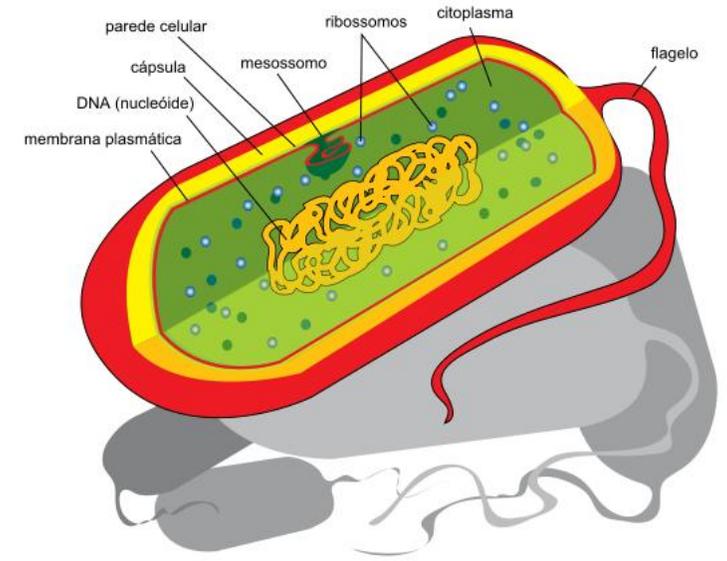


- O elemento estrutural básico de todos os organismos é a *célula*.
  - Eucariotos
    - Material genético localizado no núcleo da célula (estrutura dentro da célula cercada por uma membrana nuclear).
    - Unicelulares ou Pluricelulares.
      - Exemplos: Animais, Plantas, Fungos, Protozoários, Algas
  - Procariotos
    - Não tem a membrana nuclear cercando seu material genético.
    - Unicelulares.
      - Exemplo: Bactérias.





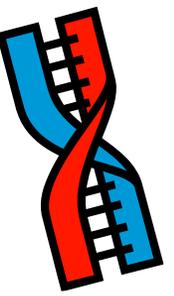
Alguns Eucariotos



Estruturas de uma célula procarionte flagelada

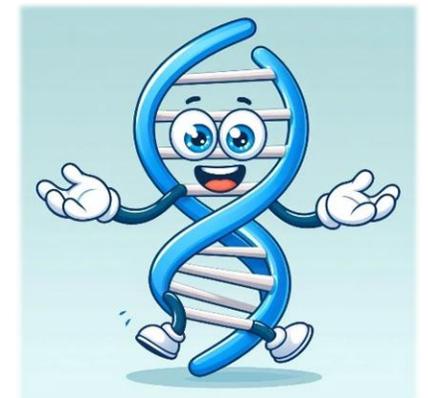
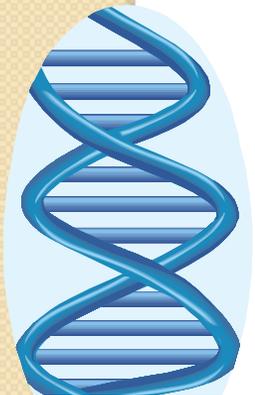


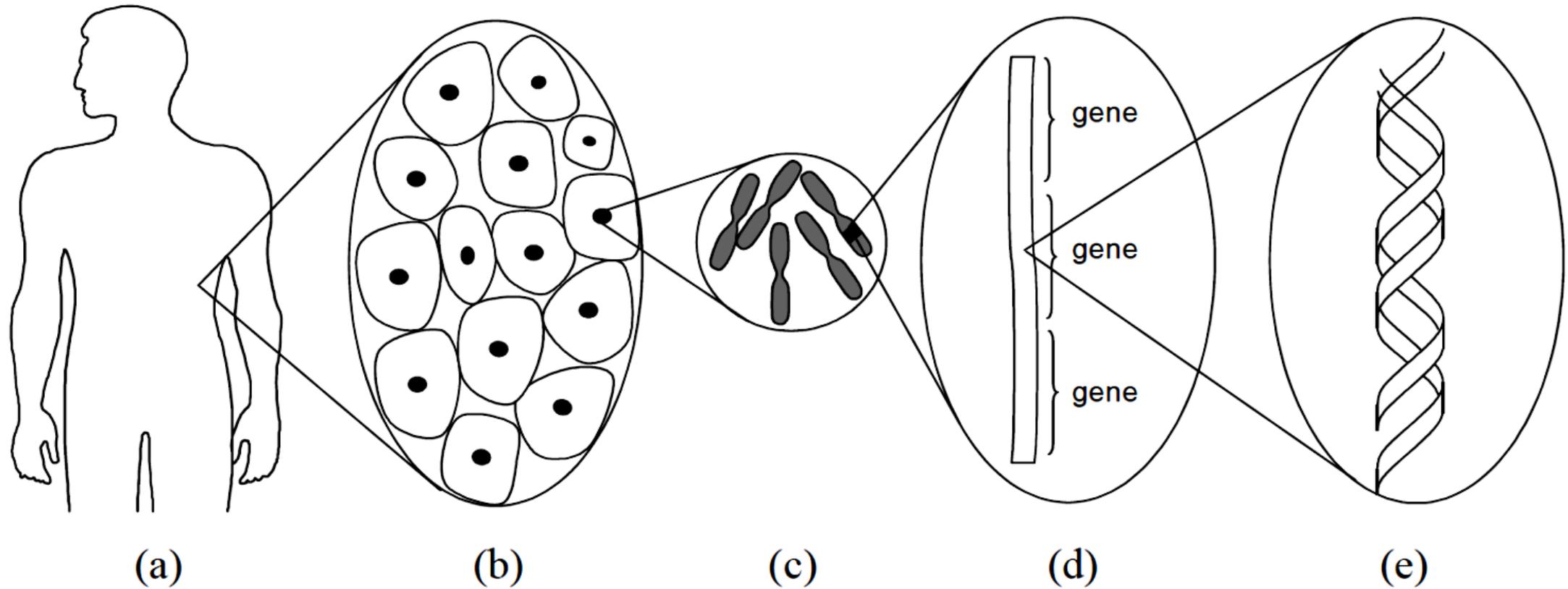
E. Coli



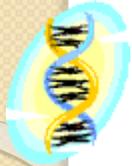
# DNA

- No núcleo da célula o material genético é organizado em estruturas chamadas *cromossomos*.
- *Gene* é um segmento de uma molécula espiral chamada *ácido desoxirribonucleico* ou *DNA*.
  - *Genes* são as partes funcionais do DNA.
- Cromossomos eucariotos tem apenas uma molécula de DNA indo de um lado a outro.

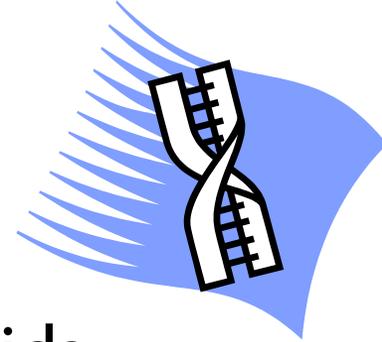




- (a) Organismo humano.
- (b) Células compondo o organismo.
- (c) Cada núcleo de célula contém cromossomos.
- (d) Cada cromossomo é composto de um longo segmento de DNA, e os genes são as porções funcionais do DNA.
- (e) A dupla hélice do DNA.



