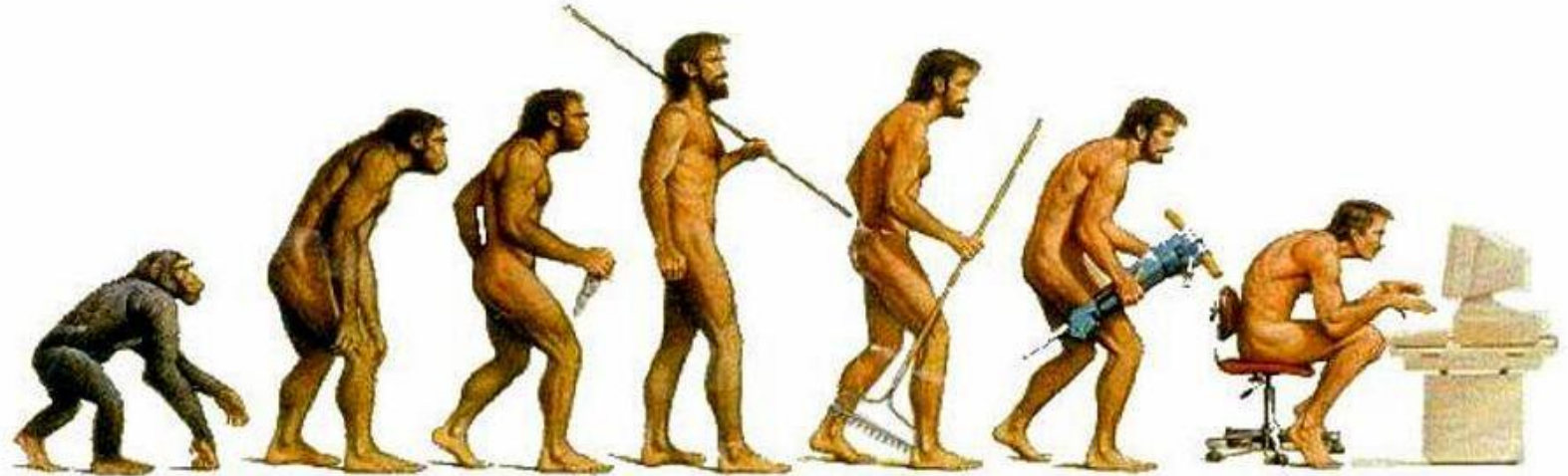


# Computação

## Evolutiva - Parte 2



Fabricio Breve - [fbreve@gmail.com](mailto:fbreve@gmail.com)



# **BIOLOGIA EVOLUTIVA**

# Biologia Evolutiva

- Ciência que estuda:
  - diversidade da vida
  - diferenças e similaridades entre organismos
  - características adaptativas e não-adaptativas dos organismos
- Ajuda a entender:
  - Epidemias de doenças
  - Dinâmica de populações
  - Etc...

# 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

# Biologia Evolutiva

- **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...

# Biologia Evolutiva

- 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

# Biologia Evolutiva

- *Variação*
  - Há variação em uma ou mais característica 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*

# Biologia Evolutiva

- *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



# Biologia Evolutiva

- 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, através do material genético, de uma geração para outra

# Biologia Evolutiva

- 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 esta 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
- 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 e Aristóteles)

# História

- 1600 DC
  - Formas de vida adultas em miniatura vivem no sêmen ou ovos (Pré-formação)
    - Explicava melhor a hereditariedade
- 1700 DC
  - Formas adultas se desenvolvem gradualmente a partir do ovo (Epigênese)
    - Explicava melhor variação

# História

- 1809
  - Evolução dos seres vivos – Lamarck
- 1858
  - Teoria da Evolução – Darwin
- 1865
  - Experimentos de Mendel
- 1868
  - Darwin – 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
  - Maxam e Gilbert; Sanger sequenciamento do DNA
- 1980 a 1990
  - Início de projetos para seq. De organismos
- 1990
  - Início do Projeto Genoma Humano – Celera e Consórcio Americano

# 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, ...



# Lamarck



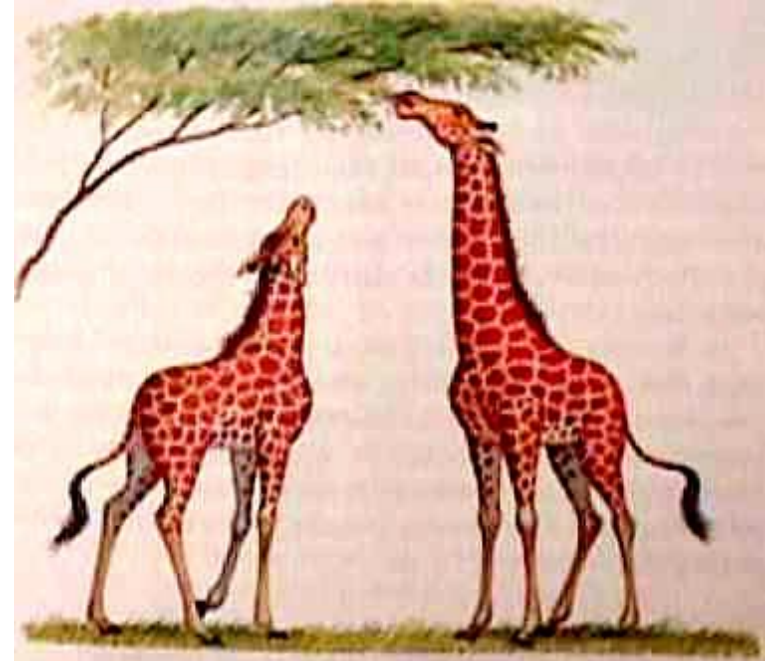
- Cientista francês, afirmou em seu livro, *Filosofia Zoológica* (1809)
  - Indivíduos podem se modificar ao longo do tempo
    - Em resposta a necessidades relacionadas ao seu ambiente
    - Coelhos poderiam ter orelhas curtas para
      - melhor ouvir a aproximação dos predadores
      - Para melhor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

