

2017



REMIendel

The title 'REMIendel' is rendered in a purple, 3D-style font. The letters 'R', 'E', and 'M' are in a bold, blocky font, while 'Iendel' is in a cursive script. The letter 'I' is replaced by a green pea plant stem with a white flower. The letter 'e' is replaced by a green pea pod. The letter 'l' is replaced by a single green pea. The background of the title area is white, with a light blue border featuring a repeating pattern of white leaves and circles.

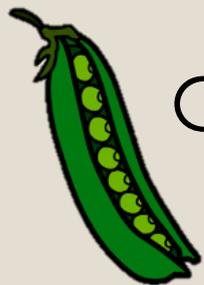
Genética de Populações – Prof.ª Daniela Fiori Gradia
Laboratório de Citogenética Humana e Oncogenética

O que é Genética de populações?

- *É o estudo da origem e da dinâmica da variação genética nas populações*
(estrutura genética)

A **população** é formada por um grupo de indivíduos pertencentes a uma mesma espécie biológica.

Em genética de populações a palavra população se refere a um grupo de organismos de uma mesma espécie que vive em uma determinada área geográfica suficientemente restrita para que qualquer membro possa se acasalar com qualquer outro do sexo oposto.



Genética mendeliana X Genética de populações

- A transmissão da informação genética está sujeita às leis da probabilidade.
- Probabilidade de transmissão de um determinado alelo de uma geração para a outra.

- Probabilidade de transmissão dos alelos entre as gerações uma população.
- Composição genética de uma população e sua mudança ao longo do tempo.



Uma população compartilha um conjunto comum de genes (***genetic pool***) podendo ser diferente de uma outra população da mesma espécie



A variação genética de uma população aumenta as chances de que alguns indivíduos sobrevivam.

A variação genética leva à variação fenotípica

A variação fenotípica é necessária para a seleção natural



A variação genética é armazenada no conjunto gênico de uma população.

Constituída de todos os alelos de uma população

Combinações alélicas são geradas quando os organismos têm descendentes

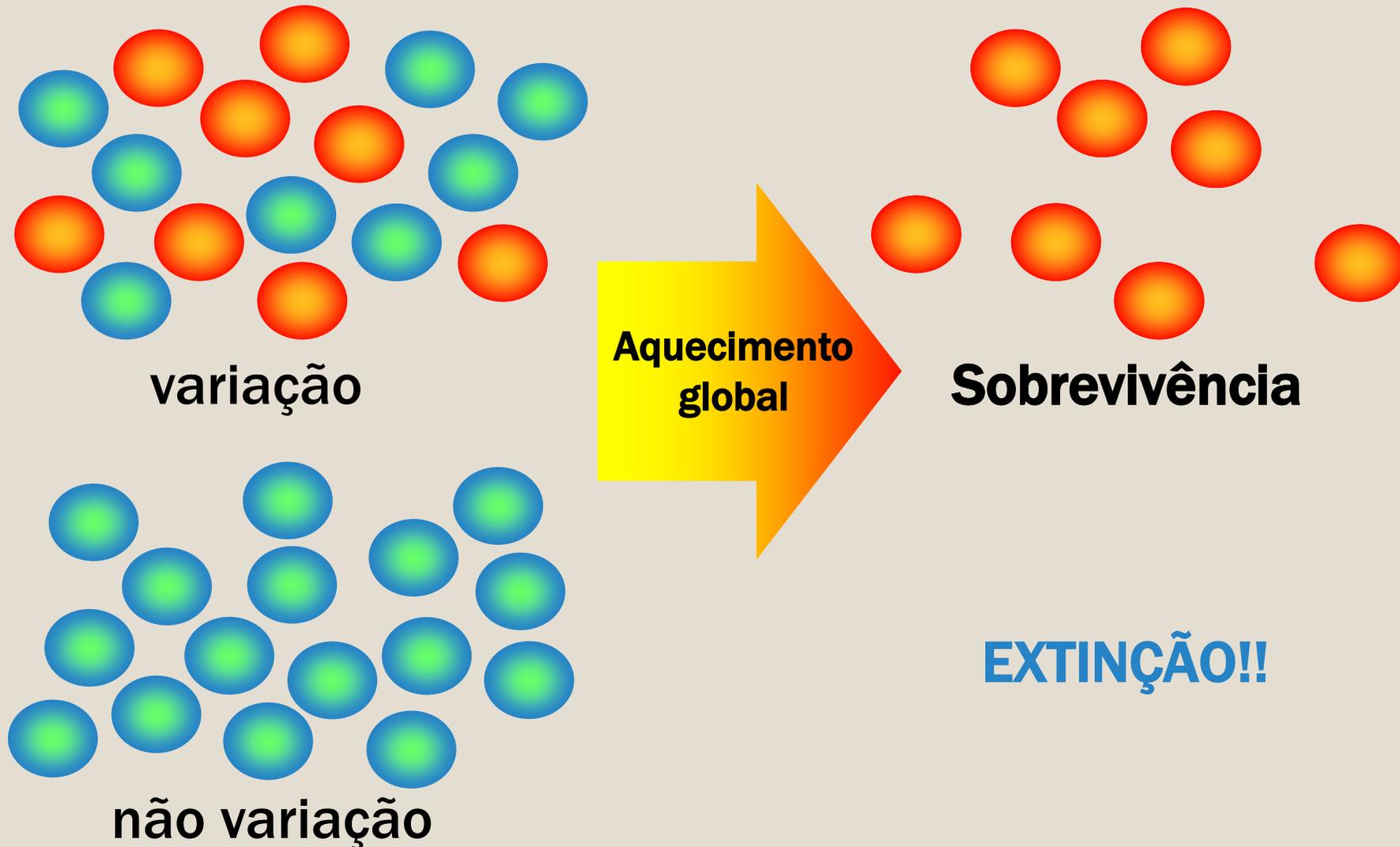


Por que a variação genética é importante?



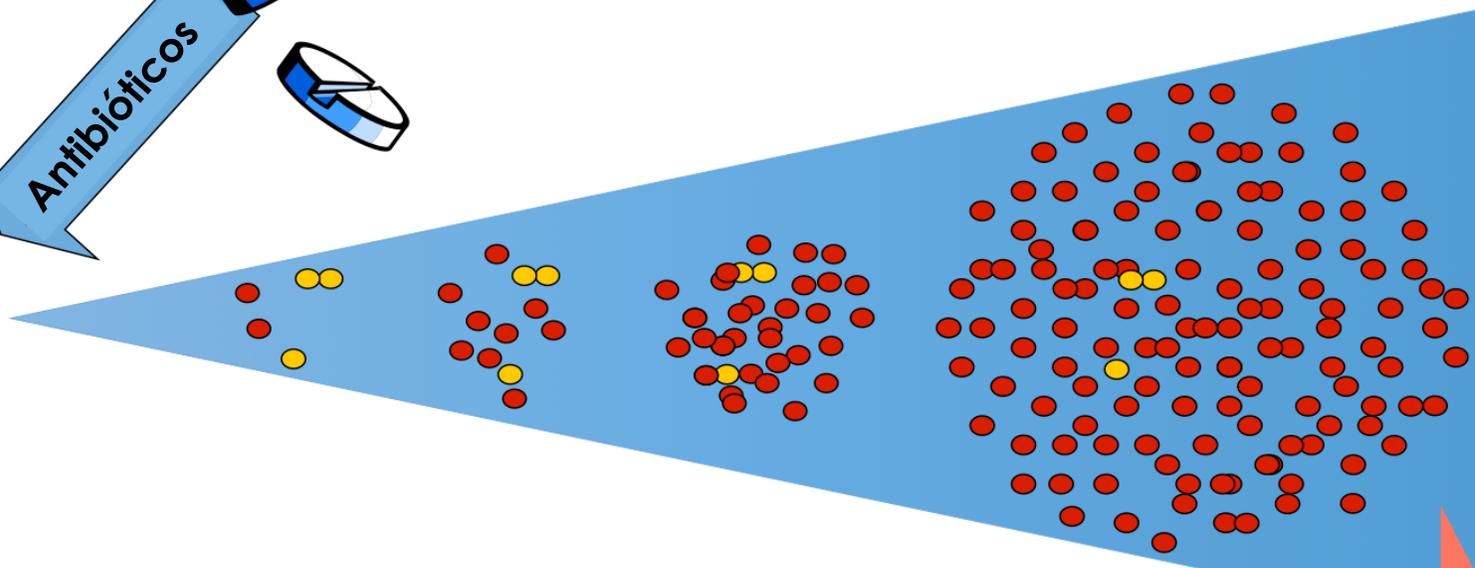
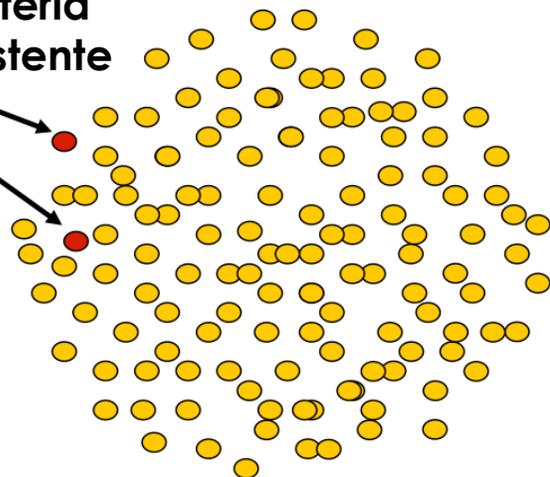
A variabilidade genética de uma população é muito importante para a sua conservação.

