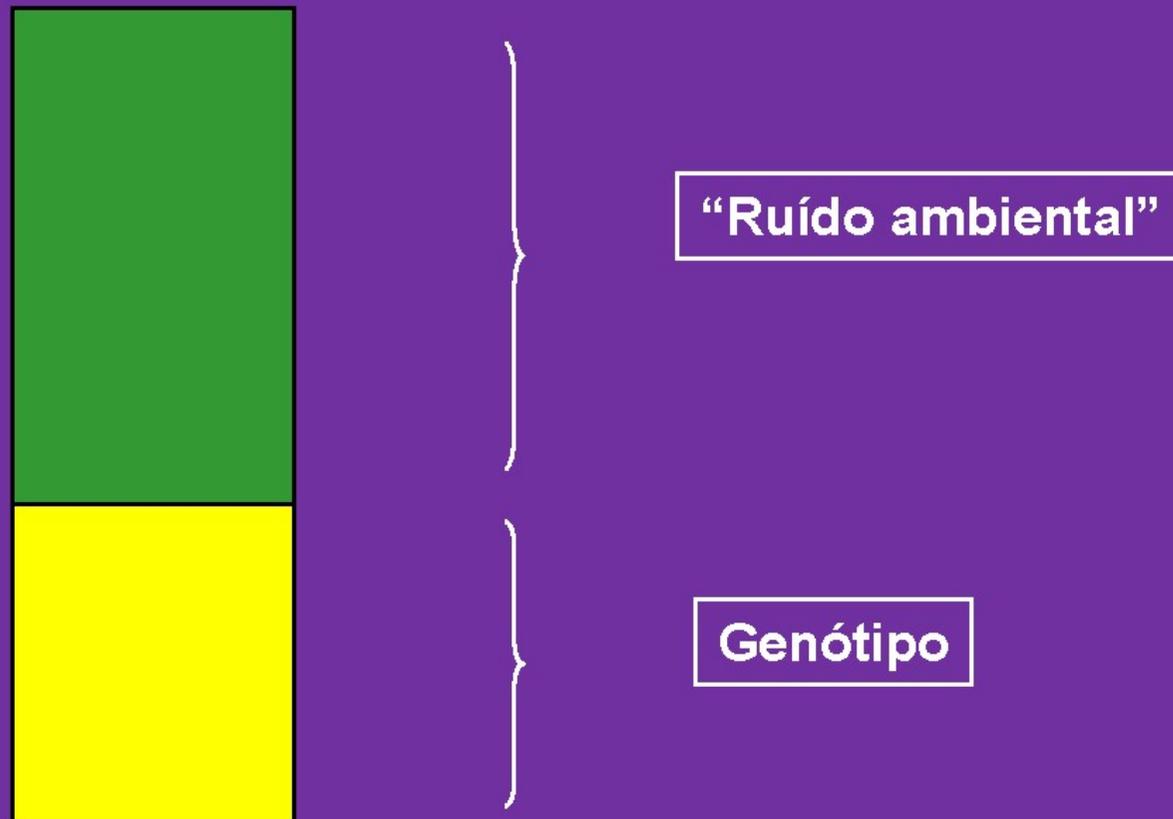


Herdabilidade e repetibilidade

Prof. Fernando Baldi

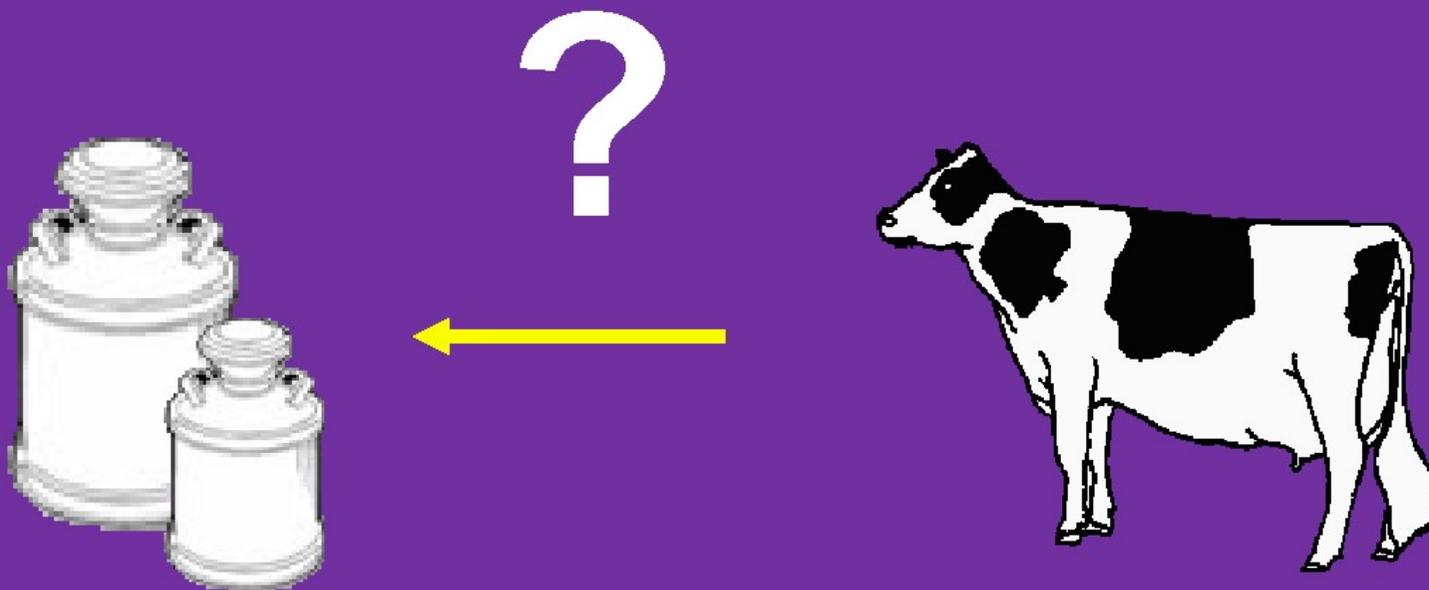
¿Fenótipo ou Genótipo?