# 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 determinado 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
- Tais alterações adquiridas ao longo da vida do indivíduo são herdadas
  - *Herança de Características Herdadas*

# Lamarck

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



# Lamarck

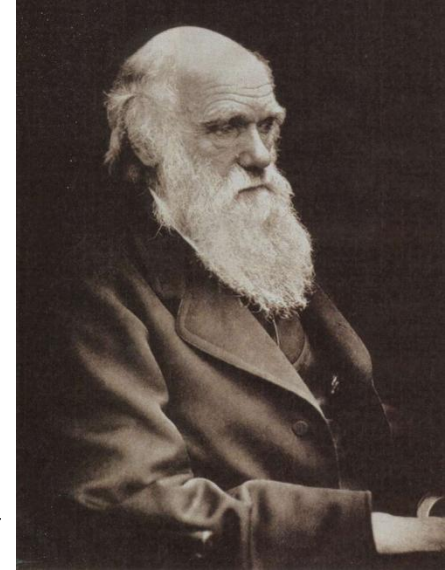
- Princípios fundamentais do Lamarckismo
  - Lei do uso e desuso
    - Estruturas muito utilizadas teriam tendência a se desenvolver
    - Enquanto as pouco utilizadas teriam tendência a se atrofiar
  - Lei da herança das características adquiridas
    - As mudanças no organismo, devido ao uso/desuso,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

# Lamarck

- Princípios fundamentais do Lamarckismo
  - 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
  - Seu trabalho não teve o reconhecimento da comunidade científica da época

# Darwin

- Charles Darwin
  - 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 seminário, sofreu influência de um professor de história natural
    - Que o indicou para uma expedição que ia fazer um mapa cartográfico do extremo sul da América do sul



# 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 o Reino Unido
  - Voltou para casa já como um pesquisador famoso

# Darwin

## A viagem de Darwin





# 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



Tortudo nicotariensis (Santa Cruz)



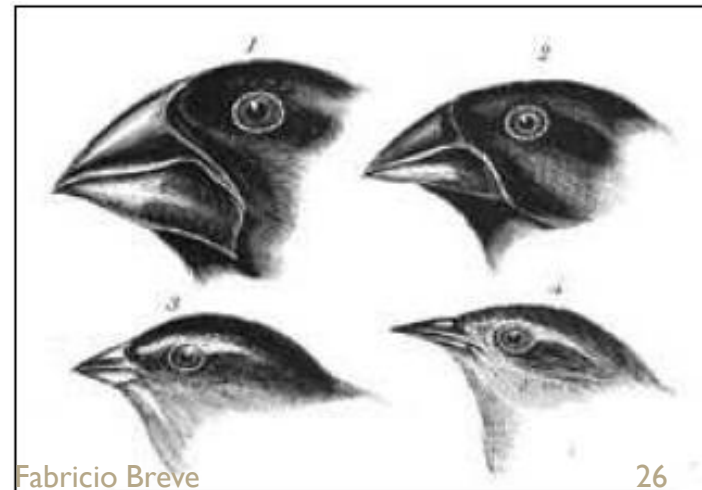
Tortudo abingdonensis (Santa Fe)



Tortudo abingdonensis (Santa Cruz)

# 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



# Darwin

- De volta, publica em 1859, o livro “A Origem das Espécies”
  - Propôs a 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
      - Que evoluíram a partir deste ancestral

# 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

- 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.

# Darwin

- Darwin estava trabalhando a muitos anos no seu livro
  - Foi convencido a publicá-lo logo por um estudo semelhante de Alfred Wallace
    - Baseado em espécies biológicas coletadas no sudeste da Ásia
    - Darwin ficou surpreso ao ver que Wallace chegou a mesma conclusão que ele
      - Insistiu para que Wallace também recebesse crédito pela teoria da Seleção Natural
        - Que ocorreu no encontro da Associação Britânica para o Avanço da Ciência em 1860

# Darwin

- 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?

# Mendel

- Johann Mendel
  - Monge em Brno, República Checa
  - Recebeu uma pequena área no monastério para realizar experimentos com ervilhas
  - Propôs, em 1865, conceito da hereditariedade
    - Complementava os estudos de Darwin





# 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

# Mendel



- Experimentos
  - 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

# Mendel

- 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

# Mendel

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

# 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

# Mendel

- 1º experimento de Mendel
  - Monohibridismo (apenas uma característica era variada)
  - Linhagem inicial pura
    - BB: flor púrpura
    - bb flor branca



# Mendel

- 1ª Lei de Mendel (Lei da segregação)
  - Cada característica é determinado 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