Porquê a variação genética é importante?



Seleção Natural

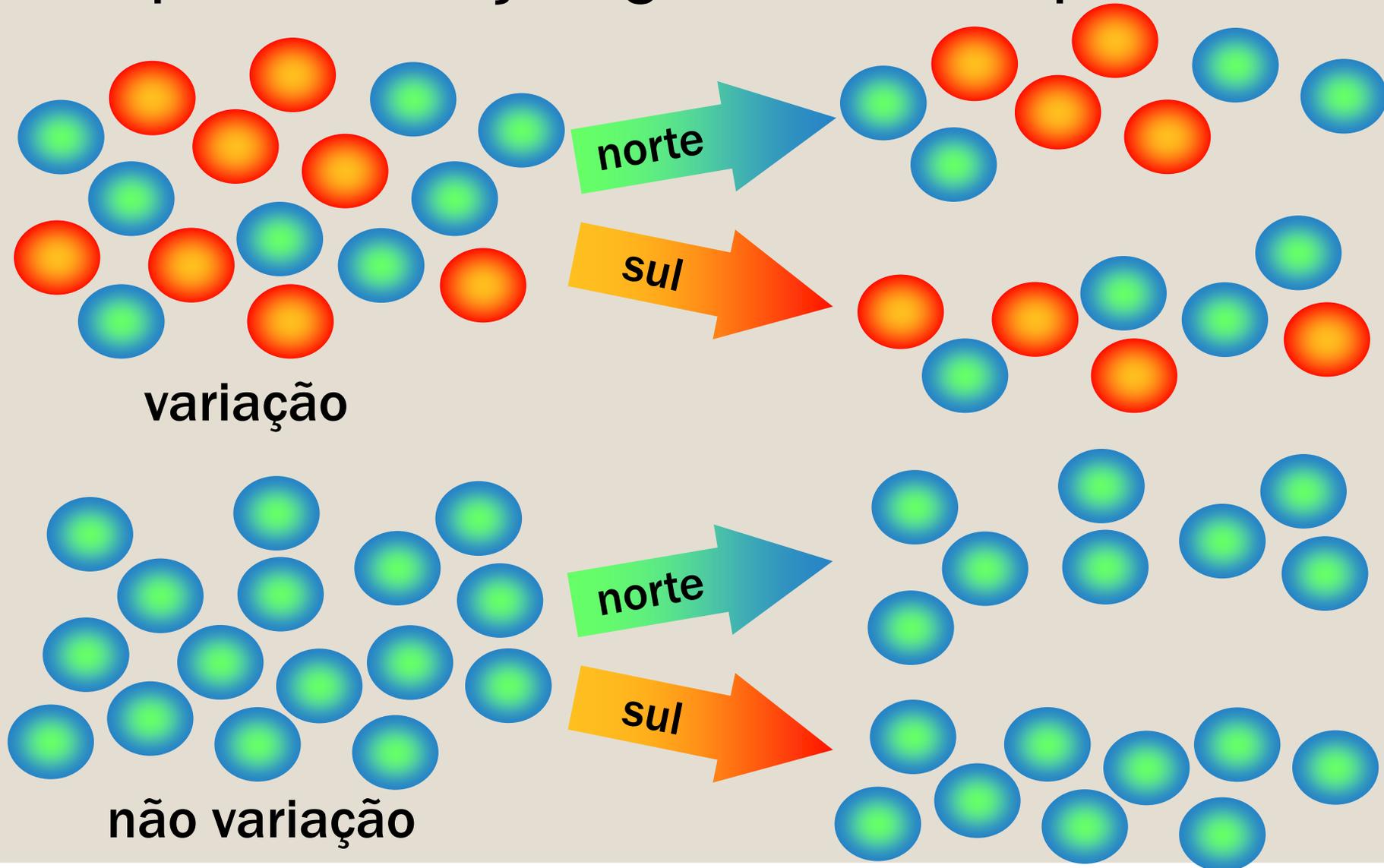
Bactéria resistente



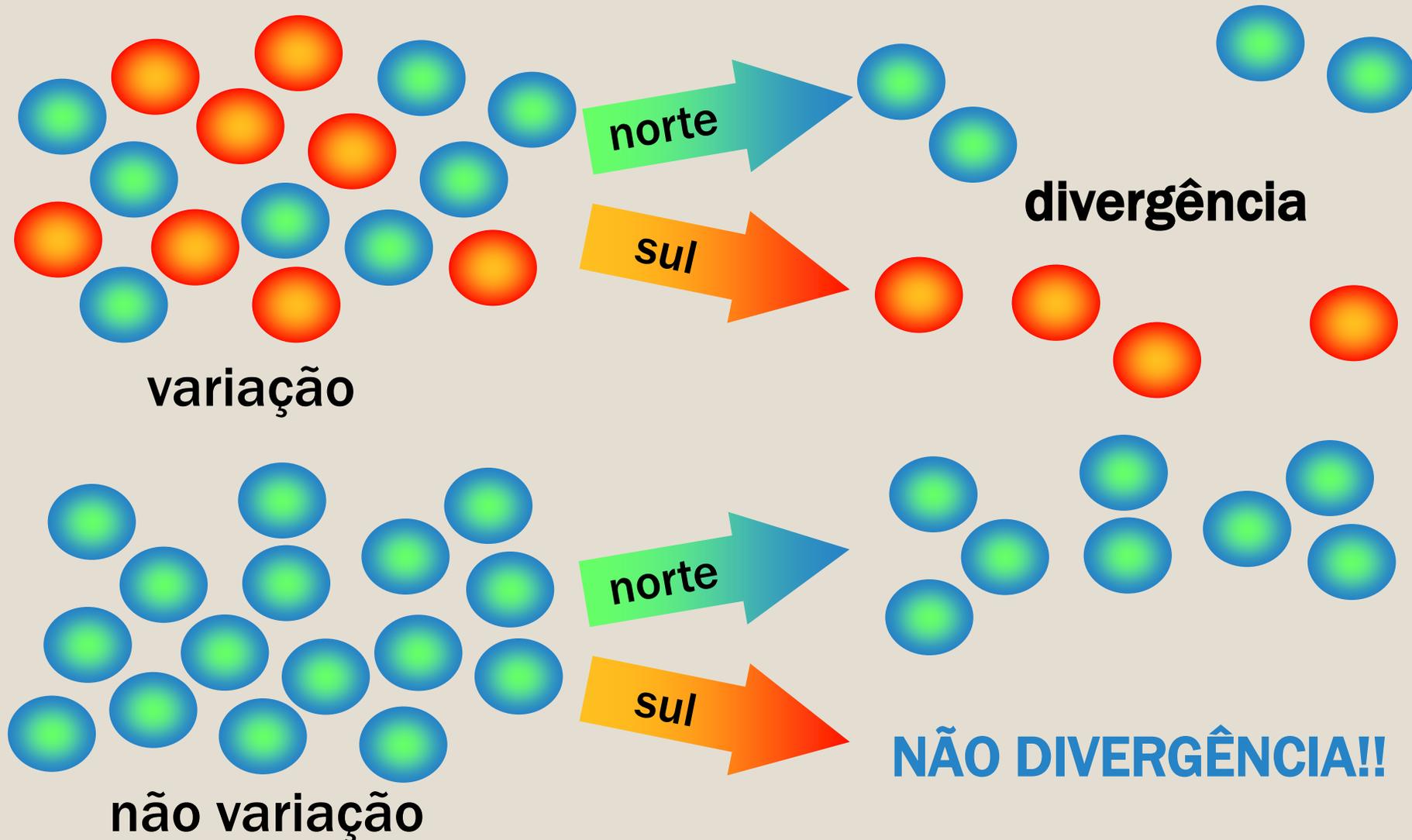
População de bactérias majoritariamente suscetível

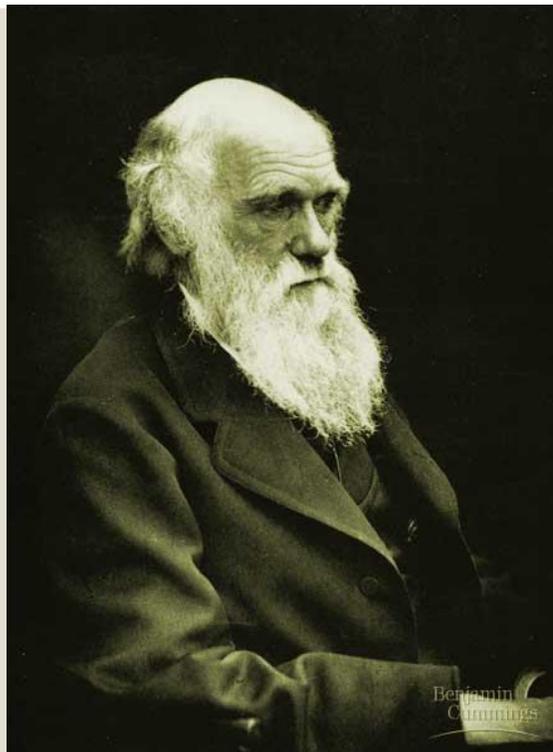
População de bactérias majoritariamente resistente

Porquê a variação genética é importante?