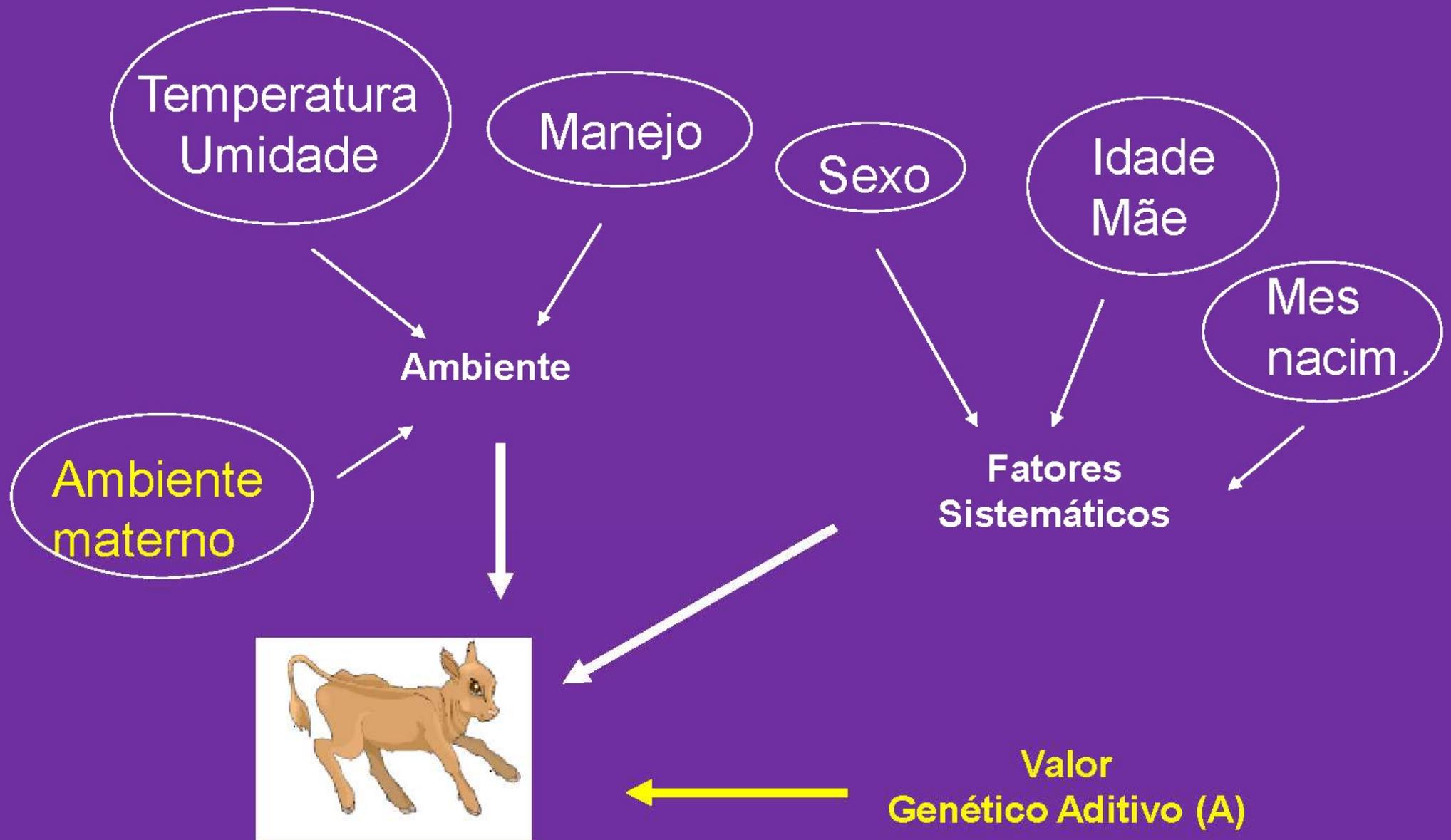
O Fenótipo de qualquer individuo:



¿O que nós mensuramos ou vemos, é tudo genético ?

¿Qual é a magnitude do efeito ambiental?

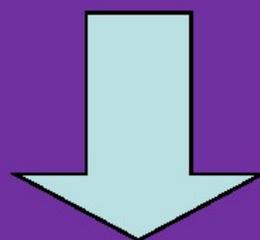




$$P = A + D + I + E_p + E_t$$

Há efeitos transmissíveis à progênie e outros efeitos não transmissíveis

Para que serve conhecer a herdabilidade (h^2)?



- 1) Permite prever a **taxa de ganho genético** em um Programa de Melhoramento
- 2) Predizer o **mérito genético** dos animais
- 3) Importância do **componente genético**