# Mendel

- Primeira Geração

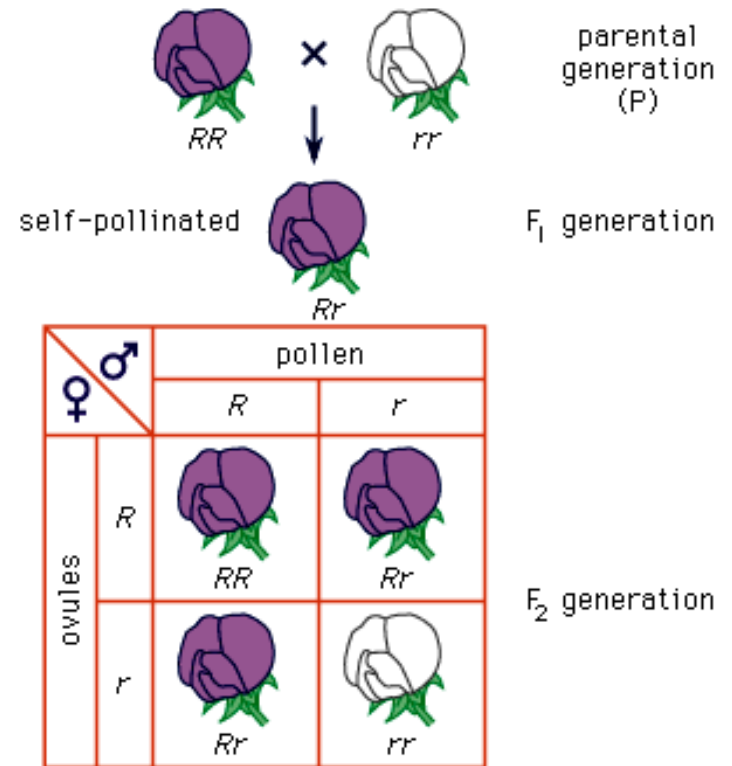
- Pais RR x rr

	R	R
r	Rr	Rr
r	Rr	Rr

- Segunda Geração

- Pais Rr x Rr

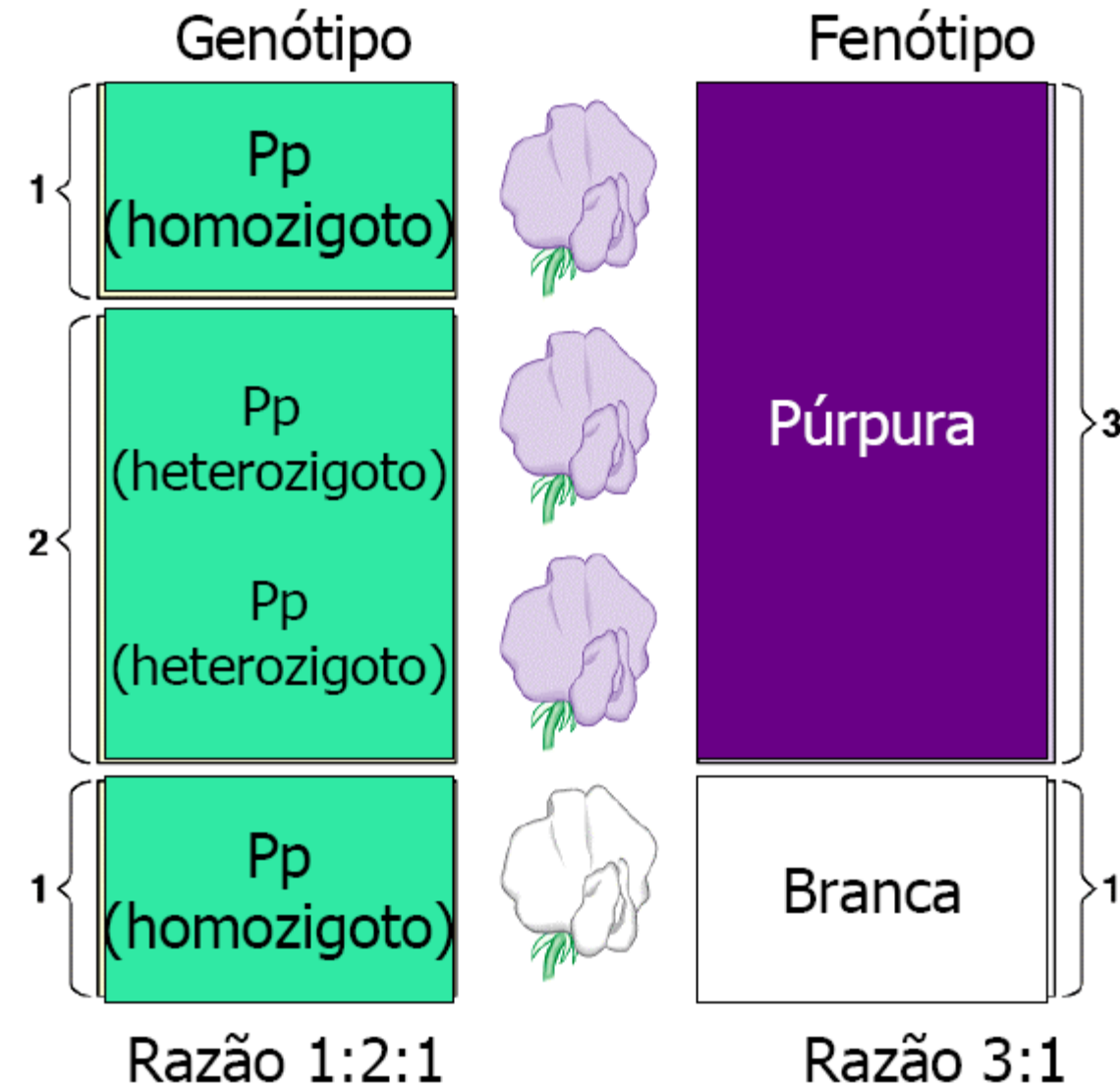
	R	r
R	RR	Rr
r	Rr	rr