Porquê a variação genética é importante?





Charles Darwin

Espécies de tentilhões das Ilhas Galápagos

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



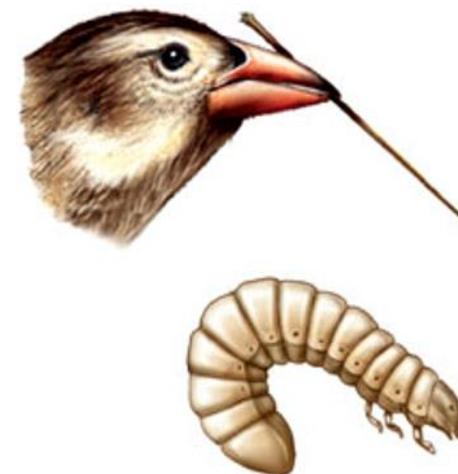
Grande tentilhão terrestre
(sementes)



Tentilhão de cactos
(frutos e flores de cactos)



Tentilhão vegetariano
(brotos de vegetais)



Tentilhão pica pau
(insetos)

Como a estrutura genética muda?



Existem três fontes primárias de variação genética

- 1. Mutações:** são alterações no DNA. Uma única mutação pode ter um amplo efeito, mas em muitos casos, alteração evolutiva é baseada no acúmulo de mutações.
- 2. Fluxo Gênico:** é qualquer movimento de genes de uma população para outra e é uma importante fonte de variação genética.
- 3. Sexo:** pode introduzir novas combinações de genes em uma população. Recombinação

A alteração da frequência gênica ou genotípica de uma população ao longo de gerações é denominada **evolução**



Relevância da Genética de Populações

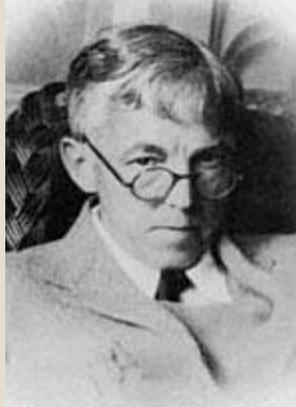
- Organização de programas de cruzamentos para a **conservação de espécies** ameaçadas em zoológicos e refúgios de vida silvestre
- Melhoria no **desempenho** de animais domésticos e plantas cultivados
- **Amostragem e preservação** de germoplasma de plantas e animais em risco de extinção
- **Aconselhamento genético** e pais e outros parentes de pacientes com doenças hereditárias

Relevância da Genética de Populações

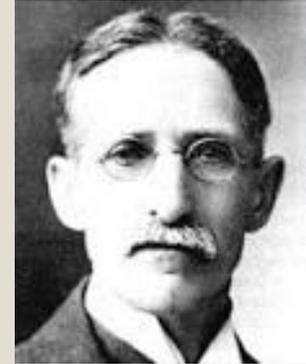
- **Mapeamento genético** e identificação de genes de suscetibilidade à doenças
- Interpretação estatística do significado da correspondência entre tipos de DNA encontrados em um suspeito e na cena de um **crime**
- Análise de genes e genomas entre espécies para determinar suas **relações evolutivas**

O Equilíbrio de Hardy-Weinberg-Castle

Godfrey Hardy
Matemático



William Castle
Geneticista



Wilhelm Weinberg
Médico



Propuseram de modo independente, uma teoria matemática que descreve em detalhes as condições que devem ser atendidas para que a evolução não ocorra.

Teorema de Hardy-Weinberg (1908)

- *Todo indivíduo corresponde à metade do número total de genes que possui cada genitor.*
- *Cada geração representa uma amostra retirada da geração anterior.*

*Se essa amostra for **muito grande**, com cruzamentos aleatórios e não ocorrerem **perturbações**, as composições genéticas nas gerações seguintes serão semelhantes.*

Teorema de Hardy-Weinberg (1908)

Em populações infinitamente grandes, com cruzamentos ao acaso (panmíticas), que não estiverem sofrendo influência dos fatores evolutivos (mutações, seleção natural, migrações, etc...), não haverá alteração do *pool* gênico, isto é, as frequências gênicas e genotípicas se manterão constantes.

As condições para que uma população mantenha o equilíbrio

HW (premissas do teorema) são:

1. O organismo em estudo deve ser diploide.
2. A reprodução deve ser sexuada.
3. Não pode haver sobreposição de gerações.
4. As frequências dos alelos devem ser idênticas em machos e fêmeas.
5. Os acasalamentos devem ocorrer ao acaso.
6. A população deve ser muito grande (infinita).
7. Migração e mutação devem ser ignoráveis.
8. A seleção natural não deve afetar os alelos em estudo.



O Teorema de Hardy-Weinberg

- Numa população em equilíbrio, para uma determinada característica existem dois alelos, o dominante (A) e o recessivo (a).
- A soma das frequências dos dois alelos (frequência gênica) na população é 100%.

$$f_{(A)} + f_{(a)} = 100\%$$

- Sendo, $f_{(A)} = p$ e $f_{(a)} = q$, então:

$$p + q = 1$$

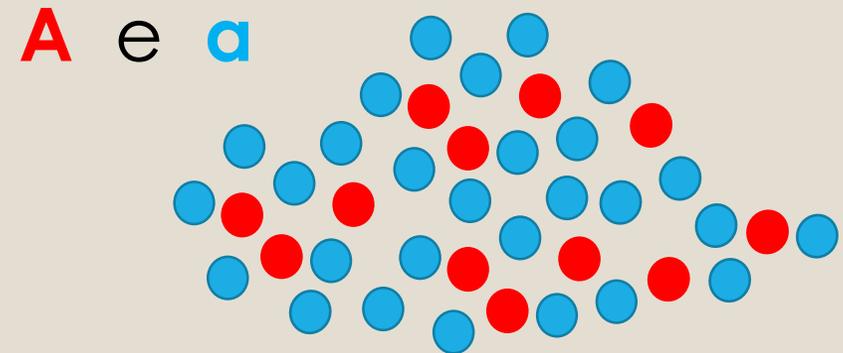
Medindo a variação genética populacional.

Uma população local que mantém cruzamento interno aleatório é dita em situação mendeliana.

A medida da variação genética é dada pela contagem de **cada alelo** nos indivíduos, resultando na frequência dos alelos desta população.

A soma das frequências alélicas num *locus* é = 1 (100%). Cada alelo terá a sua frequência entre 0 e 1 (0 e 100%).

$$f(A) = \frac{\text{número de cópias de um alelo na população}}{\text{soma de todos os alelos da população}}$$



$$f(\mathbf{A}) = \frac{\mathbf{12}}{\mathbf{40}}$$

$$f(\mathbf{A}) = \mathbf{0,3} \text{ ou } \mathbf{30\%}$$

Medindo a variação genética populacional.

Por exemplo, se **A** e **a** são os dois alelos em questão, as combinações possíveis serão: AA, Aa, e aa.

As frequências relativas numa população de N indivíduos serão calculadas a partir de:

N_{AA} ; N_{Aa} ; N_{aa} , ou seja, o número de indivíduos homozigotos dominantes, heterozigotos e homozigotos recessivos.

$$N_{AA} + N_{Aa} + N_{aa} = N$$

N é o n° total de indivíduos na população e o número total de cópias dos dois alelos é = 2N, porque cada indivíduo é **diplóide**, tem dois alelos.

Medindo a variação genética populacional.

- O n° total de alelos **A** na população é = $2N_{AA} + N_{Aa}$.
- O n° total de alelos **a** na população é = $2N_{aa} + N_{Aa}$.
- Por convenção chamaremos o alelo **A** de **p** e o alelo **a** de **q**

$$p = \frac{2N_{AA} + N_{Aa}}{2N}$$

$$q = \frac{2N_{aa} + N_{Aa}}{2N}$$

Sendo os alelos **A** e **a** os únicos existentes na população temos que:

$$p + q = 1$$

$$q = 1 - p$$

Na mesma população existem 3 genótipos possíveis: *homozigoto dominante* (AA), *heterozigoto* (Aa) e *homozigoto recessivo* (aa).