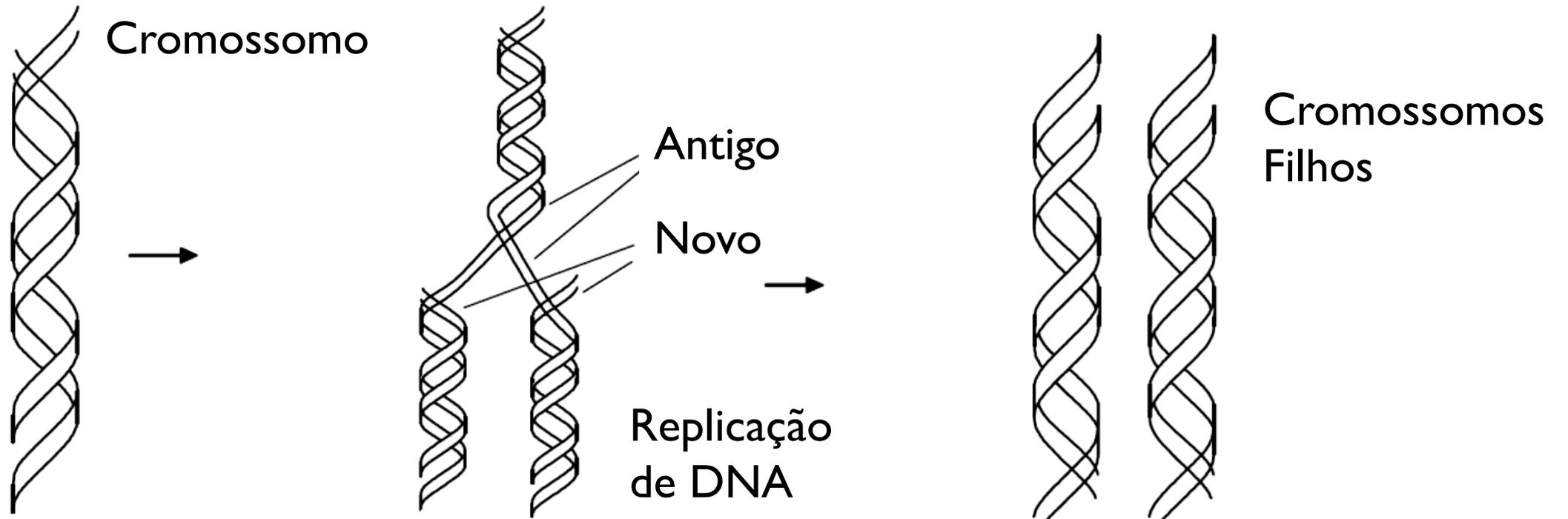
# DNA



- É a base para todos os processos e estruturas de vida.
- Moléculas DNA estão em duas das propriedades da vida mais fundamentais:
  - Reprodução
  - Desenvolvimento
- O DNA é uma estrutura de hélice dupla capaz de se replicar antes da multiplicação da célula.
- Cromossomos se duplicam formando *cromatídeos*.
  - Que eventualmente se tornam *cromossomos filhos*, que são transmitidos para *células filhas*.

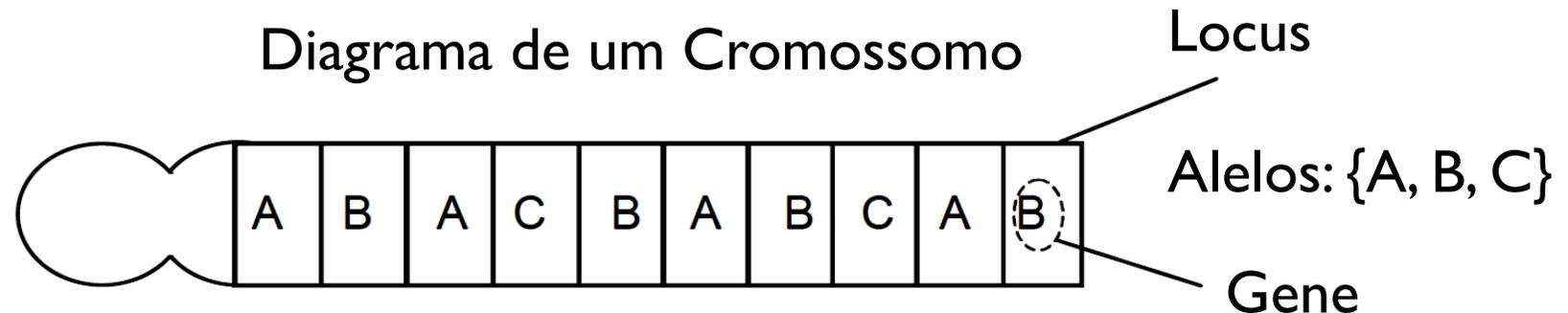


# DNA



# Genética

- Ciência que estuda os **genes**.
  - Muitas das diferenças entre os organismos são resultado de diferenças nos **genes** que carregam.
  - Junto com as influências ambientais, o **genótipo** determina o **fenótipo** do organismo.
  - As diferentes formas de um gene que determinam traços ou características são chamados **alelos**.
  - O local específico onde um gene está localizado dentro do cromossomo é chamado **locus**.



# Genética



- O material genético de eucariotos é distribuído entre múltiplos cromossomos.
  - O número varia conforme a espécie.
- Muitos eucariotos tem duas cópias de cada cromossomo em seu núcleo, o complemento do cromossomo é chamado *diplóide*.
- Eucariotos diplóides são formados pela fusão de dois *gametas* (célula reprodutiva madura), uma da mãe e outra do pai.
  - Essa fusão produz uma célula diplóide chamada *zigoto*, na qual acontece o desenvolvimento embrionário.
  - Cada gameta tem apenas um conjunto de cromossomos e são chamados *haplóides*.

# Pares de Cromossomos em Diferentes Espécies

<b>Espécie</b>	<b>Pares de Cromossomos</b>	<b>Espécie</b>	<b>Pares de Cromossomos</b>
Drosófila (Mosca)	4	Humano	23
Centeio	7	Macaco	24
Coelho	22	Rato	22
Porquinho-da-Índia	8	Carneiro	27
Avoante (Pomba Campestre)	8	Cavalo	32
Caracol	12	Galo	39
Minhoca	16	Carpa	52
Porco	20	Borboleta	190
Trigo	21	Samambaia	>600