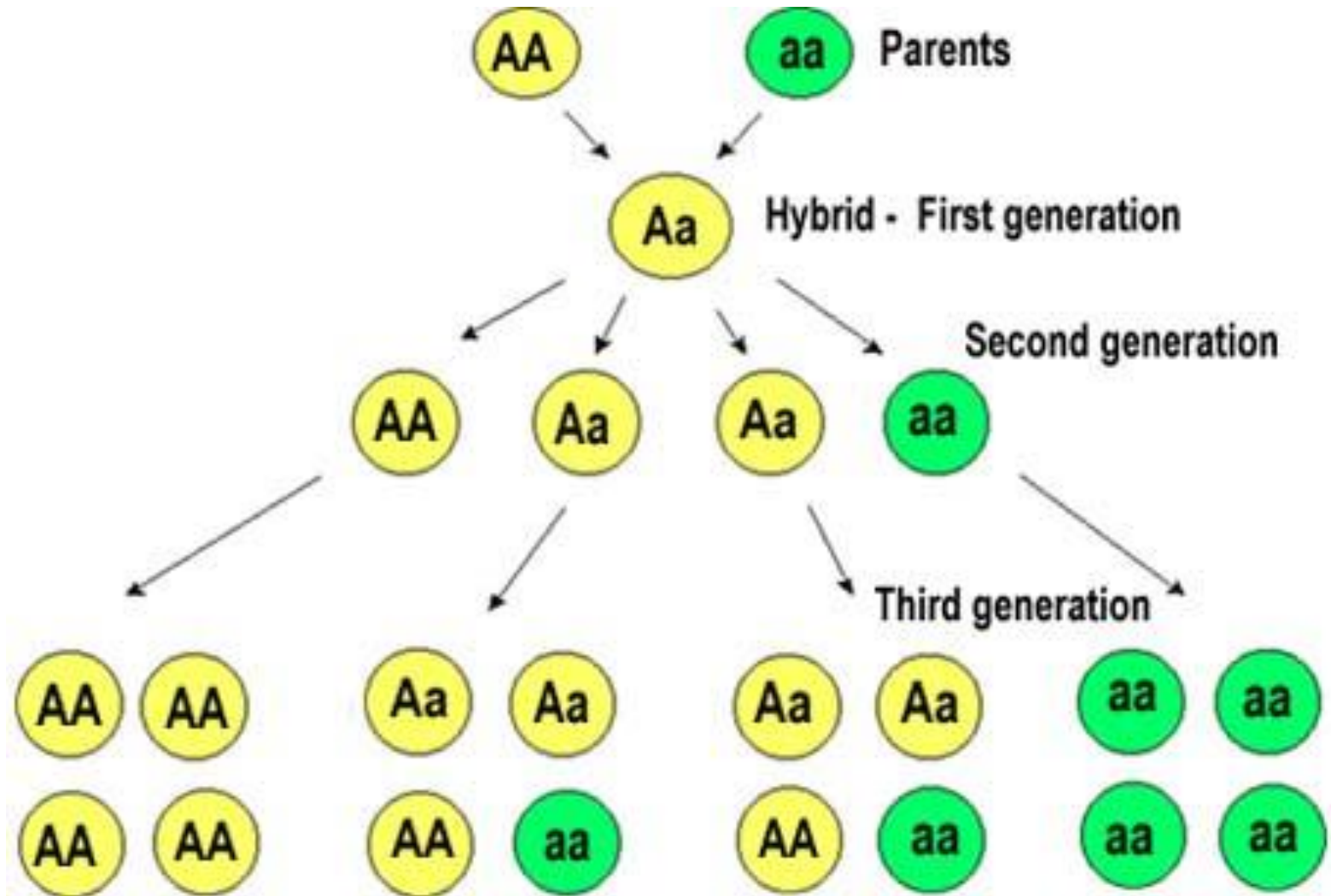
©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.



# Mendel



# Mendel

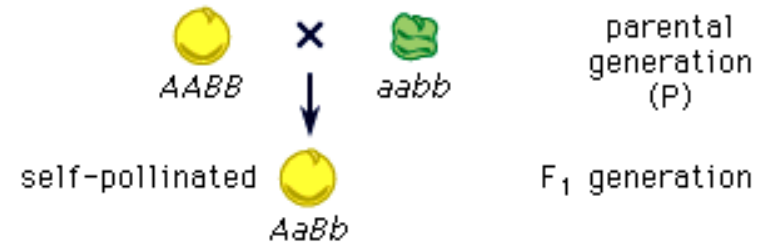


# Mendel

- 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?