	A (p) ●	a (q) ●
A (p) ●	AA (p^2) ●●	Aa (pq) ●●
a (q) ●	Aa (pq) ●●	aa (q^2) ●●

$$AA + 2Aa + aa = 1 \text{ (100\%)}$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1 \text{ (100\%)}$$

$$(p + q)^2 = 1$$

p = frequência do alelo dominante;

q = frequência do alelo recessivo;

$$\overset{\bullet}{p} + \overset{\bullet}{q} = 1$$

p^2 = frequência do homocigoto dominante;

q^2 = frequência do homocigoto recessivo;

$2pq$ = frequência do heterocigoto.

$$\overset{\bullet\bullet}{p^2} + \overset{\bullet\bullet}{2pq} + \overset{\bullet\bullet}{q^2} = 1$$

Medindo a variação genética populacional.

- Por exemplo, calcular as frequências **alélicas** em duas populações de 200 indivíduos diplóides.

$$A = p \text{ e } a = q$$

- **POP1** 90 AA; 40 Aa; 70 aa;
- **POP2** 45 AA, 130 Aa; 25 aa.

$$p = \frac{2N_{AA} + N_{Aa}}{2N}$$

$$q = \frac{2N_{aa} + N_{Aa}}{2N}$$

Calcular:

POP1 $p = (2 \times 90 + 40) / 2 \times 200$ $p = 0,55$

$q = (2 \times 70 + 40) / 2 \times 200$ $q = 0,45$

POP2 $p = (2 \times 45 + 130) / 2 \times 200$ $p = 0,55$

$q = (2 \times 25 + 130) / 2 \times 200$ $q = 0,45$

Na população 1, predominam indivíduos homocigotos, mas na população 2 predominam indivíduos heterocigotos.

Medindo a variação genética populacional

- A frequência genotípica é calculada pela proporção entre o número de indivíduos que tem um determinado genótipo pelo n° total de indivíduos na população.
- Calcular as frequências genotípicas nestas duas populações

POP1 90 AA; 40 Aa; 70 aa;

$$AA (p^2) = 90/200 = 0,45$$

$$Aa (2pq) = 40/200 = 0,2$$

$$aa (q^2) = 70/200 = 0,35$$

POP2 45 AA, 130 Aa; 25 aa.

$$AA (p^2) = 45/200 = 0,225$$

$$Aa (2pq) = 130/200 = 0,65$$

$$aa (q^2) = 25/200 = 0,125$$

Lembrando que $p^2 + 2pq + q^2 = 1$ (100%)

Medindo a variação genética populacional.

- As duas frequências, alélica e genotípica descrevem a estrutura genética de uma população.
- Pode-se esperar variações nesta estrutura?
- Vamos ver que em equilíbrio, a estrutura genética de uma população se mantém.

Quando a população está em Equilíbrio?

Quando as frequências alélicas e genotípicas permanecem constantes ao longo das gerações



Dado o fato de uma população dificilmente respeitar todos os requisitos enumerados para o estabelecimento do equilíbrio de Hardy e Weinberg, qual a utilidade deste teorema?

A importância do **Teorema de Hardy-Weinberg** para as populações naturais está no fato de ele estabelecer um **modelo** para o comportamento dos genes.

Assim, é possível estimar frequências gênicas e frequências genotípicas ao longo das gerações e compará-las com as obtidas na prática.

Se os valores observados forem significativamente diferentes dos valores esperados, pode-se concluir que fatores evolutivos estão atuando sobre essa população e que ela está evoluindo.

Se os valores não diferirem significativamente, pode-se concluir que a população está em equilíbrio e, portanto, não está evoluindo.

Observado \neq Esperado \rightarrow Evolução 

Observado $=$ Esperado \rightarrow Evolução 

Exercícios:

1. Tomemos um exemplo numérico, considerando uma amostra de 100 indivíduos dos quais 30 têm genótipo AA, 50 genótipo Aa e 20 genótipo aa. Calcule a frequência alélica dessa população.

2. Em uma população em equilíbrio, constituída por 1000 indivíduos, 160 apresentam uma anomalia hereditária causada por um gene recessivo autossômico. Espera-se que sejam portadores desse gene recessivo, entre os indivíduos normais, o total de:

a) 480 b) 240 c) 160 d) 560 e) 840

3. Numa população em equilíbrio, 9% dos indivíduos apresentam uma característica autossômica recessiva. Qual o percentual da população que possui a condição heterozigótica?

a) 7% b) 19% c) 42% d) 81% e) 91%

1 - $p(A) = 0.55$ $q(a) = 0.45$

2 - A

3 - C



**KEEP
CALM
QUE
TÁ NA HORA DO
INTERVALO**

As condições para que uma população mantenha o equilíbrio

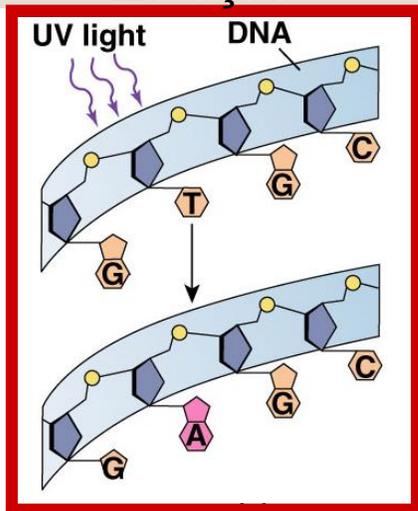
HW (premissas do teorema) são:

1. O organismo em estudo deve ser diploide.
2. A reprodução deve ser sexuada.
3. Não pode haver sobreposição de gerações.
4. As frequências dos alelos devem ser idênticas em machos e fêmeas.
5. Os **acasalamentos** devem ocorrer ao **acaso**.
6. A população deve ser muito **grande** (infinita).
7. **Migração** e **mutação** devem ser ignoráveis.
8. A **seleção natural** não deve afetar os alelos em estudo.

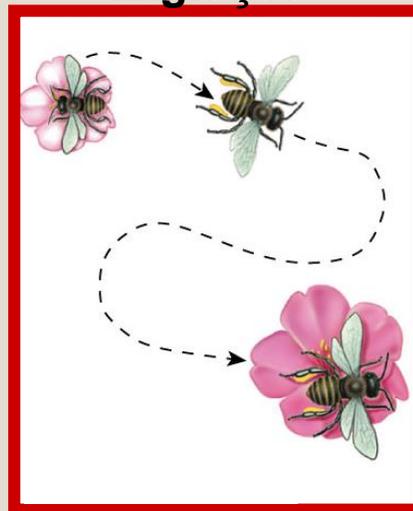


Agentes de mudanças evolucionárias

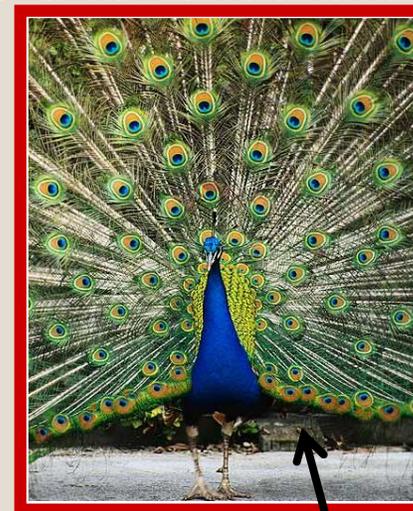
Mutação



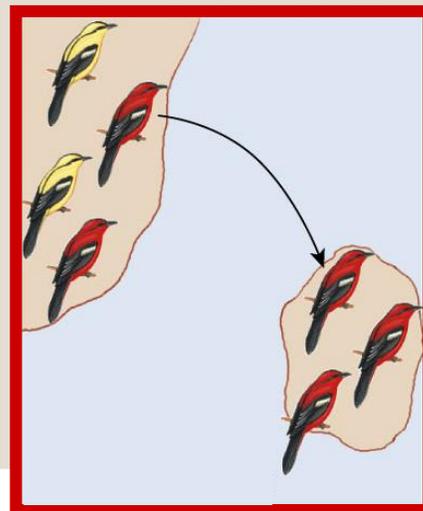
Migração



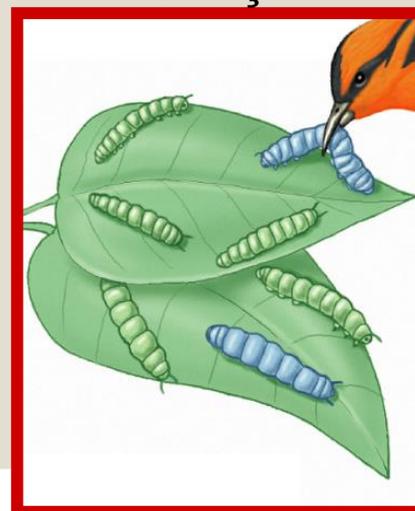
Cruzamento não-aleatório



Deriva Genética



Seleção



Apenas
freq.
genotípicas

1- Migração

Cardume 1 – 30m



Cardume 2 – 80m



É raro que as subpopulações sejam completamente isoladas. O processo de migração refere-se ao movimento de alguns organismos (ou de seus gametas) entre as subpopulações. O principal resultado é a ocorrência de **FLUXO GÊNICO**



