

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE GENÉTICA
LGN0313 – Melhoramento Genético



Controle Genética e Herdabilidade

Prof. Fernando Angelo Piotto

fpiotto@gmail.com.br

Piracicaba, 11 de março de 2016

Introdução

- **Variabilidade Genética**
 - Como surgem as variações genéticas?
 - Mutações!
- **Mutação é o único mecanismo que gera variabilidade genética**
- **Cruzamentos somente recombina a variabilidade genética existente**

Introdução

- **Gregor Mendel**
 - Publicação do artigo fundamental da genética em 1866
 - Estudou sete caracteres em ervilha, todos monogênicos e pouco influenciados pelo ambiente
 - O artigo foi praticamente ignorado até 1900



Introdução

- **Gregor Mendel**
 - Publicação do artigo fundamental da genética em 1866
 - Estudou sete caracteres em ervilha, todos monogênicos e pouco influenciados pelo ambiente
 - O artigo foi praticamente ignorado até 1900



Hugo de Vries
(1848-1935)



Carl Correns
(1864-1933)



Erich von Tschermak
(1871-1902)

Introdução

- **Modelo de Mendel testado em várias outras espécies**
- **Em certos caracteres o modelo não foi confirmado**

Introdução

- **Padrões de variação de caracteres**

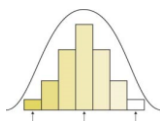
**Quantitativos
+
Qualitativos**

Caracteres qualitativos e quantitativos

- **Qualitativos**
 - Cor de frutos
 - Cor de grãos
 - Tipo de folha
 - Formato das sementes



- **Quantitativos**
 - Peso de grãos
 - Altura de plantas
 - Sólidos Solúveis Totais (°Brix)
 - Produção



Introdução

- **Caracteres qualitativos são controlados por um ou poucos genes**
 - Classes fenotípicas distinguíveis umas das outras
 - Ex.: cor de flor, hipocótilo, textura dos grãos de milho, etc
- **Caracteres quantitativos são controlados por muitos genes**
 - As classes não são facilmente distinguíveis, havendo uma distribuição contínua do fenótipo
 - Referem-se a mensurações de quantidades:
 - Ex.: Pesos, volumes, medidas: kg, m, cm, g, m², etc

Caracteres Qualitativos

- **Segregações conhecidas (fenotípicas):**
 - **1 locus:** 3:1 ou 1:2:1
 - **2 loci:** 9:3:3:1
- Dominância **completa** ou **parcial**
- Os estudos qualitativos são feitos em nível de indivíduos e a interpretação da herança é feita com base na contagem e proporções definidas pelos resultados observados nas descendências dos cruzamentos

Exemplos

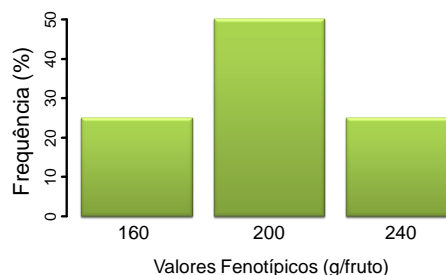
- **Milho (mutação *sugary*)**
 - Sementes Lisas (*Su Su* ou *Su su*)
 - Sementes Rugosas (*su su*)



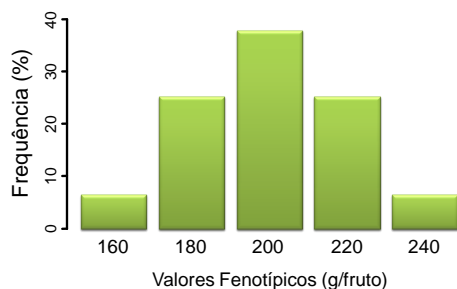
Caracteres Quantitativos

- As **características quantitativas** são as que exibem variações contínuas (às vezes descontínuas) e são parcialmente de origem não genética
- **São fortemente afetadas pelo ambiente**
 - Ex.: Produção de grãos, leite, altura, peso, etc