# Mendel

- 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



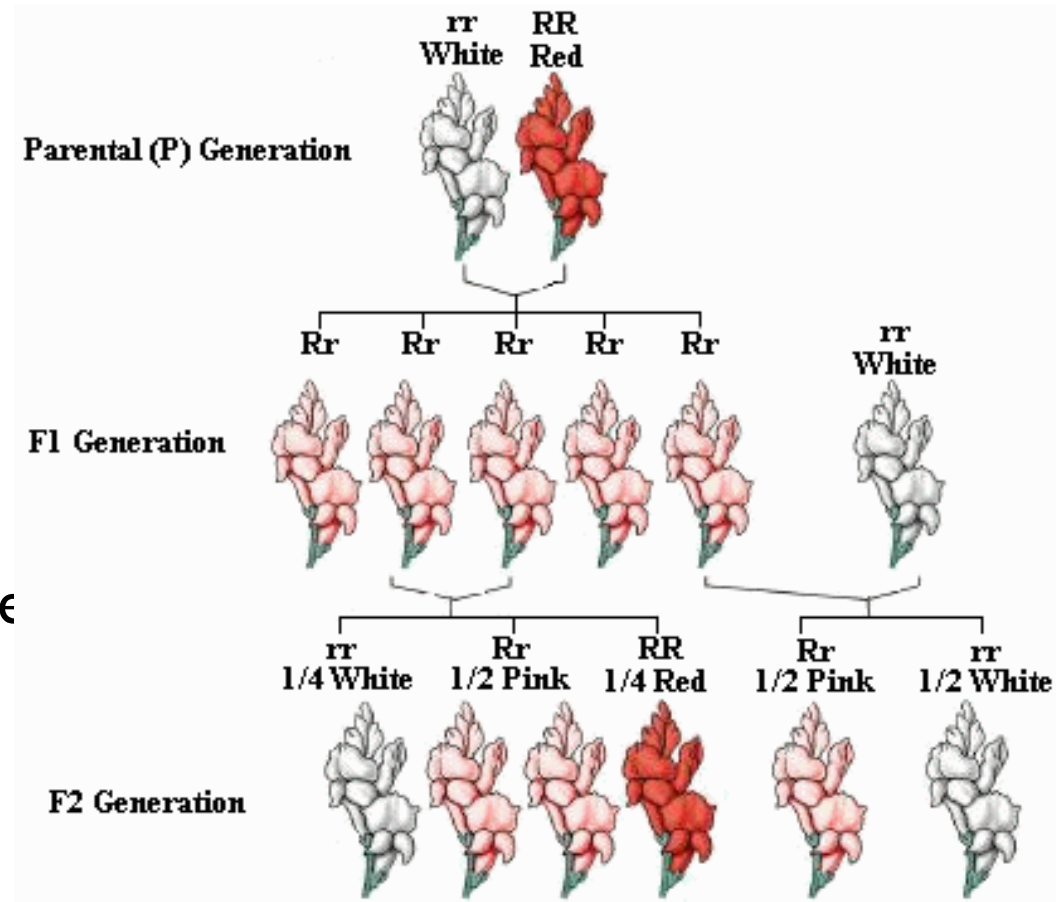
		pollen			
		AB	Ab	aB	ab
ovules	AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
	Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
	aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
	ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

F<sub>2</sub> generation

© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

# Mendel

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



# Mendel

- 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 visto 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

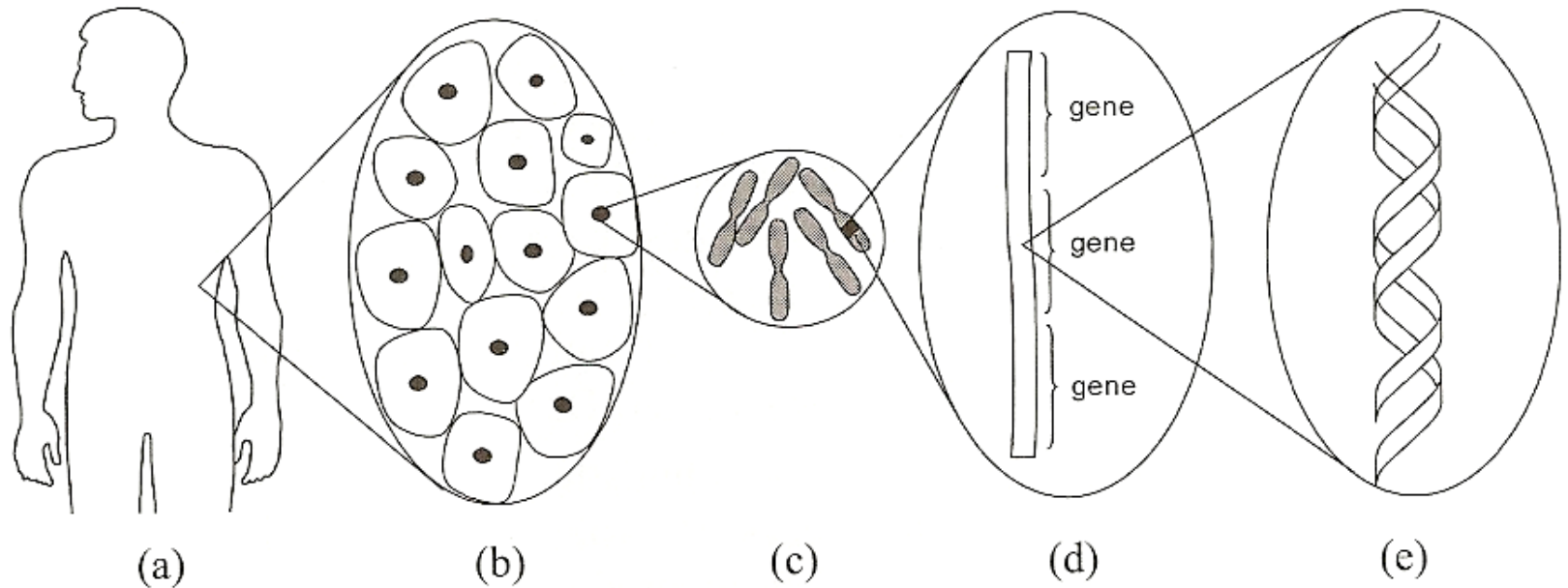
- A elemento estrutural básico de todos os organismos é a *célula*
  - Eucariotos
    - material genético localizado no núcleo da célula (estrutura dentro da célula cercada por uma membrana nuclear)
  - Procariotos:
    - Não tem a membrana nuclear cercando seu material genético