Drosófila



Porquinho-da-Índia



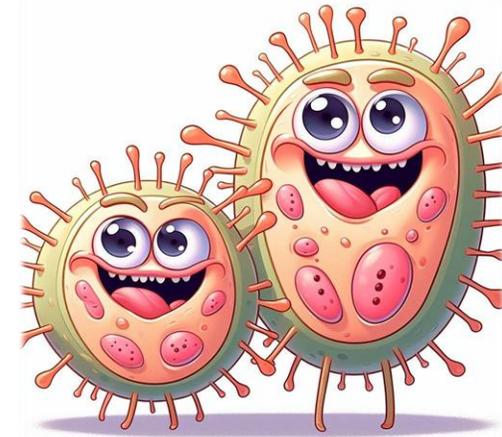
Avoante

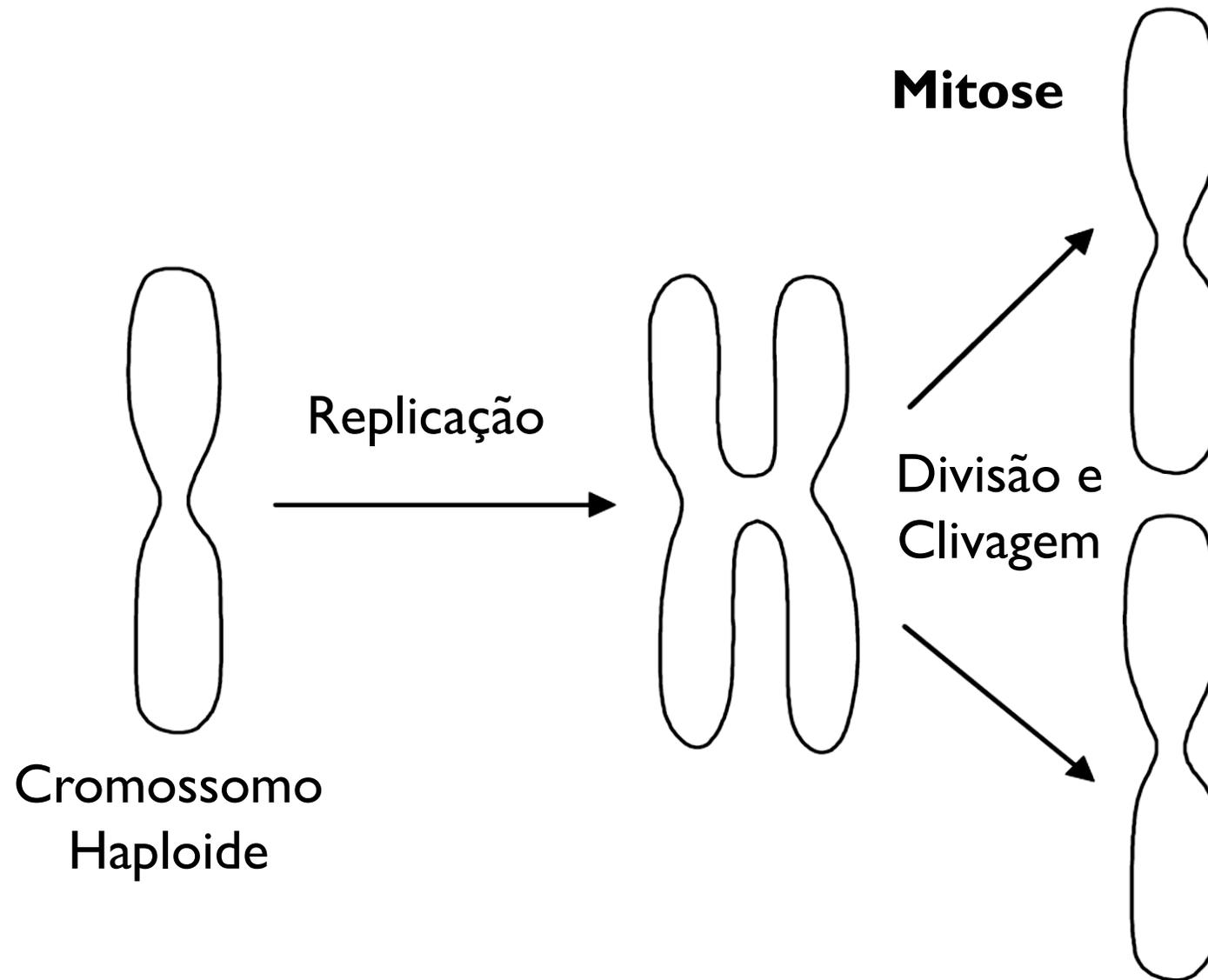
# Reprodução dos Eucariotos

- Eucariotos se reproduzem sexuadamente ou assexuadamente.

- Assexuadamente

- Novo indivíduo se desenvolve de uma célula simples ou de um grupo de células.
  - Encontrado em organismos unicelulares e multicelulares.
- Eucariotos de uma única célula crescem, dobram seu material genético e geram duas células descendentes com uma cópia exata (algumas vezes com uma pequena variação) de seu material genético.



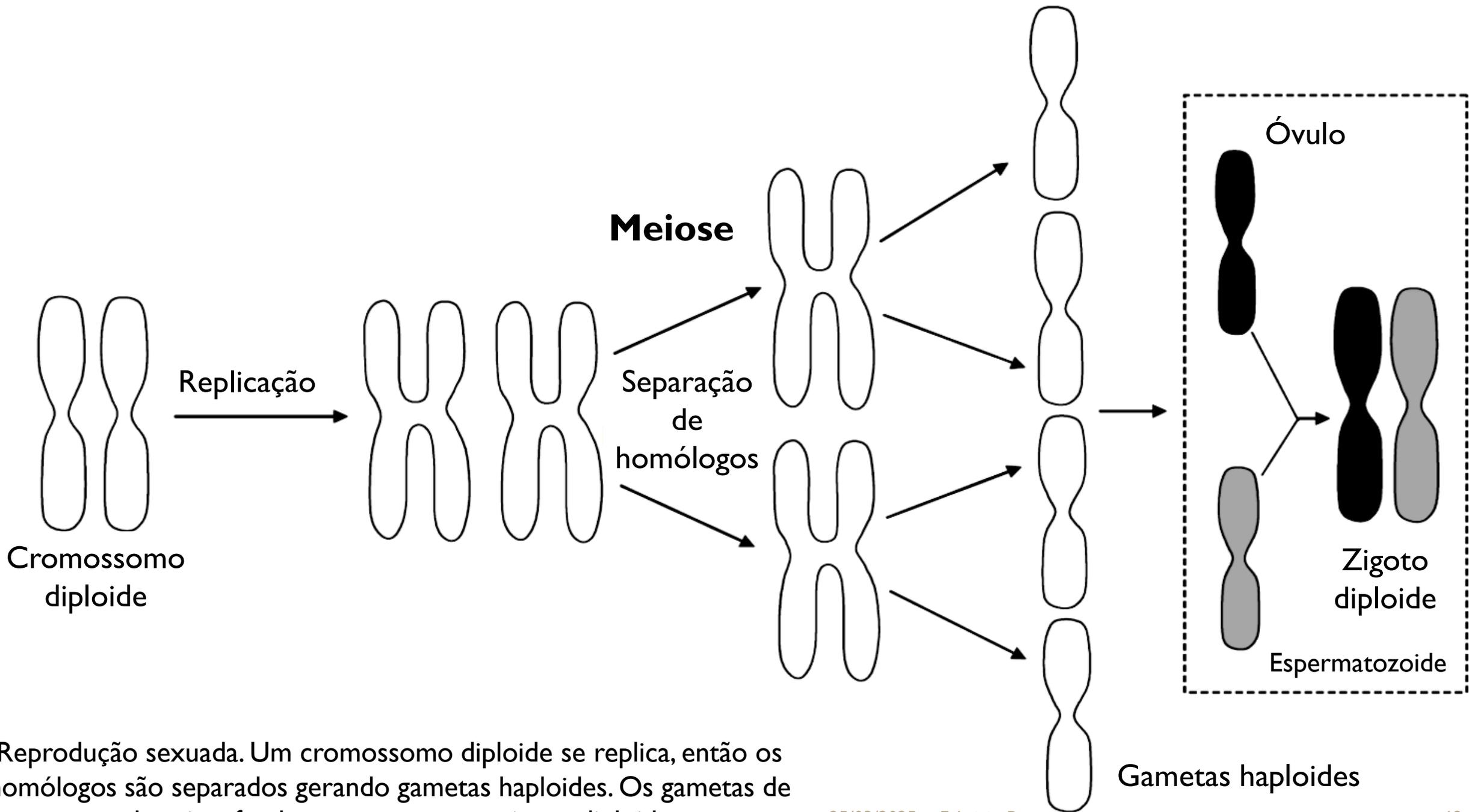


Reprodução assexuada em haploides. O cromossomo se replica, o núcleo da célula é dividido através de um processo chamado mitose, e então a célula é dividida em duas descendentes idênticas.