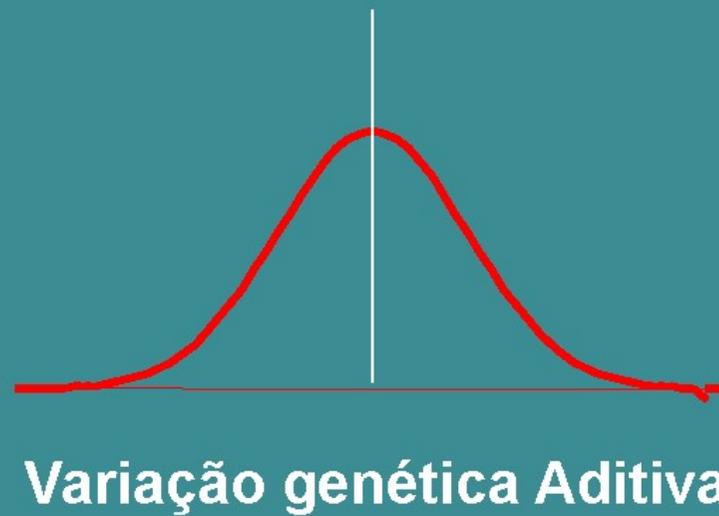
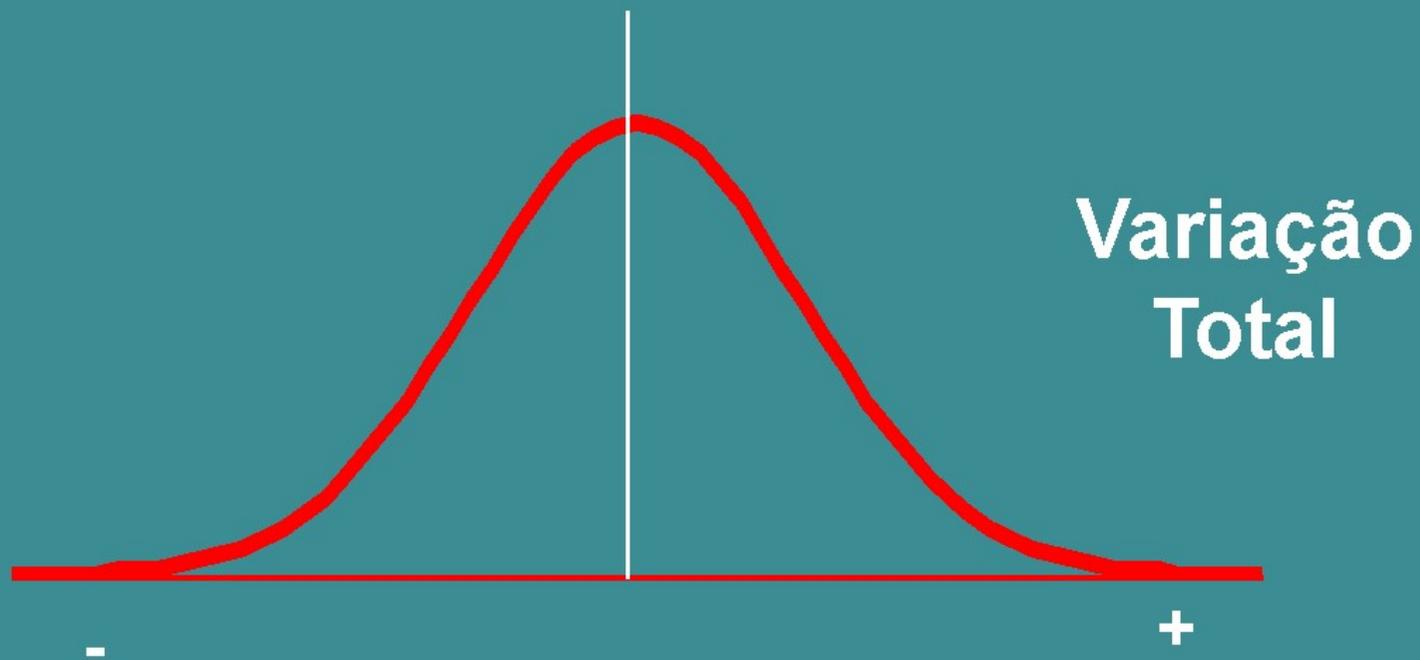
Coeficiente de Herdabilidade

Definição e interpretação

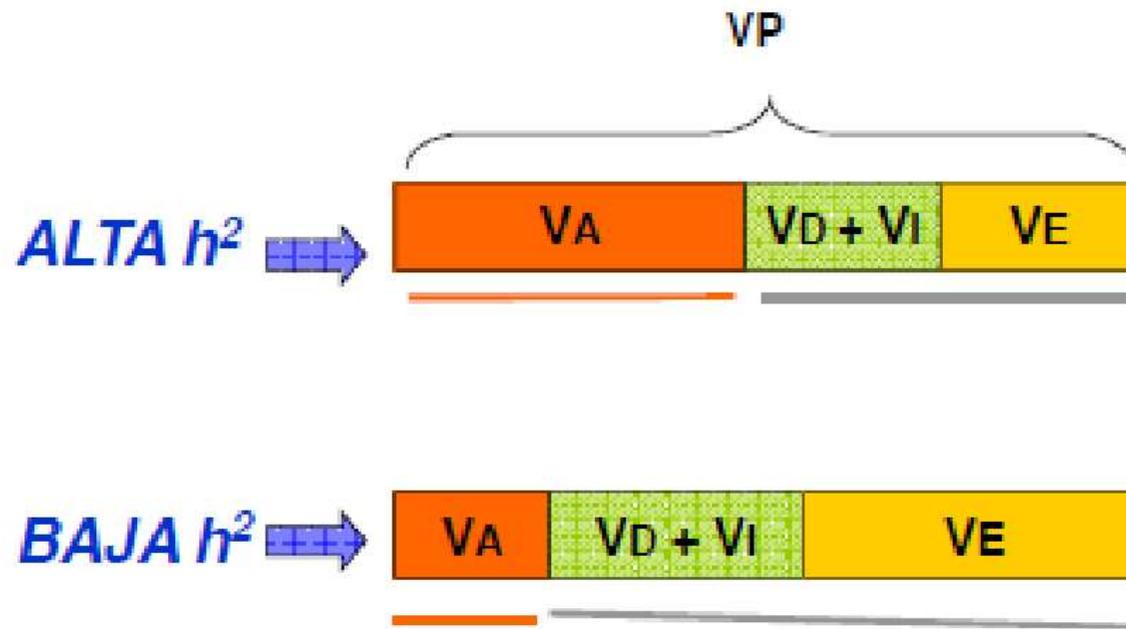
- 1- Lush (1945): Herdabilidade (sentido estrito) é a fração da variância fenotípica que é causada por diferenças entre genes ou genótipos dos indivíduos.

$$h^2 = \frac{\text{Variação Genética Aditiva}}{\text{Variação Total (Fenotípica)}} \quad 0 \leq h^2 \leq 1$$

- 2- Proporção das diferenças entre indivíduos na população que se deve às diferenças em seus méritos ou valores genéticos



$$h^2 = \frac{V_A}{V_P} = \frac{V_A}{V_A + V_D + V_I + V_E}$$



Esta definição reforça a idéia de que quando h^2 é alta, as diferenças fenotípicas entre os animais são, em grande parte às diferenças na "A" e não a interações entre os genes ou o ambiente

Coeficiente de Herdabilidade

Definição e interpretação:

- 3- Regressão do valor genético sobre o valor fenotípico
- 4- Proporção da superioridade (ou inferioridade) dos pais que espera-se que seja transmitida (realizada) à sua progênie