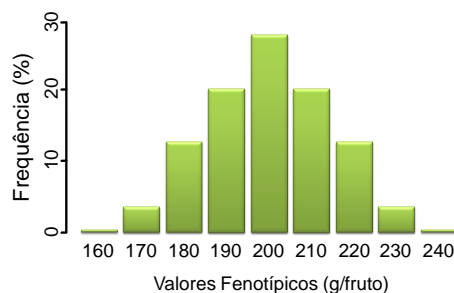
Característica controlada por 1 gene



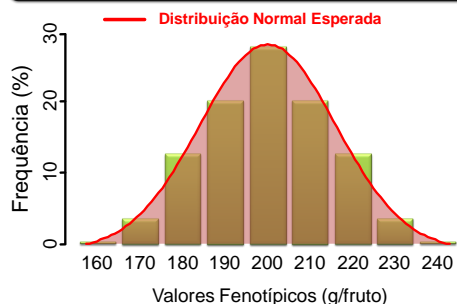
Característica controlada por 2 genes



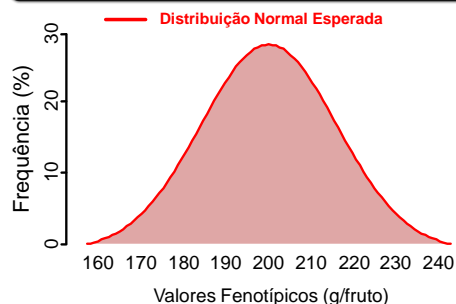
Característica controlada por 4 genes



Característica controlada por muitos genes



Característica controlada por muitos genes



Genes, Alelos e Fenótipos

Número de Genes	Número de Alelos	Número de Fenótipos
1	2	3
2	4	5
3	6	7
4	8	9
5	10	11
10	20	21
100	200	201
...
n	2n	2n + 1

Caracteres Quantitativos

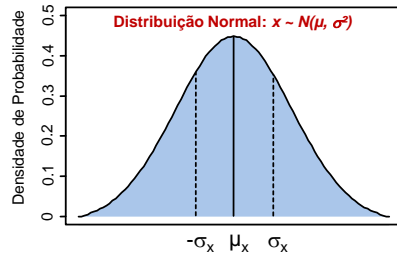
• Genética Quantitativa

— É a parte da genética que estuda os caracteres quantitativos, os quais distinguem-se dos caracteres qualitativos em três aspectos

- **Herança poligênica:** os caracteres quantitativos são, em geral, regulados por vários genes
- **Estudo em nível de populações** e baseado na estimação de parâmetros tais como **médias**, **variâncias** e **covariâncias**
- Variações contínuas e **efeito do meio**

Função de Densidade de Probabilidade

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$



Componentes da Variação Fenotípica

• Como medir a variação?

– Variância

- Medida de dispersão de valores em torno de um valor médio

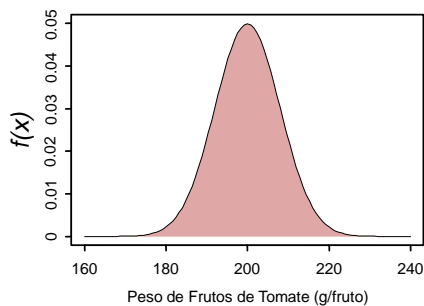
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

**Variância
Populacional**

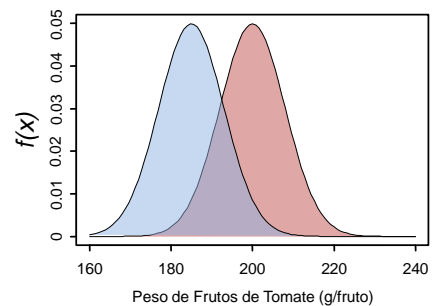
$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

**Variância
Amostral**

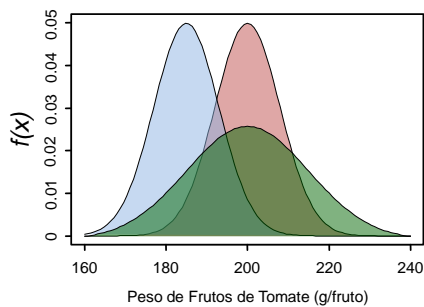
Função de Densidade de Probabilidade



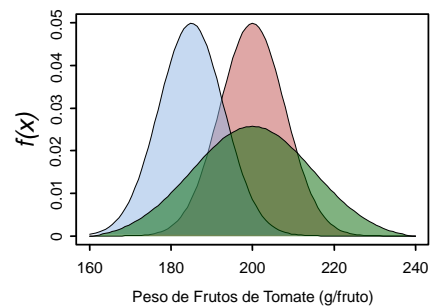
Função de Densidade de Probabilidade



Função de Densidade de Probabilidade



Função de Densidade de Probabilidade



Interação genótipo x ambiente

- **Caracteres Qualitativos**
 - Pouco influenciados pelo ambiente
- **Caracteres Quantitativos**
 - Muito influenciados pelo ambiente
 - Alguns caracteres são mais afetados do que outros
- **Interações específicas entre cultivares e regiões de plantio**