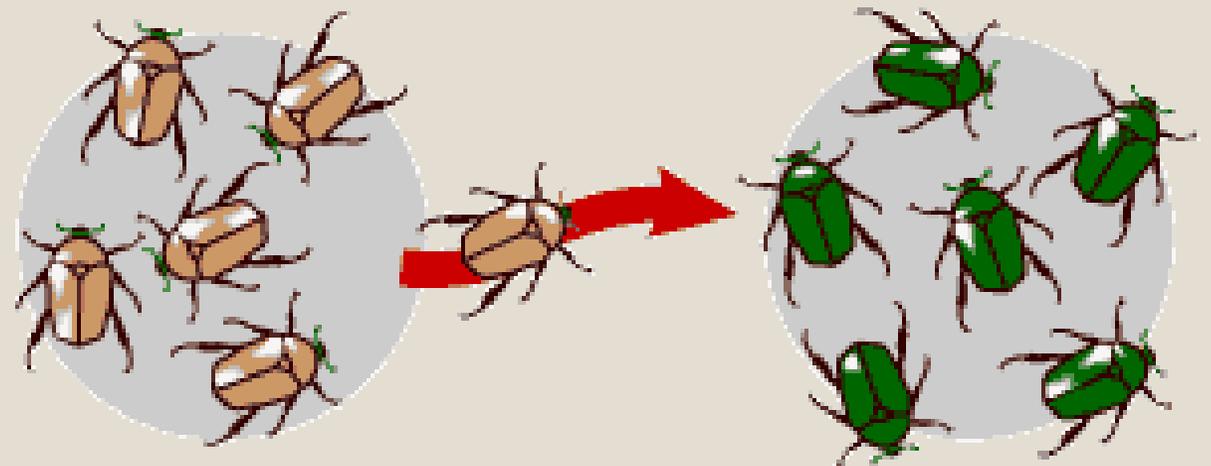
Migração

- ✓ Influxo de genes de outras populações;
- ✓ Pode causar mudanças: frequências alélicas/genotípicas;
- ✓ **Efeitos gerais:**
 - ✓ Impedimento de divergência genética *entre* populações;
 - ✓ Aumento da variação genética *dentro* das populações;



Migração

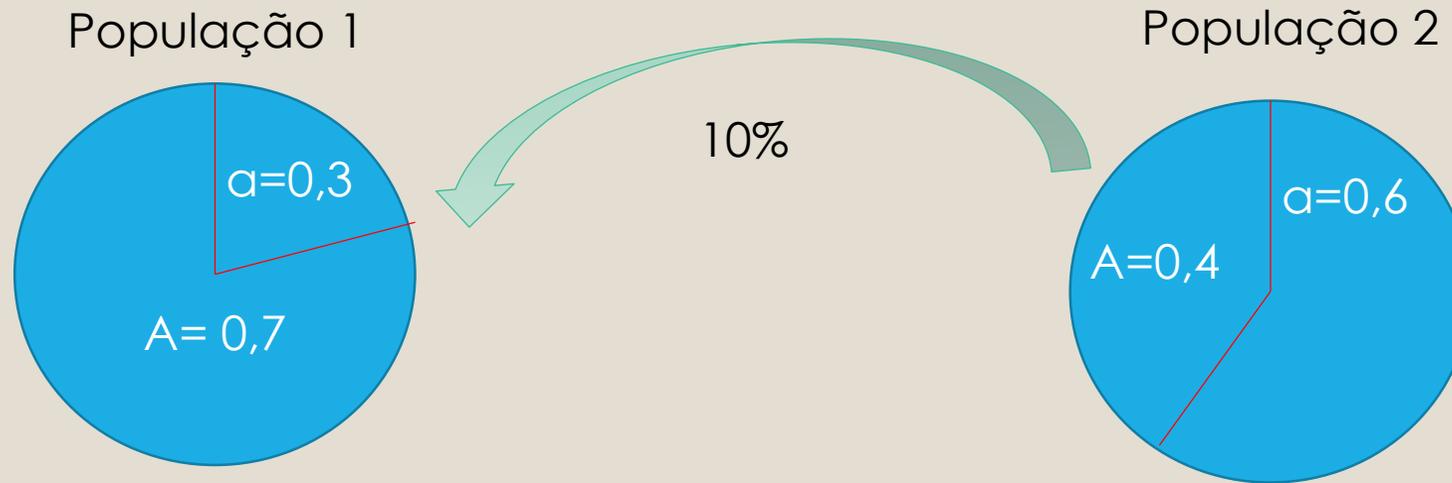
- O fluxo gênico tende a homogeneizar populações separadas que compartilharão mais variações, retardando o processo de **especiação**.
- Introduz genes novos ou aumenta a frequência do gene antes presente.
- Efeito no equilíbrio



Caso Hipotético

- Governo de país X não apresenta recursos disponíveis para tratamento da talassemia beta, porém, o país Z viabiliza uma campanha para tratamento gratuito de pacientes com essa patologia, independente se esses sejam residentes nativos. Após campanha, houve um maciço movimento migratório dos pacientes e famílias com a talassemia beta do país X em direção ao país Z. Se definirmos o alelo para talassemia como q , o que ocorre com a sua frequência:
 - No país X:
 - No país Z:

Exercício



Suponha que 10% dos indivíduos da população 2 migre para a população 1, qual será a frequência do alelo A na população 1 após esse evento?

90% pop 1 x frequência A pop1 + 10% pop 2 x frequência A

$$0,9 \times 0,7 + 0,1 \times 0,4$$

$$p(A) = 0,67$$

2 - Deriva Genética

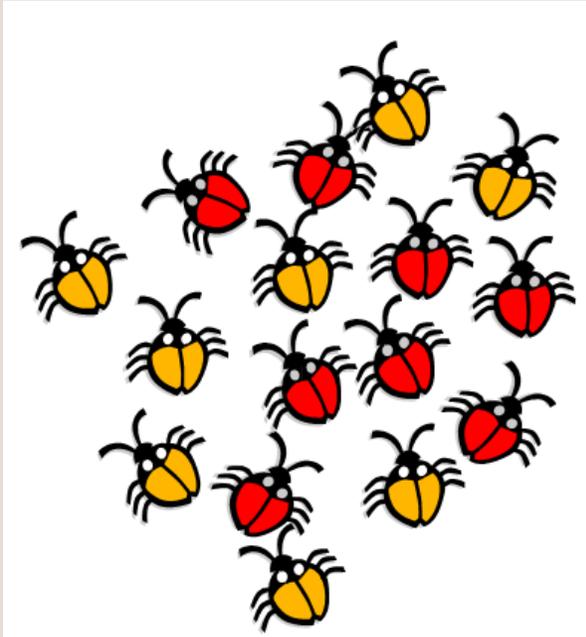
✓ Trata-se de um mecanismo não direcional, randômico, onde a variação aleatória das frequências gênicas, que pode resultar na eliminação ou fixação ao acaso de um alelo. Tem um impacto maior em populações pequenas

✓ **Efeitos gerais:**

✓ Aumento de divergência genética **entre** populações;

✓ Diminuição da variação genética **dentro** das populações;