Coeficiente de Herdabilidade

Regressão do valor genético sobre o valor fenotípico

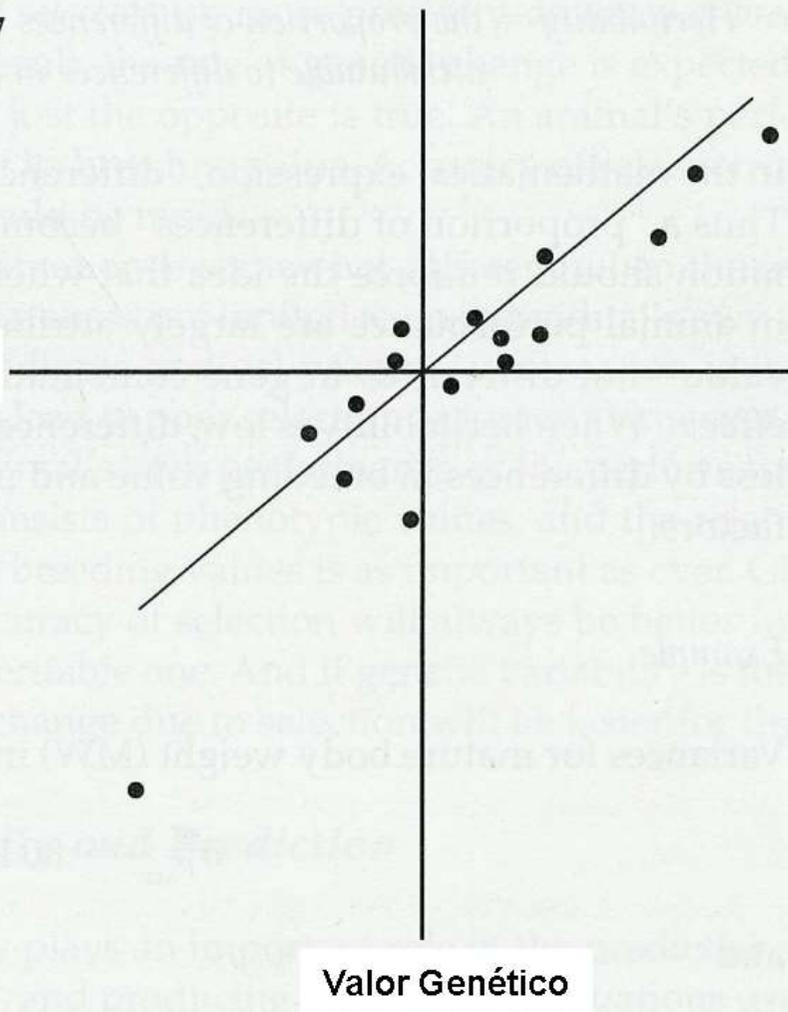
$$b_{A,P} = \frac{\text{Cov}(A, P)}{\sigma_P^2}$$

$$\begin{aligned}\text{Cov}(A, P) &= \text{Cov}[A, (A + D + E)] \\ &= \text{Cov}(A, A) + \text{Cov}(A, D) + \text{Cov}(A, E) \\ &= \sigma_A^2\end{aligned}$$

$$b_{A,P} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2} = h^2$$

(a) $h^2 = .7$

Valor Fenotípico

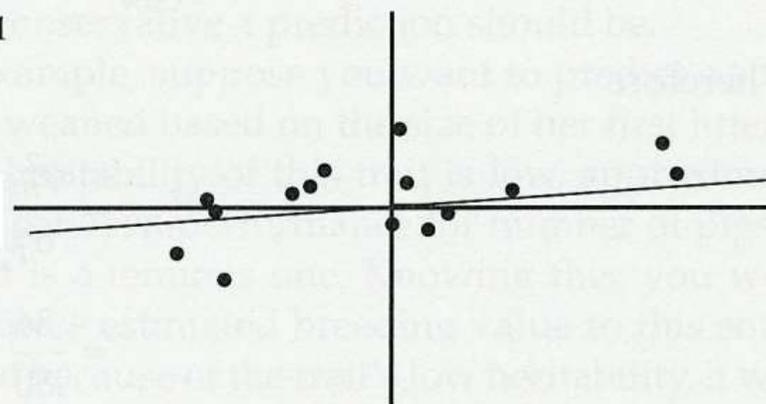


Valor Genético

Se h^2 é alta, então há uma maior mudança de "A" por unidade de mudança em "P"

(b) $h^2 = .1$

Valor Fenotípico



Valor Genético

Se h^2 é baixa, então grandes mudanças no "P" não implicam grandes mudanças no "A"

Coeficiente de Herdabilidade

Definição e interpretação

- 5 - A correlação entre os valores genéticos e os valores fenotípicos é igual à raiz quadrada do coeficiente de herdabilidade
- 6 - Indica o grau de correspondência entre os valores fenotípicos e os valores genéticos

Coeficiente de Herdabilidade

A correlação entre os valores genéticos e os valores fenotípicos é igual à raiz quadrada do coeficiente de herdabilidade

$$r_{A,P} = \frac{\text{Cov}(A,P)}{\sigma_A \sigma_P}$$

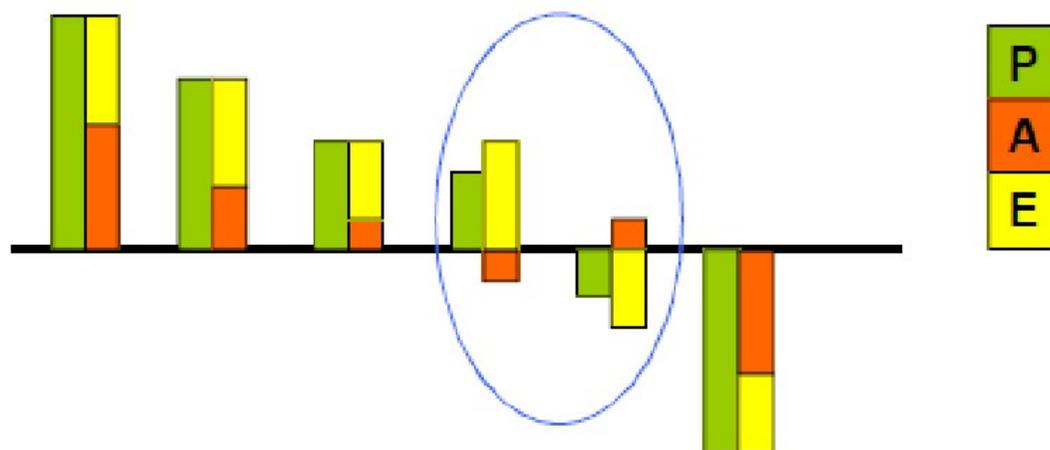
$$\text{Cov}(A,P) = V_A = \sigma_A^2$$

$$r_{A,P} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A \sigma_P} = \frac{\sigma_A}{\sigma_P} = h$$