# DNA

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

# DNA

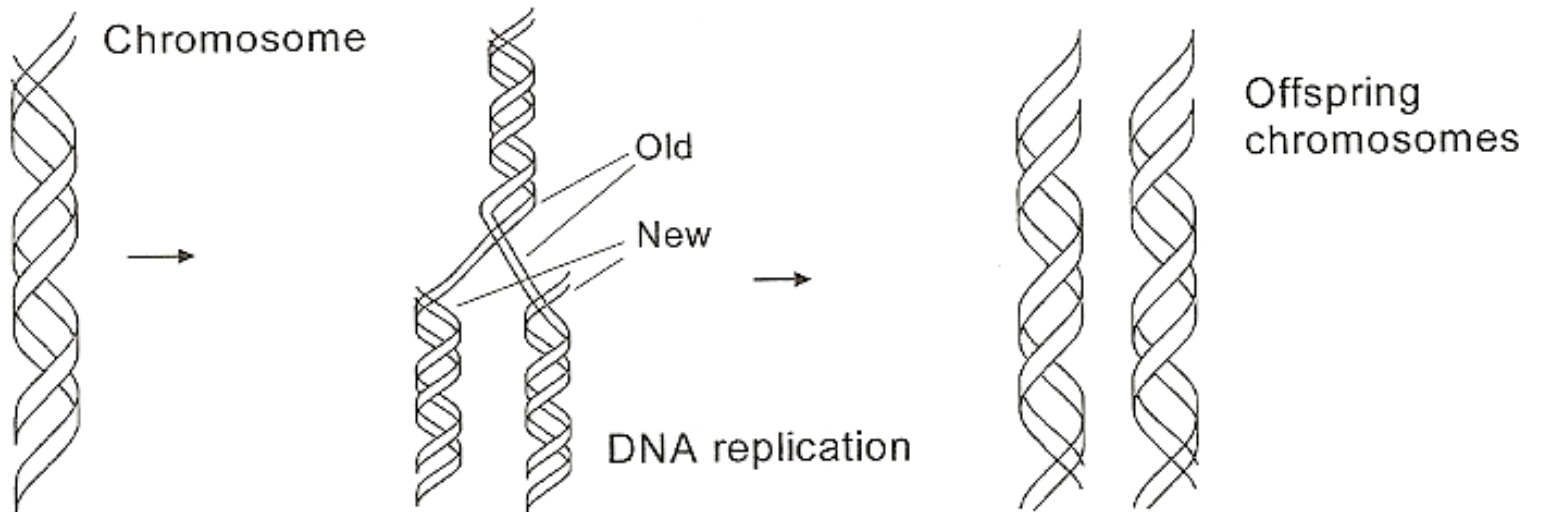


**Figure 3.5:** Enlargement of an organism to focus the genetic material. (a) Human organism. (b) Cells composing the organism. (c) Each cell nucleus contains chromosomes. (d) Each chromosome is composed of a long DNA segment, and the genes are the functional portions of DNA. (e) The double helix of DNA. (Modified with permission from [Griffiths et al., 1996], © W. H. Freeman and Company.)

# DNA

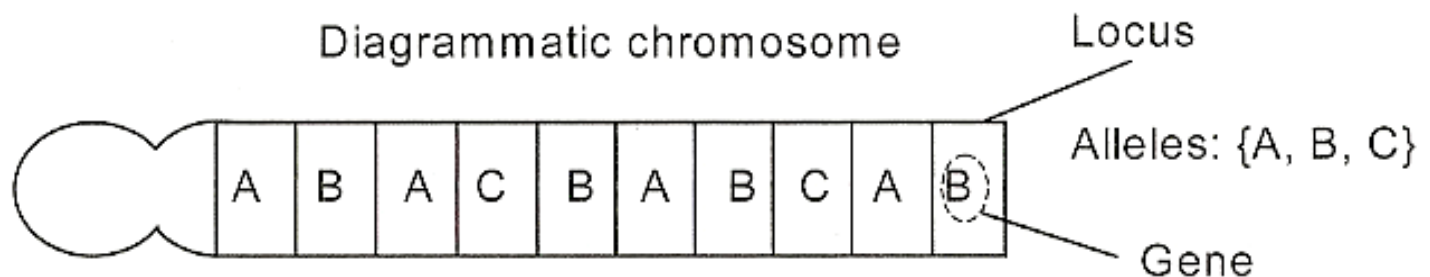
- É a base para todos os processos e estruturas de vida
- Molécula DNA em duas das propriedades da vida mais fundamentais:
  - Reprodução
  - Desenvolvimento
- O DNA é uma estrutura de hélice dupla capaz de se replicar antes da multiplicação da célula
- Cromossomos se duplicam *cromatídeos*
  - Que eventualmente 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 determina traços ou características é chamado *alelo*
  - O local específico onde um gene está localizado dentro do cromossomo é chamado *locus*.