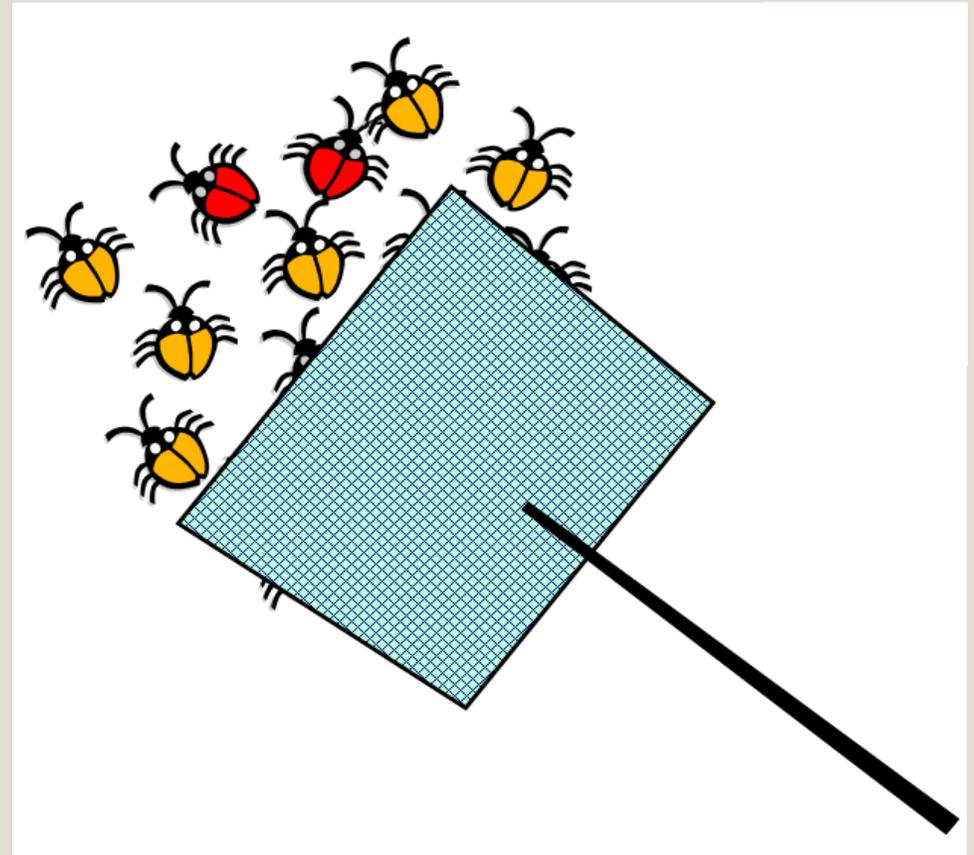
Deriva Genética



Antes:

8 - RR ($p=0,5$)

8 - rr ($q=0,5$)



Depois:

2 - RR ($p=0,25$)

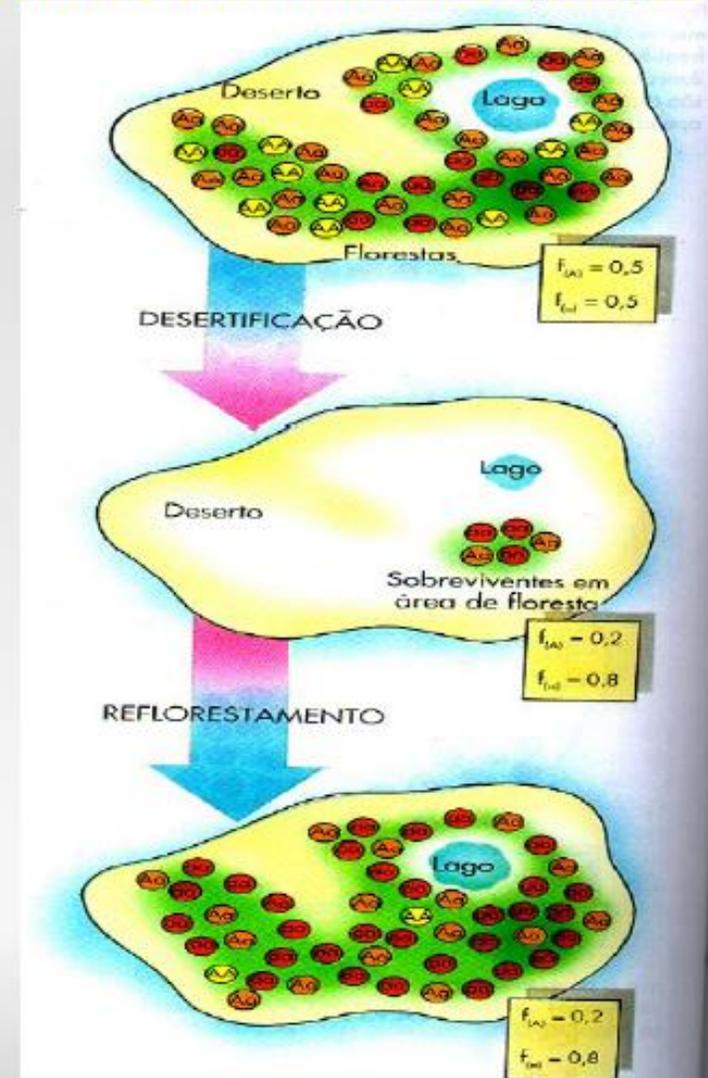
6 - rr ($q=0,75$)

Deriva Genética

- **Deriva genética:**



Efeito de Afunilamento (Gargalo)



Magnitude da Deriva Genética

- Como estimar a quantidade de erro de amostragem devido a deriva genética?
- Através da variância na frequência alélica
- Variância pode ser definida como a medida da dispersão dos valores a partir da média indicando quão longe seus valores se encontram em relação ao valor esperado
- É simbolizado pela letra sigma ao quadrado (δ^2)

Magnitude da Deriva Genética

◦ Assim ...

Frequências Alélicas


$$\delta^2 = pq / 2N$$


Tamanho da População

Assim, quanto maior a população N , menor será o efeito da deriva genética

Exercício

$$\delta^2 = pq / 2N$$

Calcule a magnitude da deriva genética nas duas populações abaixo:

POP1: $p=0,5$ $q=0,5$ $N=100$

POP2: $p=0,5$ $q=0,5$ $N=5000$

$$\delta^2 = 0,25/200 = 0,00125$$

$$\delta^2 = 0,25/10000 = 0,000025$$

Quanto maior a população, menor variância, ou seja menor será o impacto da deriva genética nesta população

Deriva Genética

- Ocorre em todas as populações;
- Mudança não ocorre em uma direção pré-determinada, pois o processo é totalmente aleatório;
- A magnitude da mudança em cada geração depende do tamanho da população, tornando-se pouco importante em grandes populações;
- A deriva genética (principalmente amostras pequenas) pode levar a diferenciação entre sub-populações, redução da variabilidade genética e aumento da frequência de homozigotos;

A ilha dos daltônicos – Gargalo de Garrafa

- A população de Pigelap, uma ilha da Micronésia tem uma frequência muito alta (5%) de acromatopsia.
- A acromatopsia completa é uma desordem autossômica recessiva rara, caracterizada por uma total incapacidade de distinguir cores.
- Um tufão que reduziu a população da ilha a um pequeno número parece ter aumentado a frequência do alelo recessivo responsável pela doença



O Efeito Fundador

Um efeito fundador ocorre quando uma nova colônia é iniciada por alguns poucos membros da população original.

Essa população de tamanho pequeno significa que essa colônia pode ter:

- Variação genética reduzida da população original.
- Uma amostra não aleatória dos genes na população original.

Como o tamanho da população fundada aumenta, a magnitude do efeito fundador diminui

Um isolado religioso fundado em 1719 na Pensilvânia por cerca de 50 famílias da Alemanha.

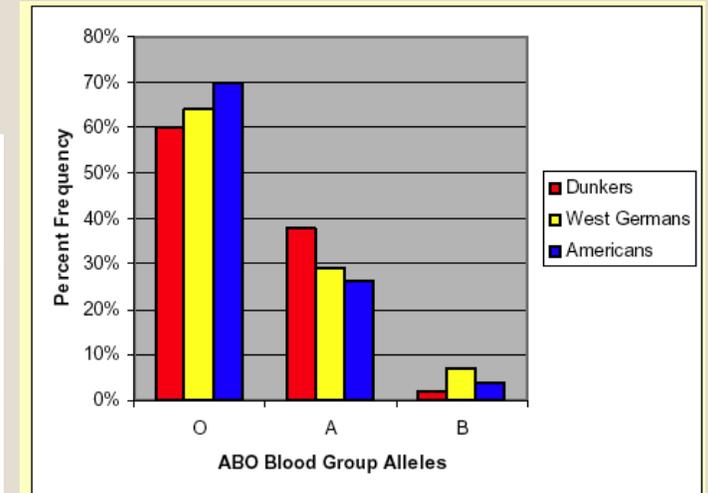
Eles tinham os alelos ABO, dedos mínimos tortos, polegar com torção acentuada (hitchhikers) e outras características com frequências diferentes daquelas de sua população de origem e também da população de destino.