Interações Gênicas

- **Intra-alélicas**
 - Dominância completa, dominância parcial, aditiva, sobredominância
- **Inter-alélicas**
 - Epistasia

Modelo: $F = G + E$

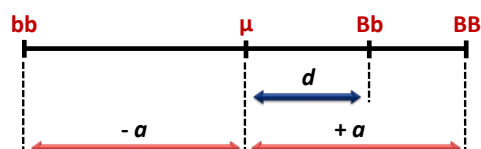
$$F = G + E$$

$$\sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$

$$\sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$$

$$\sigma_F^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2$$

Interações Gênicas

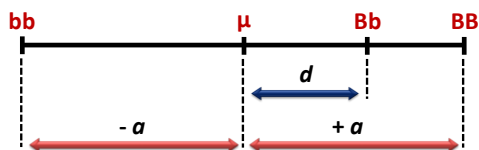


μ = Média

Contribuição dos Homozigotos = $\pm a$

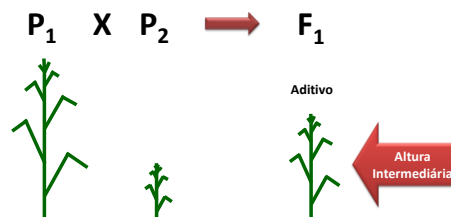
Contribuição do Heterozigoto = d (desvio de dominância)

Interações Gênicas



Interação Aditiva:	$d/a = 0$
Interação Dominante (dominância completa):	$d/a = 1$
Interação Dominante (dominância parcial):	$0 < d/a < 1$
Interação Sobredominante:	$d/a > 1$

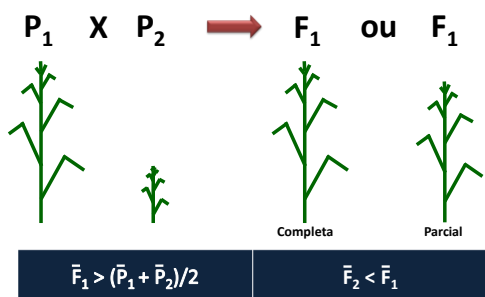
Ação Aditiva



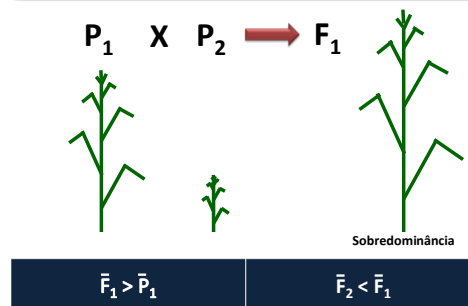
$$\bar{F}_1 = (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2$$

$$\bar{F}_2 = \bar{F}_1$$

Dominância



Sobredominância



Interações Gênicas

- **Caracteres Quantitativos**
 - Muitos genes
- **Todos os tipos de interações gênicas estão envolvidas**
 - O importante é considerar a média dessas interações

Heterose

- **Heterose ou vigor híbrido**

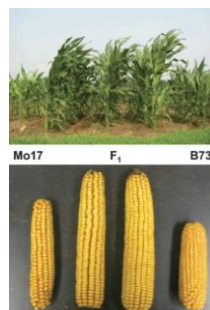
$$Heterose = \bar{F}_1 - \frac{\bar{P}_1 + \bar{P}_2}{2}$$

Heterose: Exemplo 1



TRENDS in Plant Science
Hochholdinger e Hoecker (2007)

Heterose: Exemplo 2



- **Altura de Planta**

- Mo17= 169 cm
- B73 = 173,3 cm
- F1 = 211,1

- **Produtividade**

- Mo17= 4060 kg/ha
- B73 = 6320 kg/ha
- F1 = 10410 kg/ha

Springer e Stupar (2007)