Indica o grau de correspondência entre os valores fenotípicos e os valores genéticos

Desempenho de animais para uma característica de ALTA h^2

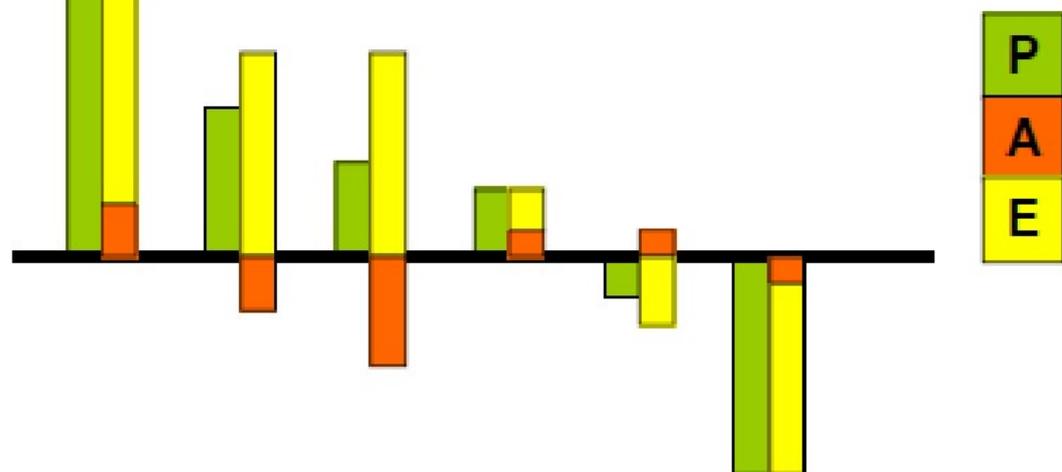
- Efeitos "A" tem um efeito importante sobre o fenótipo
- Valores de "A" positivos associados a níveis elevados de produção e de "A" impactos associados com baixa produção



O fenótipo do animal é geralmente um indicador muito bom do valor de genético (A)

Desempenho de animais para uma característica de BAIXA h^2

- O fenótipo não reflete o componente genético transmissível



O fenótipo do animal não é um bom indicador do valor genético

IMPORTANTE!!!!

- ✓ É uma propriedade da **CARÁCTERÍSTICA**
- ✓ É uma propriedade da **POPULAÇÃO**

A herdabilidade estima-se da **semelhança entre parentes** (causada por genes comuns).

Como resultado, se deve delinear a estratégia para a toma das informações (fenótipo) nos parentes para estimar adequadamente h^2

Parentes	Covariância	Regressão ou correlação
Filho - Pai	$\frac{1}{2} V_A$	$b = \frac{1}{2} h^2$
Filho – Média dos pais	$\frac{1}{2} V_A$	$b = h^2$
Meio irmãos	$\frac{1}{4} V_A$	$r = \frac{1}{4} h^2$
Irmão inteiros	$\frac{1}{2} V_A + \frac{1}{4} V_D + V_{Ec}$	$r > h^2$



ERROS COMUNS A RESPEITO DE HERDABILIDADE

1. Toda característica geneticamente determinada tem herdabilidade diferente de zero?

Vocabulário:

Herdável: característica que tem herdabilidade diferente de zero

2. Quando a h^2 é alta os valores genéticos para a característica também serão altos?

3. h^2 é um parâmetro da característica na população ou para o animal?

4. A h^2 de uma característica é constante?

Uso da herdabilidade

h^2 e estratégias para a melhoria de uma característica

h^2 indica como diferenças fenotípicas para uma determinada característica é explicado por fatores hereditários ou o ambiente

ALTA h^2 - diferenças nos valores genéticos têm grande efeito sobre o desempenho produtivo

- Podemos usar a seleção para melhorar a característica

BAIXA h^2 - alta influência do ambiente

- Melhorar o ambiente

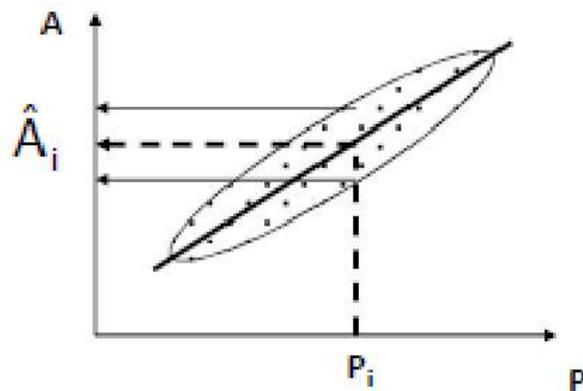
- Outras ferramentas genéticas com base em outros métodos de seleção e cruzamento

h^2 e acurácia na estimativa de "A"

Acurácia: Correlação entre valor genético aditivo (A) e fenotípico (P). É a acurácia com que estima o valor genético pela observação fenotípica.