# Reprodução sexuada

- Fusão de dois *gametas haploides* para produzir uma única célula *zigoto diploide*.
- Envolve *recombinação genética*.
  - Gera combinações genéticas no filho que são distintas das dos pais.
- Organismos com reprodução sexuada tem dois tipos de células:
  - Somáticas (do corpo)
    - Se reproduzem por mitose (slide anterior).
  - Germinativas (sexuais)
    - Se reproduzem por meiose (a seguir).

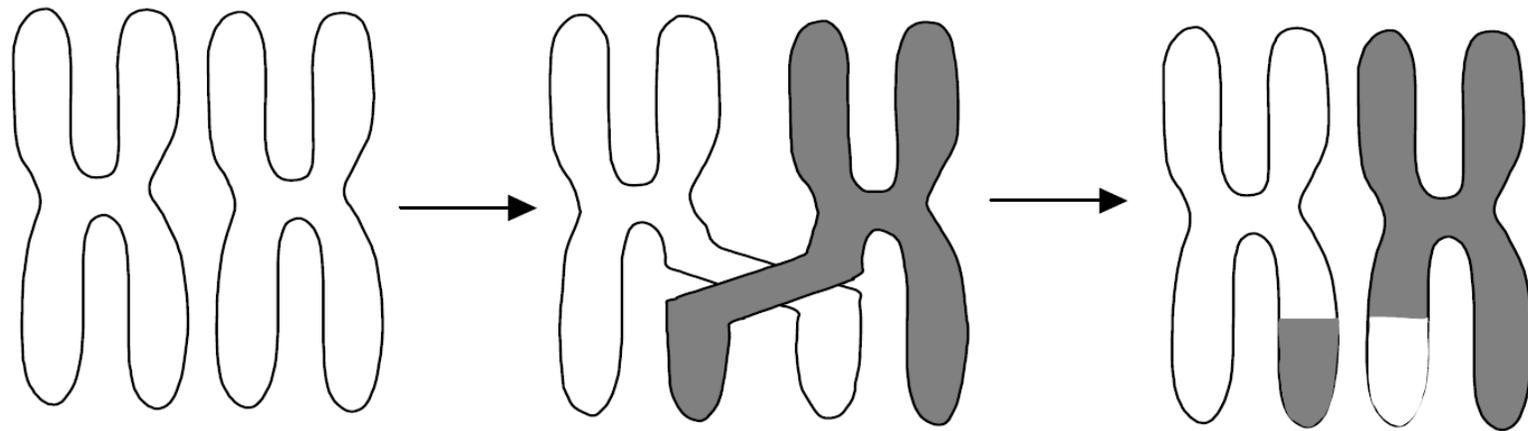




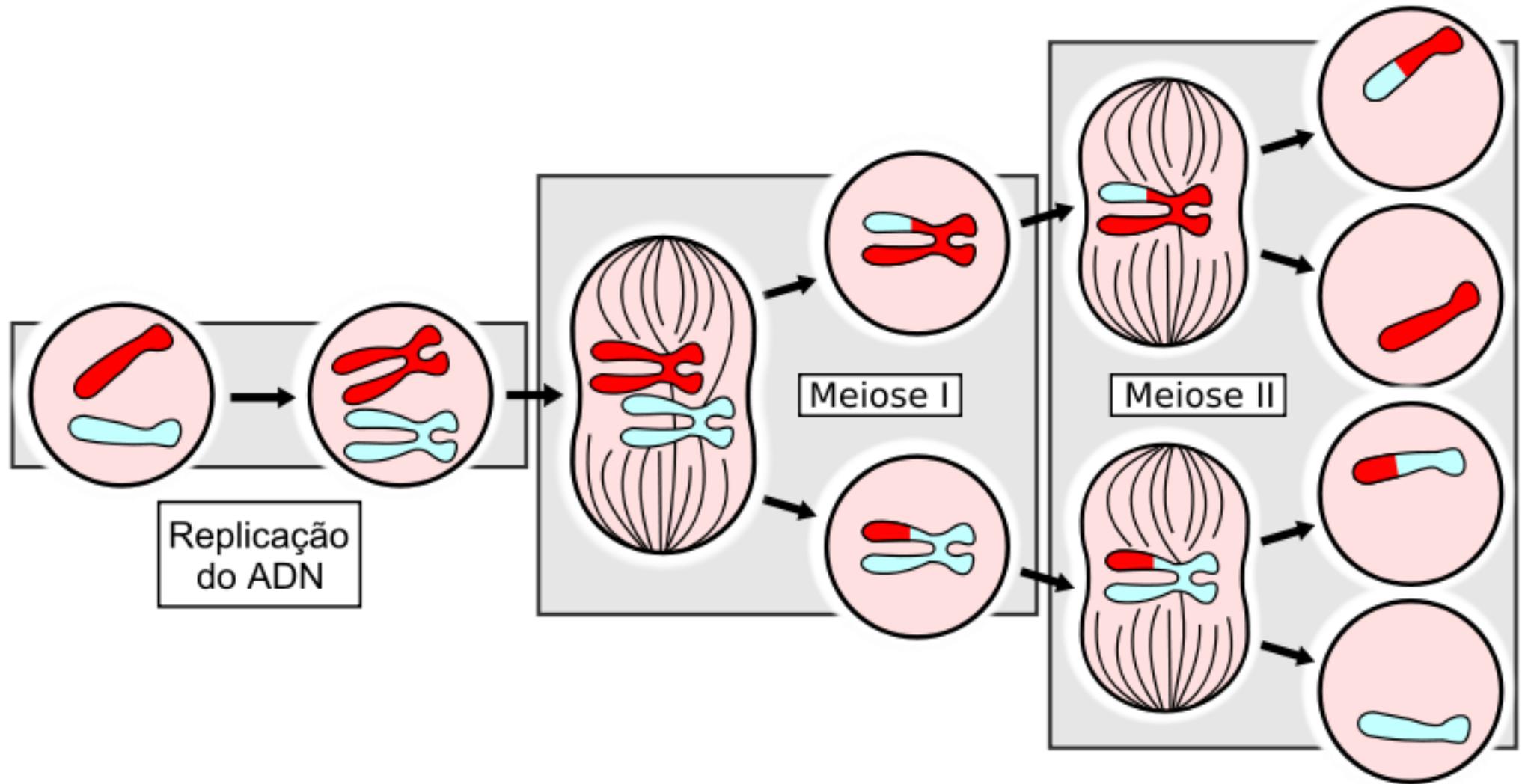
Reprodução sexuada. Um cromossomo diploide se replica, então os homólogos são separados gerando gametas haploides. Os gametas de cada pai se fundem para gerar um zigoto diploide.

# Cross-over

- Mecanismo que pode dar origem à *recombinação genética*
  - Processo no qual pais com diferentes características genéticas dão origem a um descendente em que os genes estão associados em novas combinações.



Cross-over entre dois locos em uma célula passando por sua primeira divisão meiótica. Dos quatro cromátídeos, dois terão novas combinações e dois reterão a combinação dos pais dos alelos.