Heterose: Exemplo 3



Krieger et al. (2010)

Heterose

- Heterose é função da presença de:

P1	Valor
AA	
bb	
CC	
DD	
EE	
ff	
Soma	

P2	Valor
aa	
BB	
CC	
dd	
ee	
FF	
Soma	

F1	Valor
Aa	
Bb	
Cc	
Dd	
Ee	
Ff	
Soma	

Heterose

- Heterose é função da presença de:

P1	Valor
AA	10
bb	5
CC	10
DD	10
EE	10
ff	5
Soma	50

P2	Valor
aa	5
BB	10
CC	10
dd	5
ee	5
FF	10
Soma	45

F1	Valor
Aa	15
Bb	10
Cc	10
Dd	10
Ee	10
Ff	10
Soma	65

Heterose

- Heterose é função da presença de:
 - Divergência Genética (complementaridade)
 - Dominância e Sobredominância

P1	Valor
AA	10
bb	5
CC	10
DD	10
EE	10
ff	5
Soma	50

P2	Valor
aa	5
BB	10
CC	10
dd	5
ee	5
FF	10
Soma	45

F1	Valor
Aa	15
Bb	10
Cc	10
Dd	10
Ee	10
Ff	10
Soma	65

Heterose

- Heterose**
 - Importante para a confecção de híbridos
- Heterobeltiose**
 - Média do F1 é maior do que média do Parental superior (P_s)

$$Heterobeltiose = \bar{F}_1 - \bar{P}_s$$

Endogamia

- Endogamia:**
 - Acasalamentos entre indivíduos aparentados
 - Autofecundação
 - Alelos idênticos por descendência
 - Probabilidade de dois alelos serem idênticos por descendência estimada pelo coeficiente de Malecót
 - $F = (1/2)^n$
 - Aumento da homozigose nos descendentes
 - Perda de vigor, genes deletérios ("carga genética"), anomalias, etc

Componentes da Variação Fenotípica

$$F = G + E$$

Componentes da Variação Fenotípica

$$F = G + E$$


$$\sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$

$\sigma_F^2 = \text{Variância Fenotípica}$


$\sigma_G^2 = \text{Variância Genotípica}$

$\sigma_E^2 = \text{Variância Ambiental}$


Componentes da Variação Fenotípica



$$P_1 \quad \sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$





$$F_1 \quad \sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$




$$P_2 \quad \sigma_F^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$

Componentes da Variação Fenotípica



$$P_1 \quad \sigma_F^2 = \cancel{\sigma_G^2} + \sigma_E^2$$


$$F_1 \quad \sigma_F^2 = \cancel{\sigma_G^2} + \sigma_E^2$$


$$P_2 \quad \sigma_F^2 = \cancel{\sigma_G^2} + \sigma_E^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \sigma_E^2 = \frac{\sigma_{P1}^2 + \sigma_{P2}^2 + \sigma_{F1}^2}{3}$$

Coeficiente de Herdabilidade (h^2)

- **Proporção herdável da variabilidade total**

$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_F^2} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2}$$

$$h^2 (\%) = \left(\frac{\sigma_G^2}{\sigma_F^2} \right) \times 100$$

Baixas

$$0 < h^2 < 1$$

Altas

Coeficiente de Herdabilidade (h^2)

- **Herdabilidade no sentido amplo**

– Variância genética / variância fenotípica

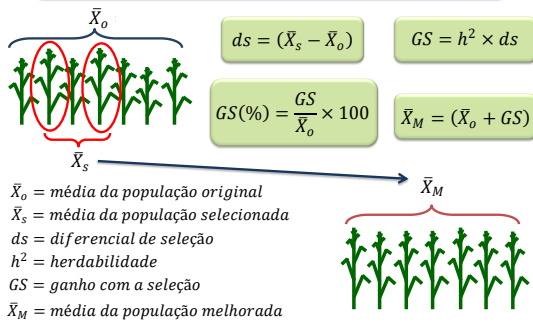
$$h^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2}$$

- **Herdabilidade no sentido restrito**

– Variância aditiva / variância fenotípica

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_E^2}$$

Ganho com a seleção



Ganho com a seleção