Estas diferenças podem ser explicadas pelo efeito fundador

Os Dunkers



<http://www.scrollpublishing.com/store/Brethren.html>



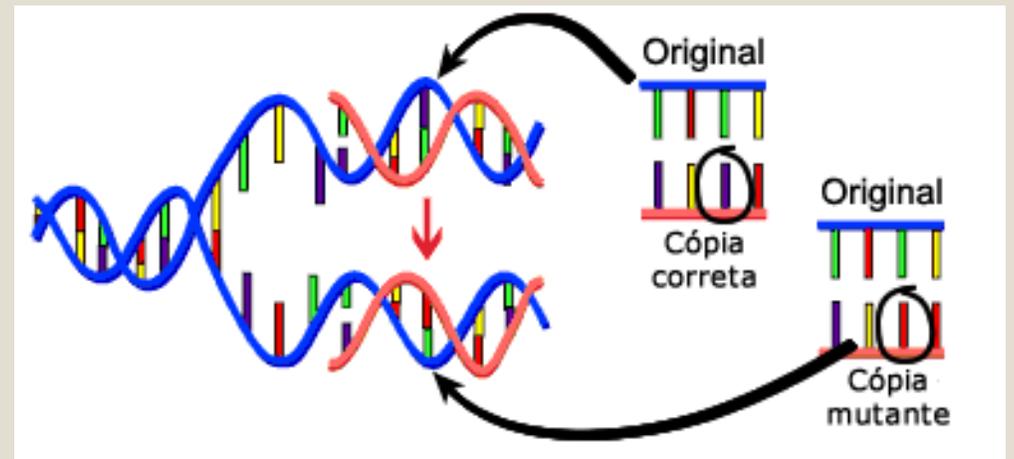
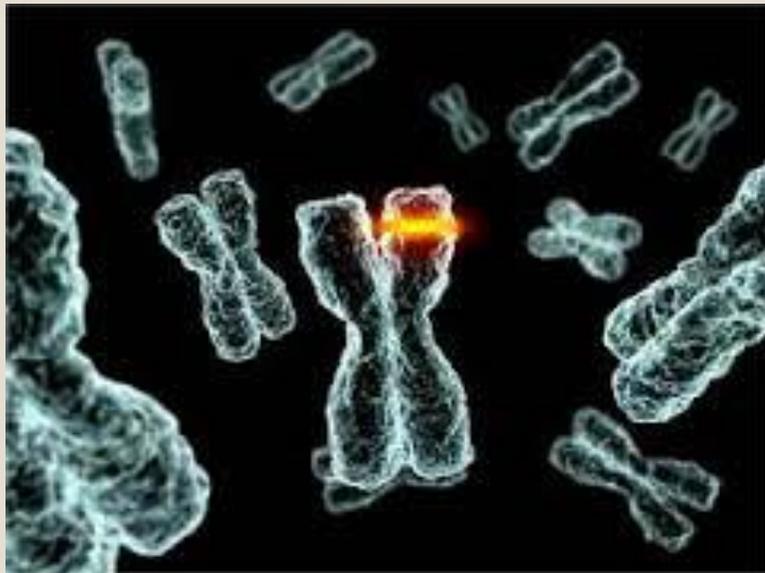
http://4.bp.blogspot.com/-G7re1c_d8Ys/UZOg_T7tx1I/AAAAAAAAA_A/_97za-06Dak/s1600/dedinho.jpg

https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQxk1yBaMppAIHCiHPXFLBAPqkRPFHjEaTPo25mlho_Wmlfs9Q



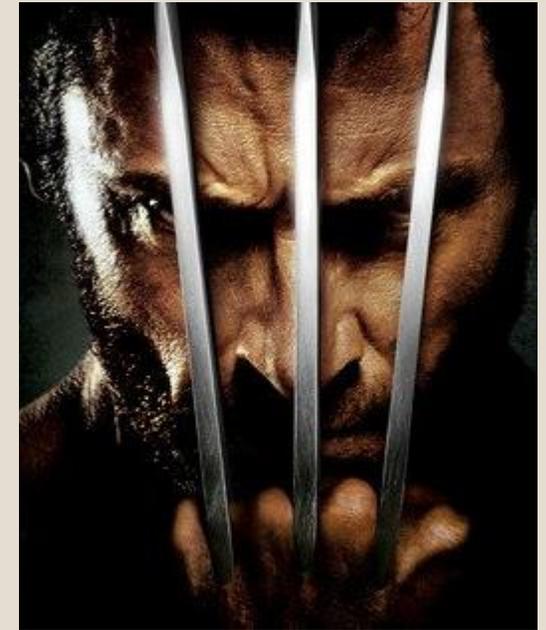
3 - Mutação

Qualquer alteração estável e transmissível que ocorre no DNA, quer sejam alterações grosseiras (**mutações cromossômicas**) ou alterações submicroscópicas (**mutações gênicas**).



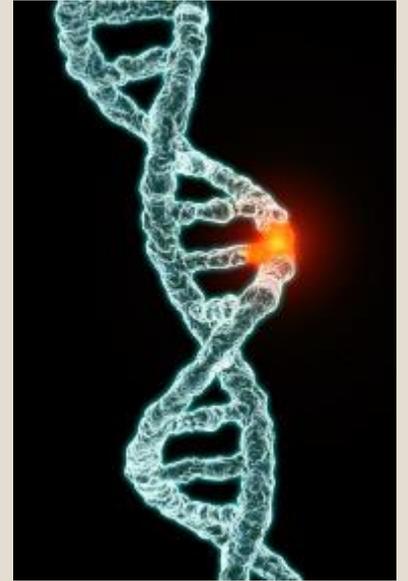
Mutações

- São alterações que ocorrem ao **acaso** no material genético de um indivíduo e que são transmitidas à descendência podendo, em alguns casos, provocar alterações fenotípicas.
- Essas alterações podem criar um novo alelo ou provocar a alteração de um alelo para outro já existente.
- O efeito da mutação sobre a frequência gênica é afetado pela frequência com que ela ocorre na população (taxa de mutação).



Mutação

- Apesar da importância das mutações, a maior parte dos genes muta em uma taxa extremamente baixa (na ordem de 10^{-4} a 10^{-6} novas mutações por gene por geração).
- Mesmo uma taxa tão baixa de mutação pode criar muitos alelos mutantes já que, em uma população grande, cada um dos genes está sujeito à mutações.



Mutação

✓ **Efeitos gerais:**

- ✓ Aumenta de divergência genética *entre* populações;
- ✓ Aumento da variação genética *dentro* das populações;

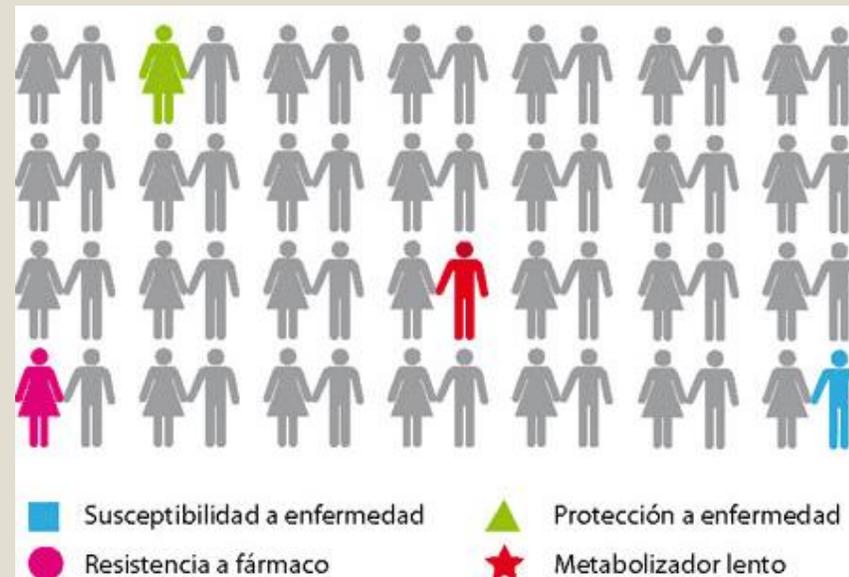
Origem das mutações

As **mutações espontâneas** são aquelas que ocorrem sem causa conhecida.

As **mutações induzidas** resultam da exposição a agentes físicos, químicos e/ou biológicos que alteram o material genético.

Consequências das Mutações para a população

- Pode trazer consequências deletérias ou vantajosas a um organismo ou seus descendentes;
- É a maior responsável pela variabilidade genética e pela evolução das espécies.



Cálculo da frequência de mutações

- Dentro de uma população, a frequência de mutações é o produto da taxa de mutação (μ) e a frequência gênica inicial (p_0):
- μ = probabilidade de um determinado alelo A1 se transforme no alelo A2

- $F(A1 \rightarrow A2) = \mu p_0$
 Probabilidade de ocorrer mutação no gene A1

Na próxima geração

- $F(A1) = p_1 = p_0 - \mu p_0 = p_0(1 - \mu)$ e
- $F(A2) = q_1 = q_0 + \mu p_0$

Após n gerações

$$p_n = p_0 (1 - \mu)^n$$

Onde n é o número de gerações

4 - Seleção Natural

A **Seleção Natural** pode ser definida como a sobrevivência e reprodução diferenciais dos organismos em função de suas características hereditárias.

A natureza "escolhe" os genes mais bem adaptados a determinado ambiente (maiores chances de sobrevivência e reprodução) e estes são preservados.