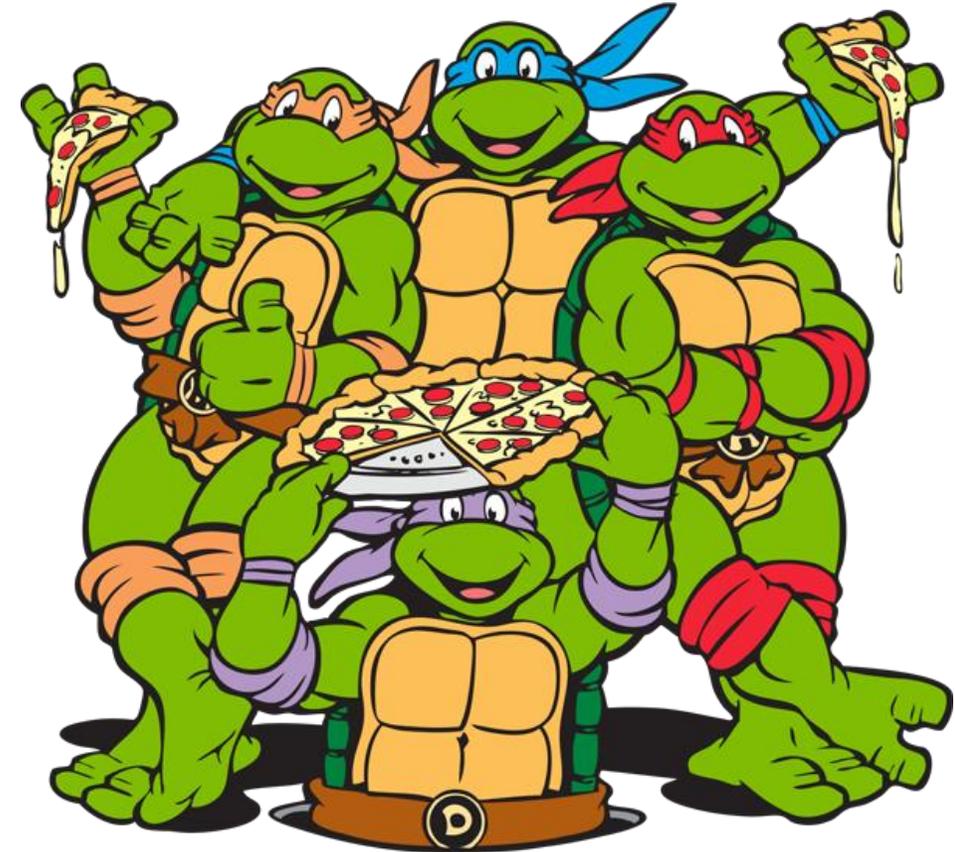


A meiose consiste em duas divisões celulares, resultando em quatro células. Na primeira divisão ocorre *crossover* genético e as características codificadas nos cromossomos são misturadas.

A primeira divisão produz duas células diploides normais. Na segunda divisão, pares de cromossomos são separados de modo que cada nova célula recebe metade dos genes. Estas divisões resultam em quatro células haploides (gametas).

# Variação Genética

- As diferenças entre organismos vem dos seguintes processos evolucionários:
  - Mutação
    - Mudança ou desvio no material genético.
  - Recombinação (*Cross-Over*)
    - Troca de material genético entre cromossomos.



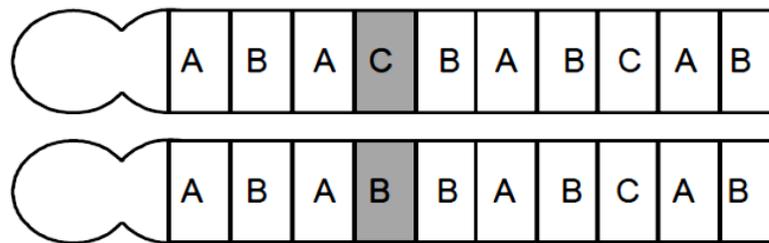
# Organização dos Cromossomos

- Com exceção dos gametas, a maioria das células dos mesmos organismos eucariotos tem a mesma quantidade de cromossomos.
  - A organização é a mesma de célula para célula.
  - Número de cromossomos e organização genética são as mesmas para todos os membros de uma mesma espécie.

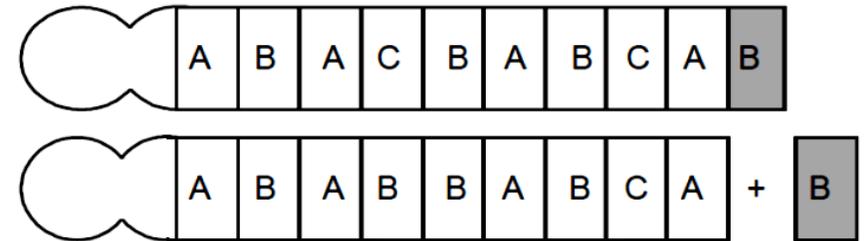


# Mutação

- Pode ocorrer espontaneamente ou ser induzida por química ou radiação.
- Exemplos de mutação:

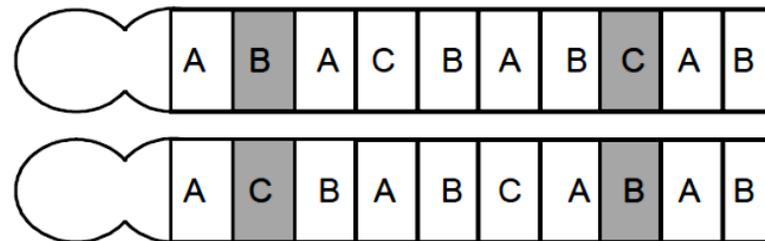


Mutação de ponto



Eliminação

Perda



Inversão

# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- População de indivíduos muda com o tempo.
  - Número de indivíduos pode aumentar ou diminuir dependendo de:
    - Disponibilidade de alimentos
    - Clima
    - Tempo
    - Disponibilidade de área para procriação
    - Predadores
    - Etc.



Lebre na University of Alberta – Edmonton, Alberta, Canadá  
por Fabricio Breve

# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- A viabilidade e fertilidade de um organismo depende sua *aptidão*.
  - Habilidade de um organismo de sobreviver e se reproduzir são variáveis:
    - Alguns indivíduos podem morrer antes de ter a chance de se reproduzir, enquanto outros deixam muitos descendentes.
    - Variação é explicada parcialmente pelas diferenças genéticas entre os indivíduos.
    - A recombinação do material genético dos pais e a mutação pode gerar indivíduos mais ou menos aptos.
    - Alelos associados com aptidão superior tendem a aparecer mais frequentemente na população (Seleção).