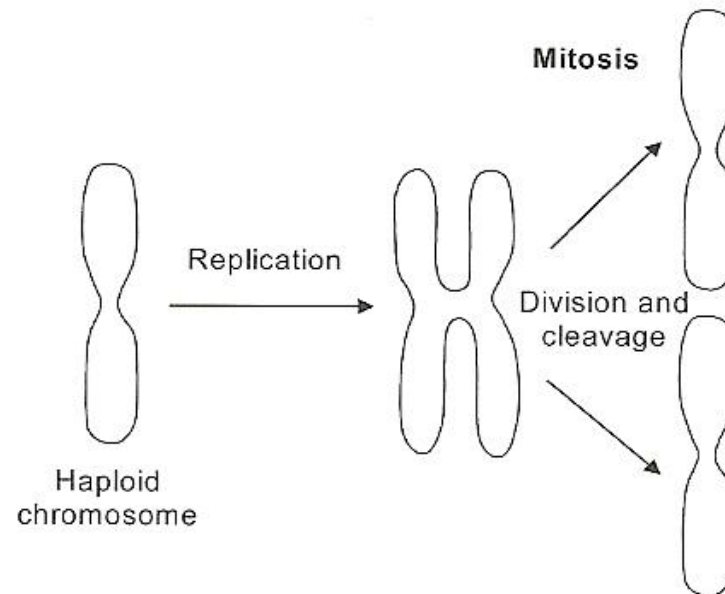
# Genética

- 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 um célula diplóide chamada *zigoto*, na qual acontece o desenvolvimento embrionário
  - Cada gameta tem apenas um conjunto de cromossomos e são chamados *haplóides*.

# Genética

- 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

# Genética



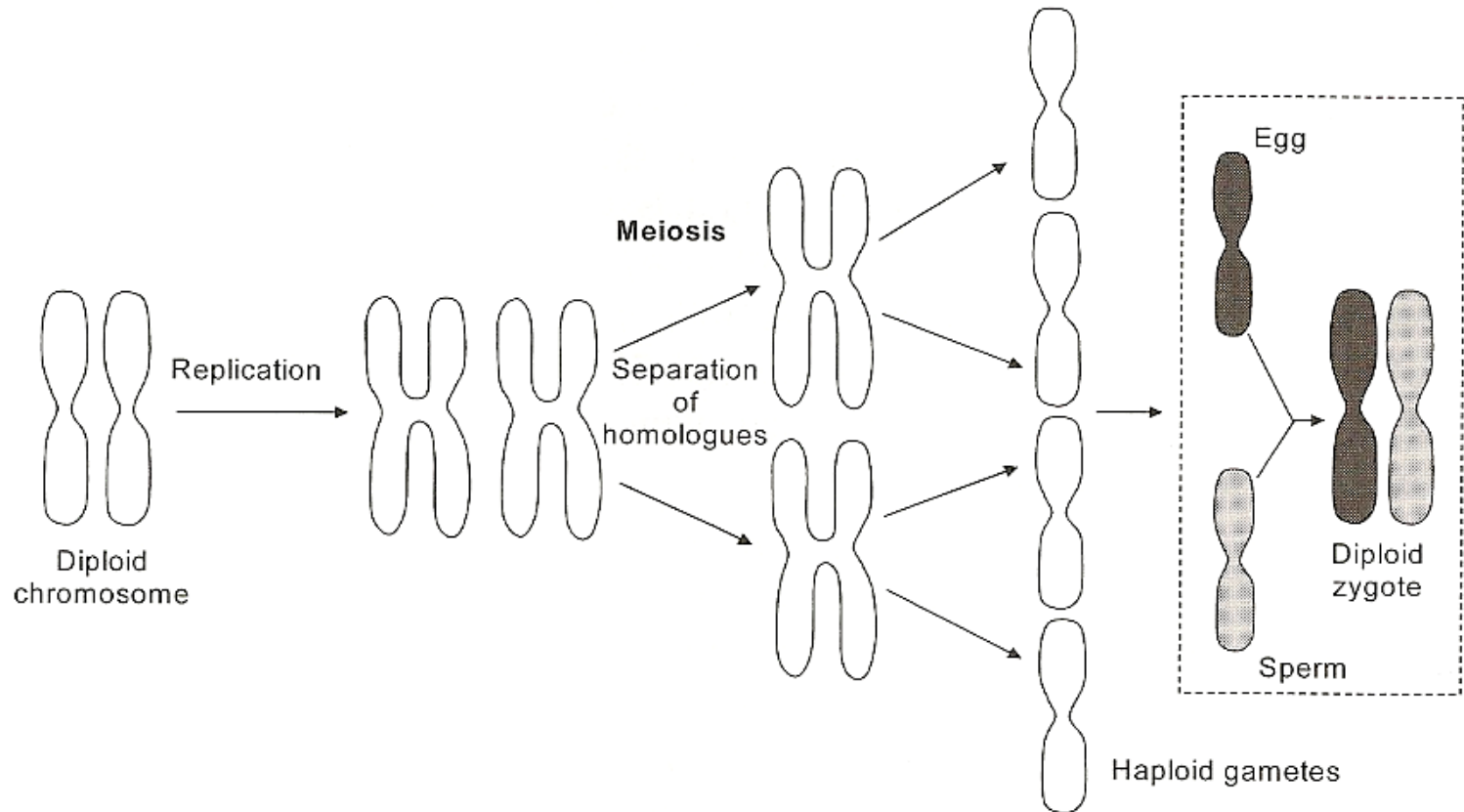
**Figure 3.8:** Asexual reproduction in haploids. The chromosome replicates itself, the cell nucleus is divided through a process named mitosis, and then the cell is divided into two identical progeny.