Seleção Natural

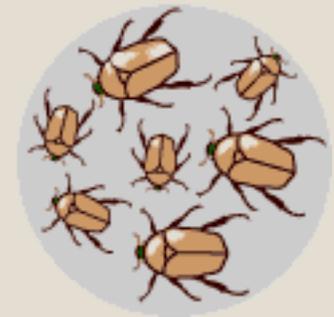
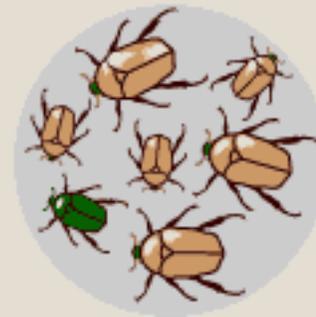
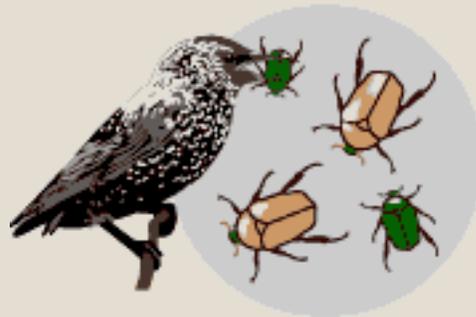
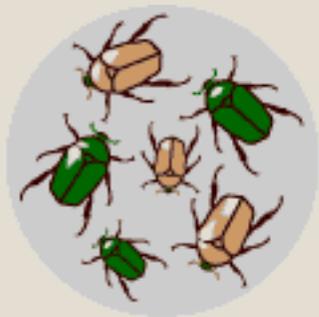
✓ **Efeitos gerais:**

- ✓ Aumento de divergência genética *entre* populações;
- ✓ Diminui da variação genética *dentro* das populações;

Vamos imaginar uma população de besouros

- 1- Deve haver variação nos traços;
- 2- Há reprodução e sobrevivência diferenciada;
- 3- Os traços são herdáveis

SELEÇÃO NATURAL

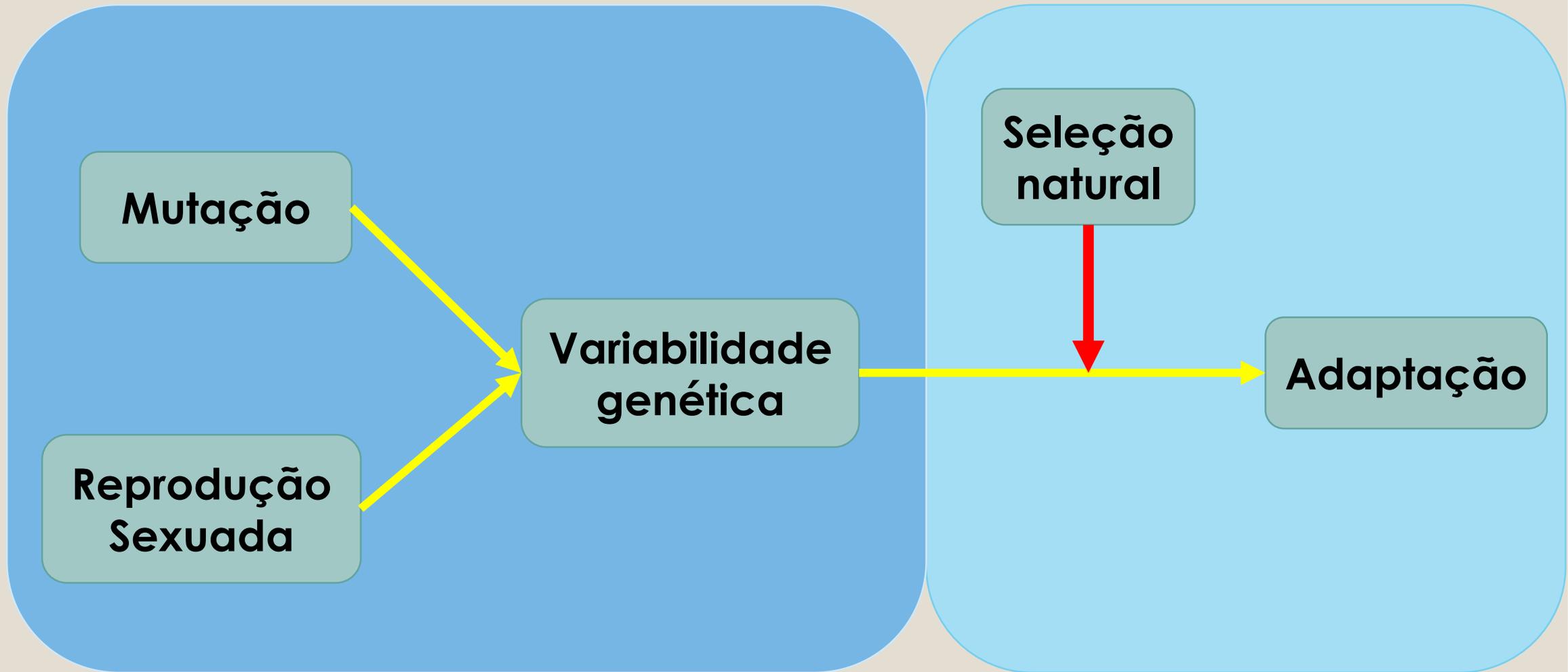


Seleção Natural x Seleção Artificial

A **Seleção Natural** pode ser definida como a sobrevivência e reprodução diferenciais dos organismos em função de suas características hereditárias.

A **Seleção Artificial** é a seleção determinada por escolhas feitas pelo homem (*agente selecionador*) em função do genótipo ou fenótipo

A seleção atua sobre os Fenótipos



Fenótipo = interação entre **Genótipo** e o **Meio**

Seleção Natural ao nível de Gene

- A seleção natural ocorre quando genótipos têm diferentes capacidades de sobreviver e se reproduzir = ***Fitness* ou Valor Adaptativo** (ω)
- A intensidade da seleção natural é quantificada pelo **Coeficiente de Seleção** (s)
- No nível de gene, a seleção natural modifica as frequências alélicas na população

Fitness ou Valor Adaptativo

É a propriedade do organismo que determina a sua chance de sobrevivência e reprodução.

VALOR RELATIVO ADAPTATIVO ou ADAPTABILIDADE RELATIVA (ω)

Taxa de crescimento da fração da população com determinado genótipo em relação a média ponderada da taxa de crescimento de todos os genótipos presentes na população



Adaptabilidade Relativa (ω)

Adaptabilidade?



de 0 a 1

O sucesso **reprodutivo** de um genótipo comparado com outro genótipo em uma população

$$W = \frac{\text{n}^\circ \text{ da prole do genótipo em questão}}{\text{n}^\circ \text{ da prole do genótipo mais abundante}}$$

Adaptabilidade (ω)

◦ Coloração determinada pelo gene A

◦ AA / Aa = verde ←———— Maior (ω) floresta

◦ aa = amarelo ←———— Maior (ω) deserto



Adaptabilidade
relativa

Na floresta...

Se a coloração verde traz mais vantagem....

AA / Aa = verde

aa = amarelo



ω é maior

ω é menor

$$\omega_{AA/Aa} > \omega_{aa}$$



Quão mais vantajoso?

Coeficiente de Seleção (s)

Representa a intensidade da seleção contra os tipos mais inferiores

Denota a redução relativa da capacidade de reprodução de cada genótipo em comparação com o padrão

$$s = 1 - \omega$$

Genótipos	A ¹ A ¹	A ¹ A ²	A ² A ²
Nº médio de prole produzida	10	5	2
Adaptabilidade (ω)	1,0	0,5	0,2

A¹A¹

$$s = 1 - 1$$

$$s = 0$$

A¹A²

$$s = 1 - 0,5$$

$$s = 0,5$$

A²A²

$$s = 1 - 0,2$$

$$s = 0,8$$

A adaptação e a seleção natural

A seleção natural pode explicar todas as adaptações. Entretanto ela não pode explicar toda a evolução, uma vez que há mudanças evolutivas que não implicam seleção natural, tal como aquelas produzidas por **deriva genética**.

Resumindo

	Divergência Genética	
Fatores Evolutivos	<i>entre</i> populações	<i>dentro</i> das populações
Migração	Diminui	Aumenta
Deriva	Aumenta	Diminui
Mutação	Aumenta	Aumenta
Seleção Natural	Aumenta	Diminui

Concluindo:

- *Genética de populações trata do estudo da origem e da dinâmica da variação genética nas populações*
- *A variabilidade genética de uma população é muito importante para a sua conservação.*
- Existem três fontes primárias de variação genética: mutação, fluxo gênico e sexo
- *A alteração da frequência gênica ou genotípica de uma população ao longo de gerações é denominada evolução*
- O teorema de Hardy e Weinberg postula que em populações infinitamente grandes, com cruzamentos ao acaso e sem influência dos fatores evolutivos, as frequências gênicas e genotípicas se manterão constantes.

**Thank you very much
for your attention**



Beiguelman, B. Genética de populações humanas. Ribeirão Preto. SBG, 2008. (disponível em <http://sbg.org.br/publicações-2/livros-e-ebooks/>)

Beiguelman, B. 1994. **Dinâmica dos genes nas famílias e populações**. SBG, Ribeirão Preto.

Hartl, D. L. et al. **Princípios de Genética de Populações**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.