$$r_{AP} = h$$

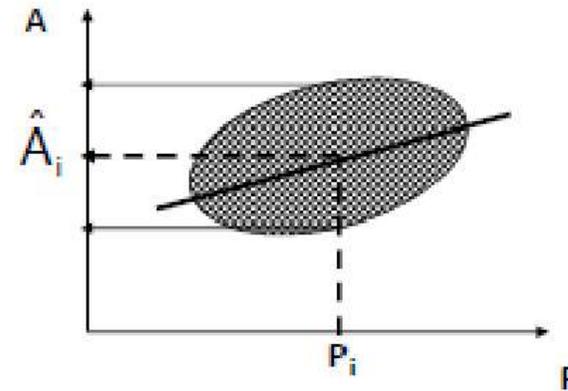
Maior herdabilidade = Maior acurácia



Situação 2

$$h^2 = 0.6$$

$$r_{AP} = 0.77$$



Situação 1

$$h^2 = 0.2$$

$$r_{AP} = 0.45$$

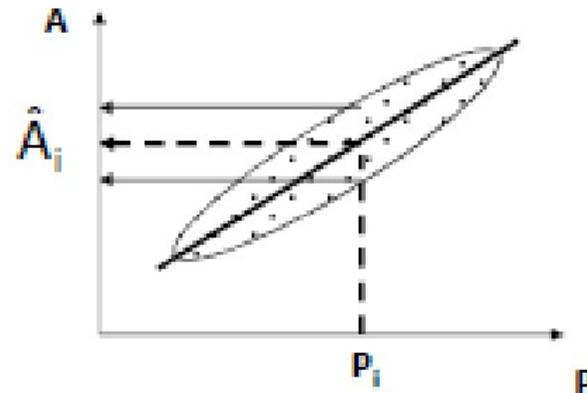
Predição do valor genético

Seleção fenotípica individual com um único registro

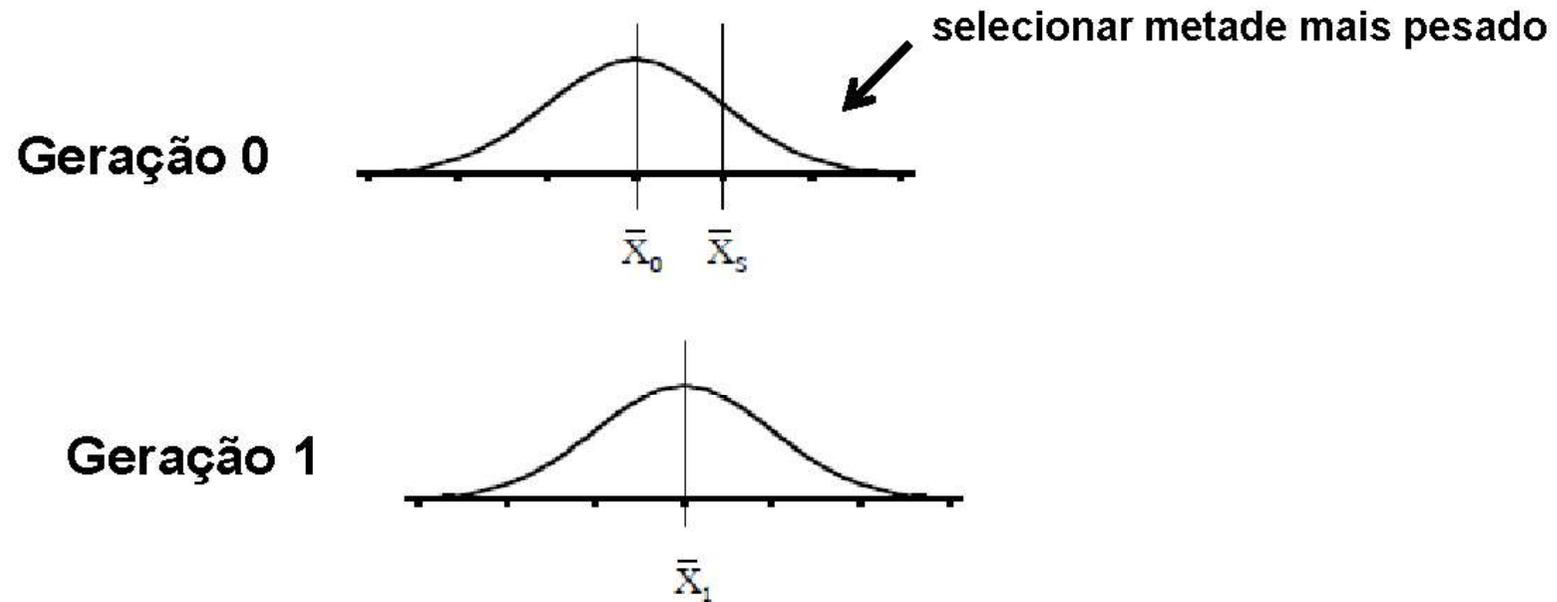
$$\hat{A}_i = b_{A,P}(P_i - \hat{\mu}_P)$$

$$\hat{A}_i = h^2(P_i - \hat{\mu}_P)$$

Proporção da superioridade dos pais que espera-se que seja transmitida (realizada) à sua progênie



h^2 e predição do progresso genético



Progresso genético: $\bar{X}_1 - \bar{X}_0 = \Delta G = h^2(\bar{X}_s - \bar{X}_0)$

h^2 atua como um "filtro", quanto da superioridade dos pais é transmitida em forma "parcial" para a progênie

Herdabilidade de algumas características

Bovinos de Corte

	h^2
Intervalo de partos	0 - 10
Peso ao nascer	30 - 40
Peso ao desmame	20 - 30
Habilidade materna	20 - 30
Ganho em peso – confinamento	35 - 45
Ganho em peso – pasto	20 - 30
Peso final	30 - 50

Bovinos Leiteiros

	h^2
Intervalo de partos	0 - 5
Produção de leite	20 - 40
Produção de gordura	20 - 30
Porcentagem de gordura	30 - 60
Porcentagem de proteína	40 - 70
Persistência	15 - 30



Herdabilidade de algumas características

Aves

Produção de ovos/dia	15 - 30
Peso corporal	30 - 50
Peso do ovo	40 - 70
Fertilidade	5 - 15

Suínos

	h^2
N.º de leitões nascidos	10 - 15
Peso aos 56 dias de idade	10 - 15
Ganho em peso	10 - 40
Espessura do toucinho	40 - 50

Classificação geral de grupos de características de acordo com a herdabilidade

Tipo de característica

Herdabilidade

Reprodutivas



Baixa

5 - 15

Produtivas



Média a alta

20 - 40

Qualidade dos produtos



Alta

45 - 60

Anatômicas



Alta

> 50

Coeficiente de repetibilidad

REPETIBILIDADE (t)

- Muitas características de interesse econômico são expressa várias vezes na vida de um animal (peso de lã, leite, produção de ovos, tamanho da ninhada)

caravana nº	1º vellón	orden	2º vellón	orden
331	6.4	1	???	
352	6.3	2		
324	6.1	3		
328	6.0	4		
401	6.0	5		
326	5.9	6		
371	5.7	7		
347	5.5	8		

carneiros que tiveram o maior peso no primeiro corte de lã, também tem a segunda????