# Adaptação

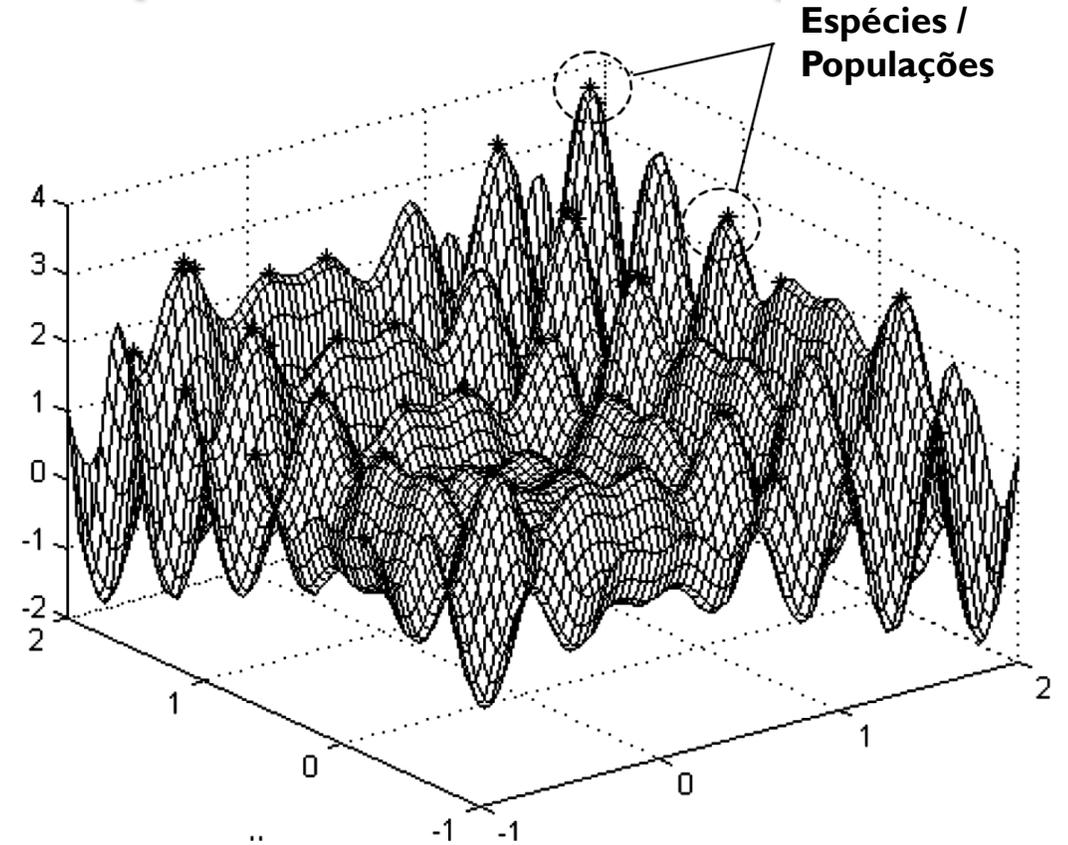
- Processo de evoluir organismos mais adaptados ao seus ambientes.
- Não é possível ser obtida apenas com variação, é necessário também o mecanismo de seleção.



Mariposa em Rio Claro – por Fabricio Breve

# Cenário de aptidão (*adaptive landscapes*)

- Os contornos do mapa representam diferentes níveis de adaptação ao ambiente (aptidão).
- Populações nos níveis mais altos são mais adaptadas.
- Posição da população depende de sua composição genética.

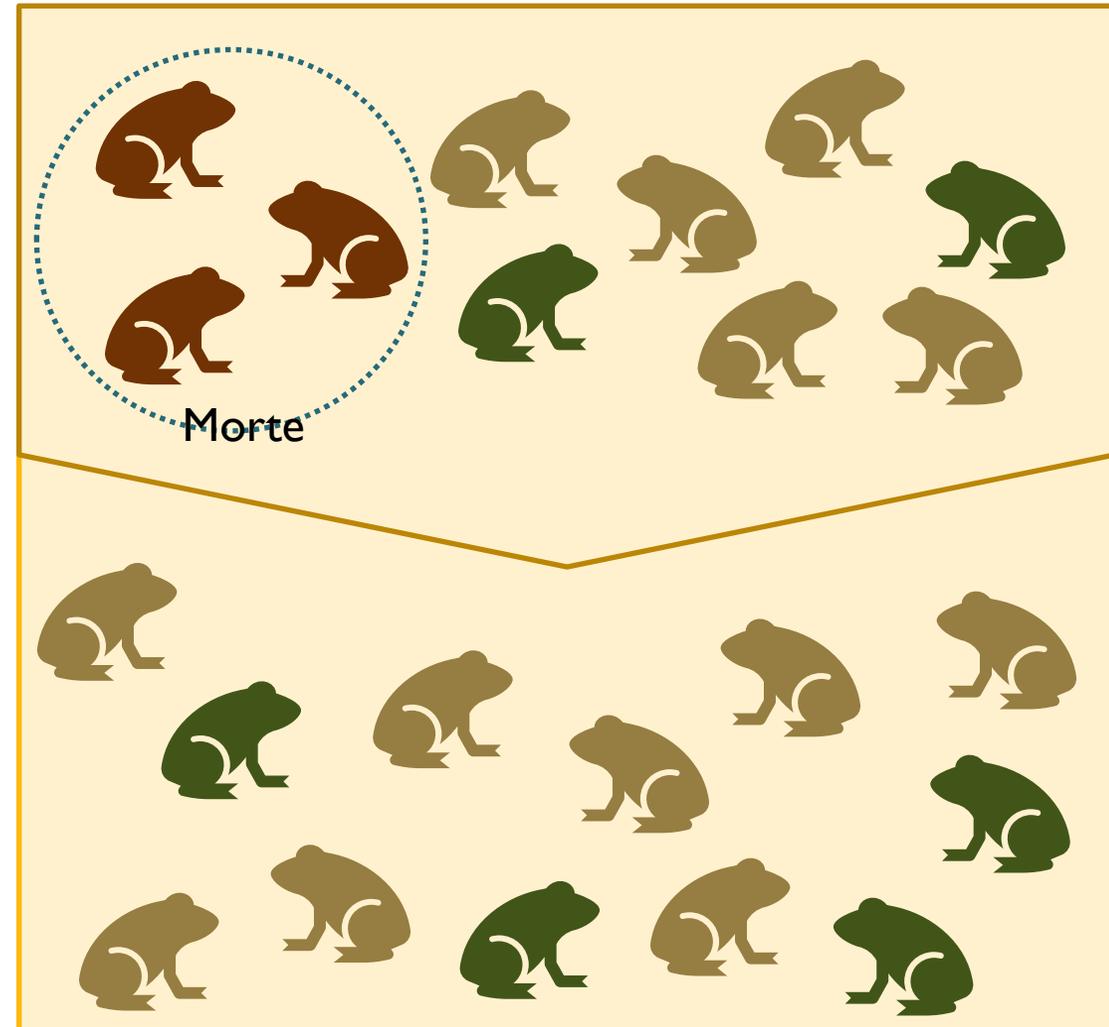


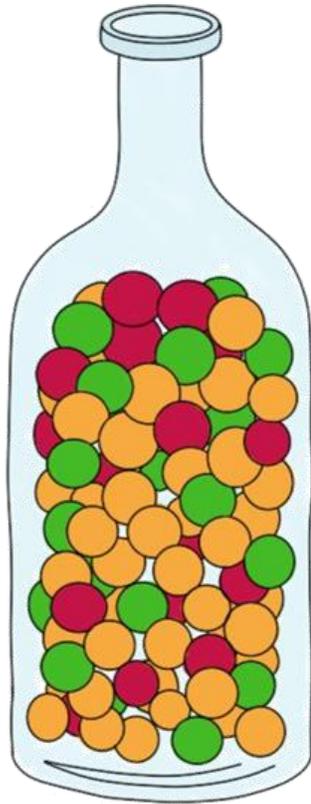
Notou a semelhança com o espaço de busca visto na aula passada?