# Genética

- Reprodução sexuada
  - Fusão de dois *gametas haplóides* para produzir uma única célula *zigoto diplóide*
  - Envolve *recombinação genética*
    - Gera combinações genéticas no filho que são distintas da 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)

# Genética



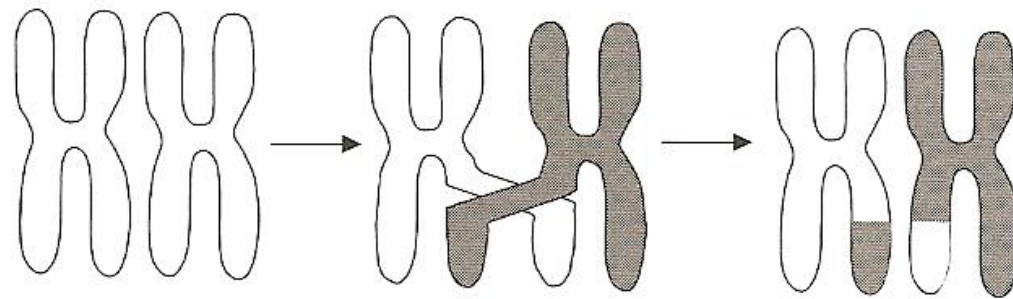
**Figure 3.9:** Sexual reproduction. A diploid chromosome replicates itself, then the homologues are separated generating haploid gametes. The gametes from each parent are fused to generate a diploid zygote.

# Genética

- Cross-over

- Mecanismo que pode dar origem a *recombinação genética*

- Processo no qual pais com diferentes características genéticas dão origem a um descendente em que os genes estão associados em novas combinações



**Figure 3.10:** Crossing over between two loci in a cell undergoing the first meiotic division. Of the four chromatids, two will have new combinations and two will retain the parental combination of alleles.

# 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

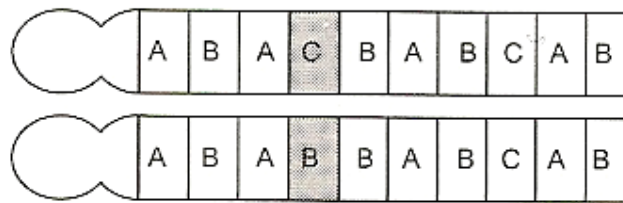
# Genética

- 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

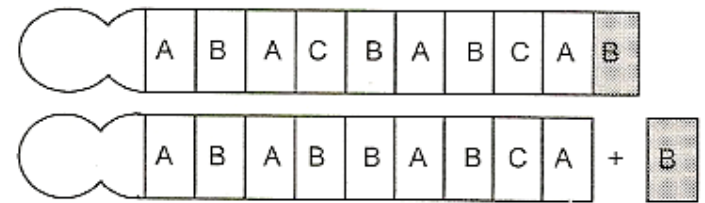
# Genética

- **Mutação**

- Podem ocorrer espontaneamente ou serem induzidas por química ou radiação
- Exemplos de mutação:

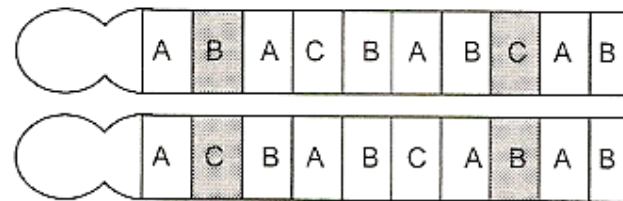


Point mutation



Deletion

lost



Inversion

# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

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

# 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 freqüentemente na população (Seleção)

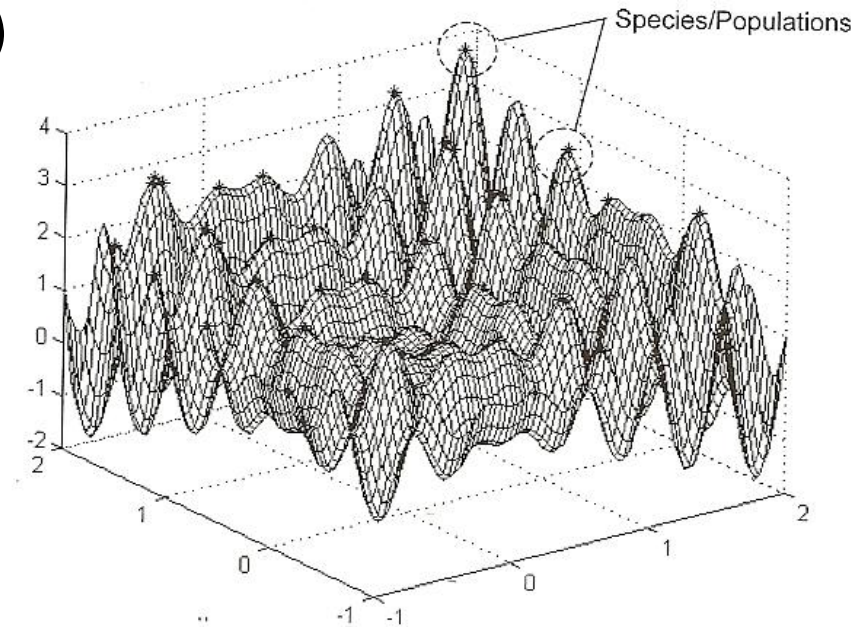


# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- 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

# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- 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?

# Evolução como resultado de Variação Genética mais Seleção

- Outros mecanismos de evolução
  - *Genetic Drift*
    - Flutuações que ocorrem ao acaso na frequência de alelos
  - *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
- 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

# 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

- Mariposa

- Inicialmente a grande maioria era clara
  - 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)

# Questão

- 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.

# Referências Bibliográficas

- CASTRO, Leandro Nunes. *Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, And Applications.* CRC Press, 2006.
- HAYKIN, CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. *Notas de Aula,* 2007.
- Simon. *Redes Neurais: Princípio e Prática.* Bookman, 2001.
- KOVACS, Zsolt L. *Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações.* Livraria da Física, 2006.