Classificação dos efeitos ambientais

AMBIENTE PERMANENTE (EP)

Efeitos permanentes de ambiente são aqueles que influenciam todas as observações feitas em um animal.

AMBIENTE TEMPORÁRIO (ET)

Efeitos de ambiente temporário são aqueles que influenciam uma única observação do animal, cada animal irá receber uma influência favorável ou não por acaso, por chance.

Apenas o efeito de ambiente temporário muda de registro para registro no mesmo indivíduo

Coeficiente de repetibilidade

1. Repetibilidade é uma medida da força (confiabilidade, consistência) da relação entre os registros repetidos (fenótipos) de uma mesma característica numa população
2. Associação entre as medidas repetidas em um animal
 - ✓ É um parâmetro da população (não do animal)
 - ✓ Não é uma constante biológica, mas varia dependendo da população e do meio ambiente

Coeficiente de Repetibilidade (t)

Proporção da variância fenotípica atribuída às diferenças permanentes entre os indivíduos

$$t = \frac{\sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2}{\sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2 + \sigma_{ET}^2}$$

$0 \leq t \leq 1$
 $h^2 \leq t$

t = coeficiente de repetibilidade

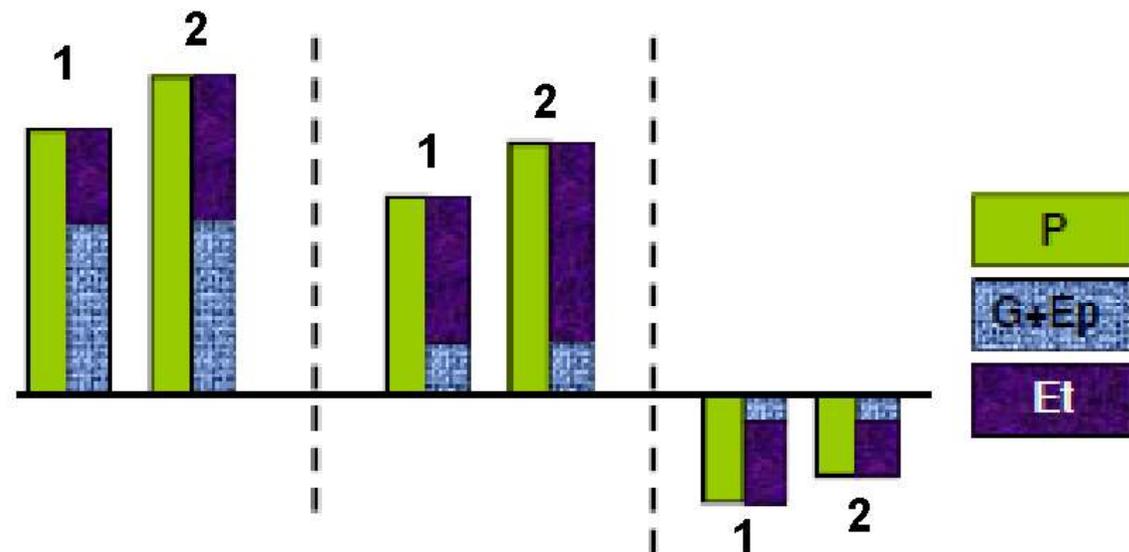
σ_G^2 = variância genotípica

σ_{EP}^2 = variância de ambiente permanente

σ_{ET}^2 = variância de ambiente temporário

Representação de animais com dois registros para uma característica de ALTA t

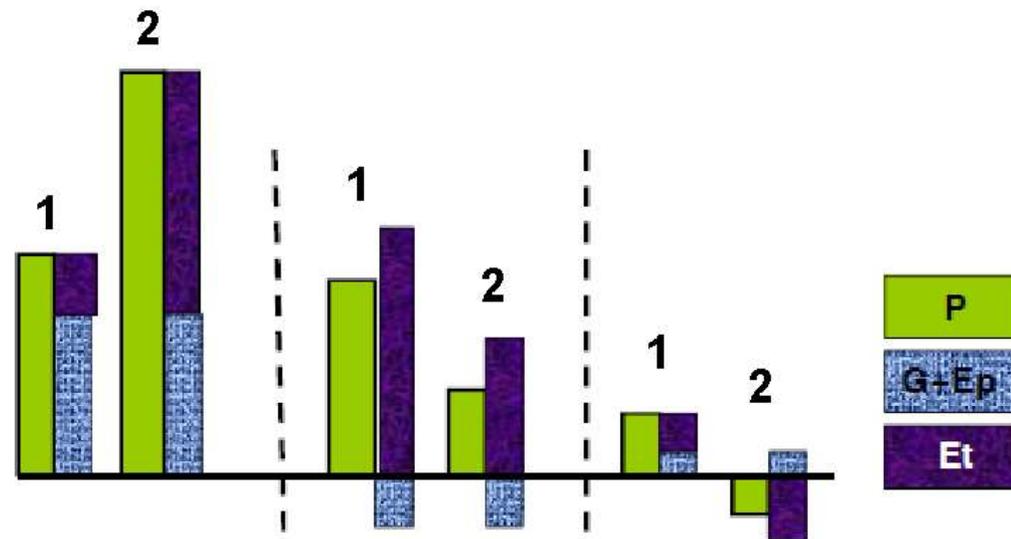
Habilidade de produção consiste dos efeitos permanentes sobre o animal ($A + D + I + E_p$)



- ✓ os dois registros tendem a ter a mesma magnitude
- ✓ se o primeiro registro é acima da média, o segundo registro também será acima da média

O primeiro registro de um animal é geralmente um bom indicador do seu segundo registro