# Outros mecanismos de evolução

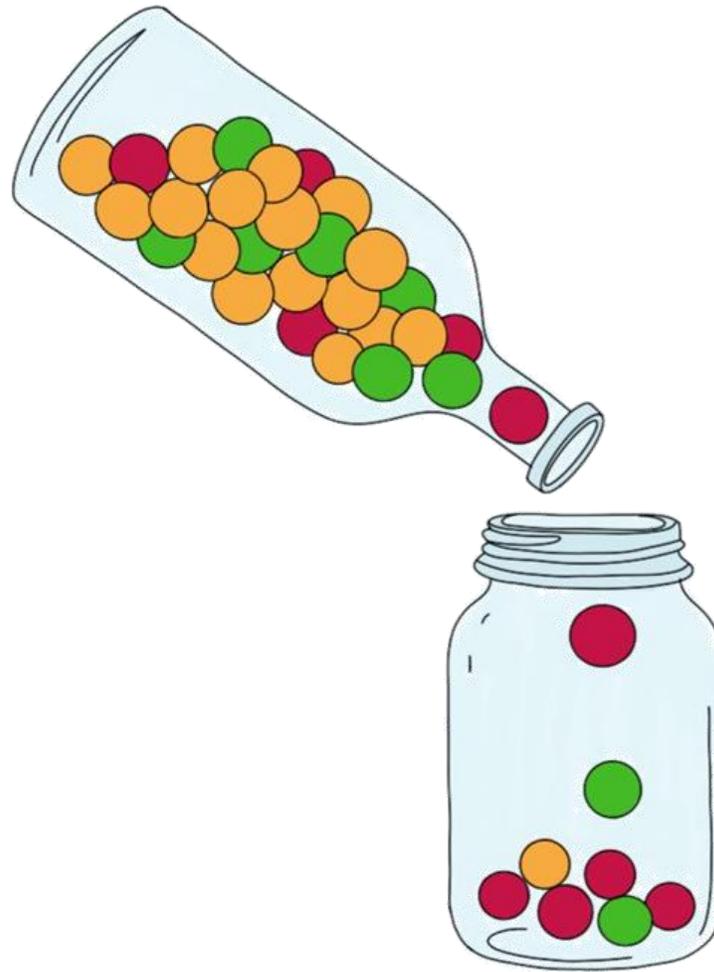
- *Genetic Drift*

- Flutuações que ocorrem ao acaso na frequência de alelos.
- Ex.:
  - **Efeito gargalo:** um evento catastrófico reduz drasticamente a população de indivíduos.
  - **Efeito fundador:** um grupo que se isola de uma população maior pode gerar uma nova população onde algum alelo é mais frequente.

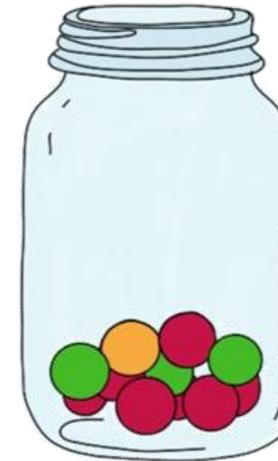




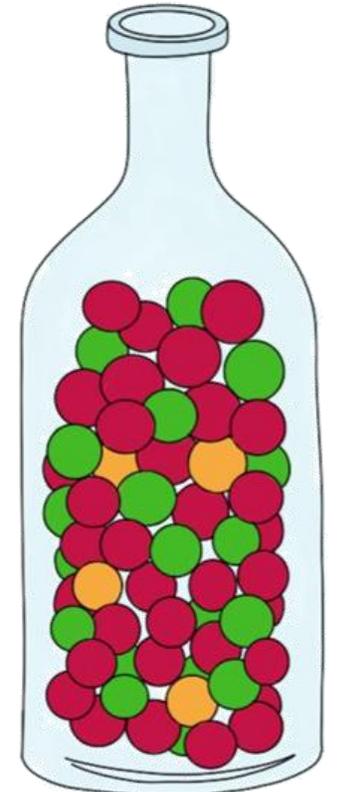
População original



Evento de Gargalo

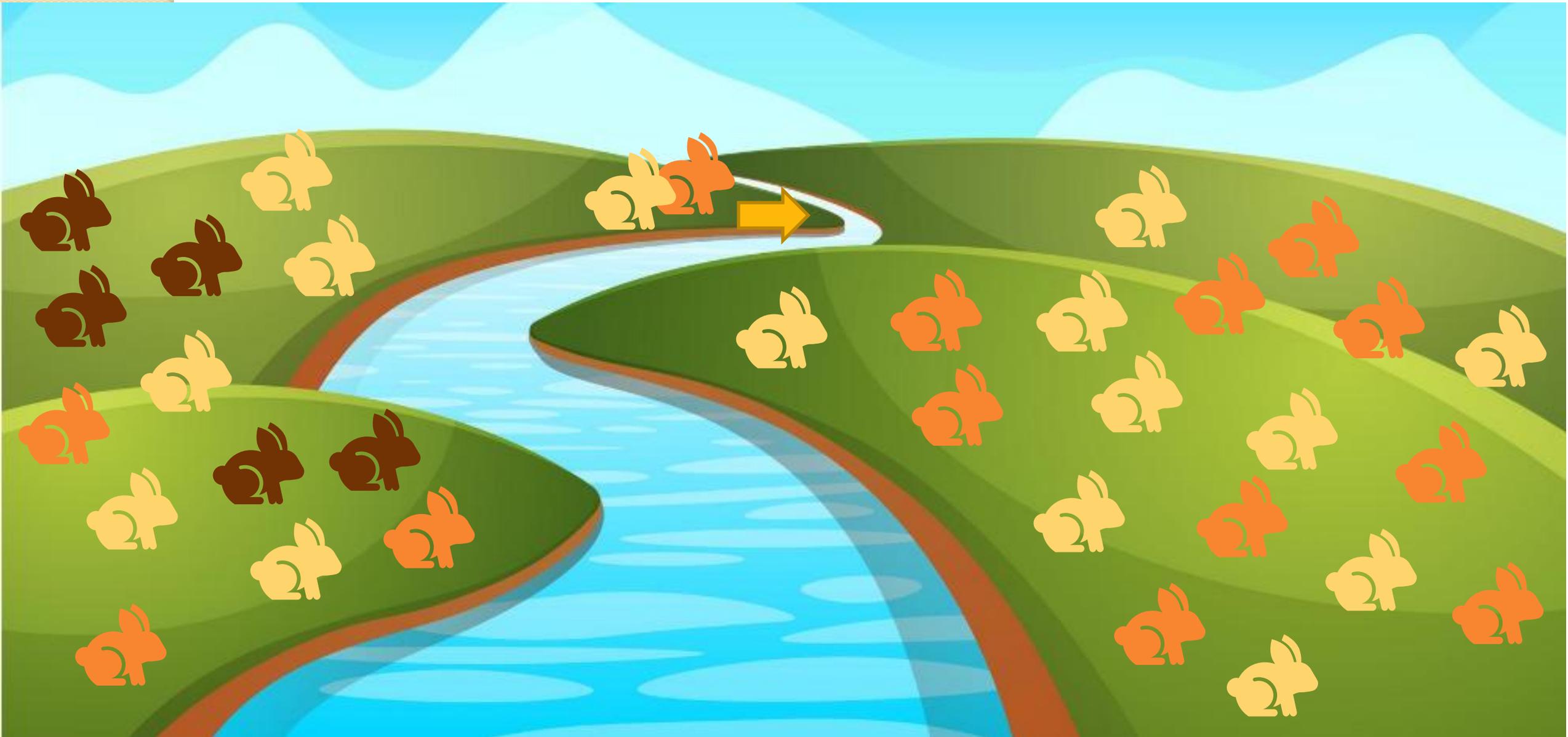


População sobrevivente



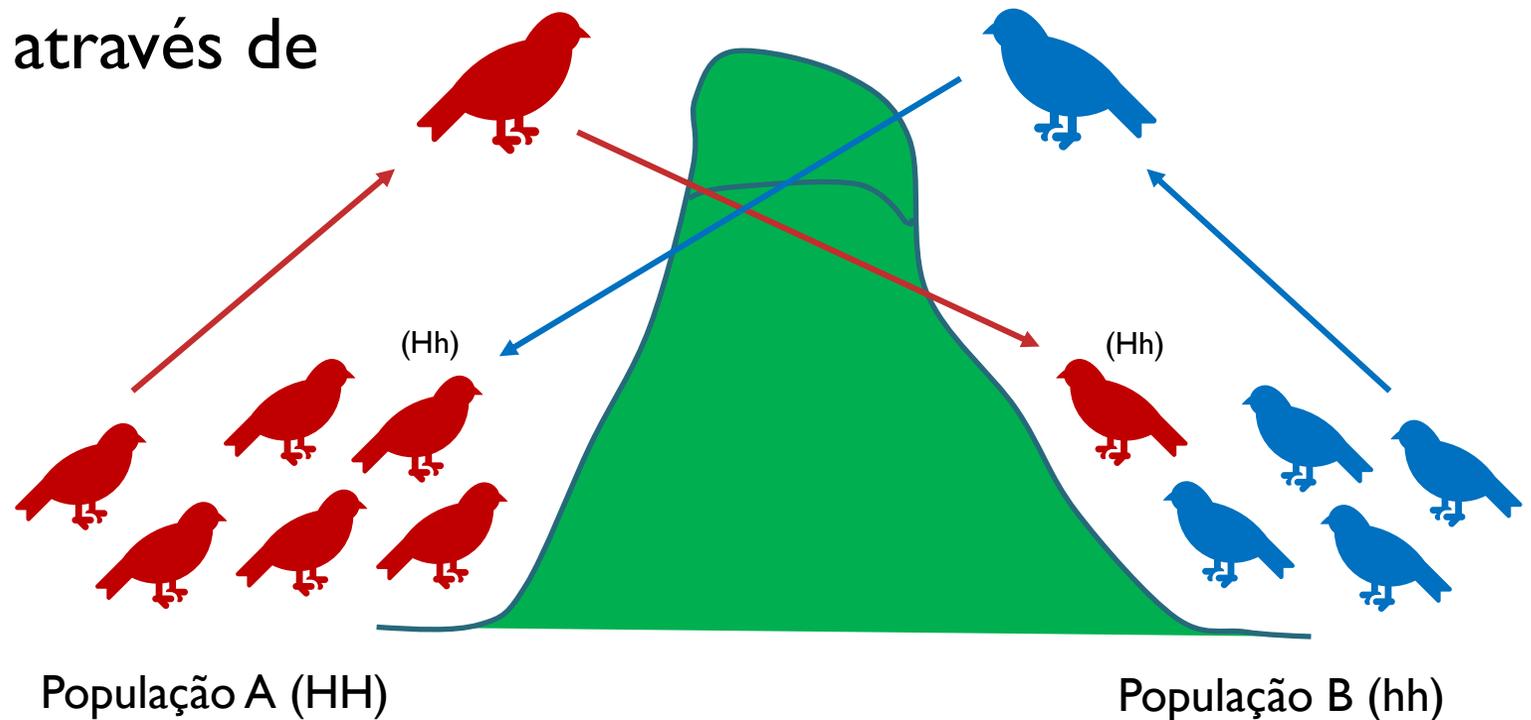
Nova população

Ilustração original de Gabi Slizewska disponível em <https://www.expii.com/t/what-is-the-bottleneck-effect-definition-examples-10503>



# Outros mecanismos de evolução

- *Gene Flow*
  - Espalhamento de genes entre populações através de *migração*



# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- Seleção natural funciona como uma peneira de variações genéticas.
  - As benéficas são preservadas.
  - As nocivas são eliminadas.



# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- Portanto a população tende a “escalar” os morros do cenário de aptidão.
  - O equilíbrio ocorre em um pico ou próximo a um pico do cenário de aptidão.
    - Na verdade a população flutua em torno do pico por causa do efeito do *genetic drift*.
    - Na natureza o ambiente também está em constante mudança, portanto a população está sempre se adaptando ao cenário de aptidão do novo ambiente em um processo sem fim.



# O Caso da Obesidade em Samoa

- Samoa e outras ilhas do Pacífico tem hoje um sério problema com obesidade, diabetes e outros associados.
  - Ligados principalmente a uma dieta inadequada, com abundância de comida processada importada.
- Os primeiros habitantes das ilhas enfrentaram severa insegurança alimentar ao navegar e se instalar.
  - Tinham uma dieta baseada em peixes, raízes densas em nutrientes, cocos, frutas, frutos do mar.





# O Caso da Obesidade em Samoa

- Uma pesquisa identificou que uma parcela significativa da população tem uma variação genética relacionada com o alto índice de massa corporal.
  - 7% da população tem duas cópias da mutação, 38% uma cópia, os demais 55% não tem a mutação.
  - A variante praticamente não existe na África e na Europa, aparece apenas com baixa frequência no leste asiático.
  - A mutação faz com que as células de gordura armazenem mais gordura e de forma mais eficiente (gastando menos energia).

<https://www.sciencedaily.com/releases/2016/07/160725121712.htm>

Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA](#)

Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA](#)

Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA-NC](#)

# Exemplo Clássico de Evolução

- Durante o dia as mariposas descansam no tronco das árvores.
  - Sua cor é uma camuflagem natural contra os pássaros predadores.
- Acredita-se que um único gene defina a cor da mariposa.
- Nas áreas mais industrializadas predominam as mariposas escuras.
- Nas áreas menos industrializadas predominam as mariposas claras.



# Exemplo Clássico de Evolução

- Inicialmente a grande maioria das mariposas eram claras.
  - Boa camuflagem em árvores claras e líquens.
- Revolução industrial na Inglaterra.
  - Matou a maioria dos líquens.
  - Árvores escureceram por causa da fuligem.
  - Resultados:
    - Mariposas claras morriam por causa dos predadores.
    - População de mariposas escuras aumentou.



Mais informações: [http://en.wikipedia.org/wiki/Peppered\\_moth\\_evolution](http://en.wikipedia.org/wiki/Peppered_moth_evolution)

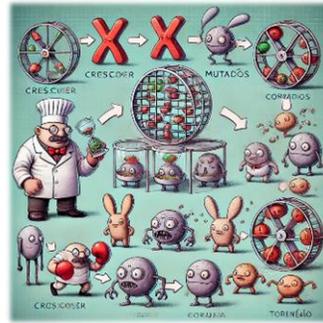
# Questões



1. É sabido que os olhos evoluíram mais de uma vez, em diferentes tempos, e para diferentes espécies. O que você acha que seria uma boa “medida de aptidão” para um olho funcional? Leve em consideração os olhos humanos por exemplo.
2. Se a evolução é um processo que nunca termina, humanos apresentam algum sinal de evolução desde os últimos milhares de anos? Justifique sua resposta.

# Próxima Aula

- Algoritmo Evolutivo Padrão
- Algoritmos Genéticos
- Indivíduo
- Codificação
- Representações
- Funções de Aptidão
- Seleção
- Diversidade
- Operadores Genéticos
- Crossover
- Mutação
- Elitismo
- Funcionamento do Algoritmo Genético
- Critério de Parada
- Convergência
- Exemplo de Reconhecimento de Padrões
- Exemplo de Minimização de Polinômio de 4º Grau
- Aplicações
- Exercício
- Comparação de Subida da Colina, Recozimento Simulado e Algoritmos Genéticos



# Bibliografia

- CASTRO, Leandro Nunes. *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, And Applications*. CRC Press, 2006.
- CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. *Notas de Aula*, 2007.
- BROWNLEE, Jason. *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*. Jason Brownlee, 2011.
- EIBEN, A. E.; SMITH, James E. *Introduction to Evolutionary Computing*, 2nd Edition. Springer, 2015.
- SIMON, Dan. *Evolutionary Optimization Algorithms*. Wiley, 2013.
- MITCHELL, Melaine. *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, 1998.