Representação de animais com dois registros para uma característica de BAIXA t



✓ Existe pouca relação entre o primeiro e o segundo registro

O primeiro registro de um animal não é um bom indicador do seu segundo registro

Coeficiente de Repetibilidade (t)

1. Grau de associação entre diferentes medidas do mesmo animal para uma determinada característica. (*correlação*)
2. Proporção da superioridade ou inferioridade de um indivíduo que deverá expressar-se em desempenhos futuros. (*regressão*)

Correlação entre medidas repetidas do mesmo animal

$$r_{P_i P_j} = \frac{\text{Cov}(P_i, P_j)}{\sqrt{\sigma_{P_i}^2 \sigma_{P_j}^2}}$$

$$\text{Cov}(P_i, P_j) = \text{Cov}\left[\left(G + E_P + E_{T_i}\right)\left(G + E_P + E_{T_j}\right)\right]$$

$$= \sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2$$

$$\sigma_{P_i}^2 = \sigma_{P_j}^2 = r_{P_i P_j} = \frac{\sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2}{\sigma_P^2} = t$$

Uso da repetibilidade - Regressão:

Exemplo: Predizer a produção de leite na 2ª lactação a partir da 1ª

$$P_2 = \bar{P}_{C_2} + b_{P_2P_1} (P_1 - \bar{P}_{C_1})$$

PL 2ª lactação

Média de PL dos
contemporâneos

Coefficiente de
regressão

PL 1ª lactação

$$b_{P_2P_1} = \frac{\text{Cov}(P_2, P_1)}{\sigma_{P_1}^2} = \frac{\sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2}{\sigma_P^2} = t$$

Uso do coeficiente de repetibilidade

1. Limite máximo da herdabilidade
2. Ganho em acurácia pelo uso de medidas múltiplas

$$\sigma_{\bar{P}_{(n)}}^2 = \sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2 + \frac{1}{n} \sigma_{ET}^2$$

$$\frac{\sigma_{\bar{P}_{(n)}}^2}{\sigma_P^2} = \frac{1 + t(n-1)}{n}$$

n = número de medidas

3. Predição de desempenhos futuros

$$b = \frac{n t}{1 + (n - 1) t}$$

Ganho em acurácia pelo uso de medidas múltiplas

média de n medidas

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{G} + \mathbf{E}_P + \mathbf{E}_{T_1}$$

$$\begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$\mathbf{P}_2 = \mathbf{G} + \mathbf{E}_P + \mathbf{E}_{T_2}$$

$$\mathbf{P}_n = \mathbf{G} + \mathbf{E}_P + \mathbf{E}_{T_n}$$

$$\bar{\mathbf{P}} = \mathbf{G} + \mathbf{E}_P + \frac{1}{n} \sum_i \mathbf{E}_{T_i}$$

Predição de desempenhos futuros

Exemplo: Predizer o próximo desempenho com base em uma **média de n lactações** da vaca.

$$\bar{P} = \frac{1}{n} (P_1 + P_2 + \dots + P_n)$$

$$\sigma_{\bar{P}}^2 = \frac{1}{n^2} \text{Var} (P_1 + P_2 + \dots + P_n)$$

$$\sigma_{\bar{P}}^2 = \frac{1}{n^2} [n \sigma_P^2 + n(n-1) \text{Cov} (P_i, P_j)]$$

Predição de desempenhos futuros

$$t = \frac{\text{Cov}(P_i, P_j)}{\sigma_P^2} \Rightarrow \text{Cov}(P_i, P_j) = t \sigma_P^2$$

$$\sigma_{\bar{P}}^2 = \frac{1}{n} \left[\sigma_P^2 + (n-1) t \sigma_P^2 \right]$$

$$b_{P_i \bar{P}} = \frac{t \sigma_P^2}{\sigma_{\bar{P}}^2} = \frac{t \sigma_P^2}{\frac{1}{n} [\sigma_P^2 + (n-1) t \sigma_P^2]}$$

$$= \frac{n t \sigma_P^2}{[1 + (n-1) t] \sigma_P^2} = \frac{n t}{1 + (n-1) t}$$

Exemplo 1: Em um rebanho com média de produção de leite de 3000 kg, uma vaca produziu 4000 kg de leite em uma lactação. Qual é a sua capacidade provável de produção? (com $t = 0,5$)

$$CPP = \bar{P}_R + \frac{n t}{1 + (n - 1) t} (\bar{P}_A - \bar{P}_R)$$

$$CPP = 3000 + 0,5(4000 - 3000) = 3500 \text{ kg}$$

Dos 1000 kg acima da média:

⇒ **500 kg: capacidade inerente do animal**

⇒ **500 kg: condições temporárias de meio**

Exemplo 2: No mesmo rebanho, calcule a CPP das seguintes vacas:

Vaca A : tem uma única produção de 5000 kg

Vaca B: tem uma média de 4650 kg em 2 lactações

Vaca C: tem uma média de 4600 kg em 4 lactações

$$CPP_A = 3000 + 0,5(5000 - 3000) = 4000 \text{ kg}$$

$$CPP_B = 3000 + \frac{\overbrace{2 * 0,5}^{0,66}}{1 + 0,5} (4650 - 3000) = 4100 \text{ kg}$$

$$CPP_C = 3000 + \frac{\overbrace{4 * 0,5}^{0,80}}{1 + 3 * 0,5} (4600 - 3000) = 4280 \text{ kg}$$

Capacidade Provável de Transmissão (CPT):

$$CPT = \bar{P}_R + \frac{n h^2}{1 + (n - 1) t} (\bar{P}_A - \bar{P}_R)$$

Exemplo: Se h^2 0,25

$$CPT_c = 3000 + \frac{\overbrace{4 * 0,25}^{0,40}}{1 + 3 * 0,5} (4600 - 3000) = 3640 \text{ kg}$$

Pesos à desmama – progênie de 5 vacas

N.º de registros	Pesos á desmama (desvio)			Desvio médio	b	CMPP
	1	2	3			
3	+27,0	+12,0	+13,0	+17,3	0,67	+11,5
2	+19,0	+15,6	-	+17,3	0,57	+9,9
3	-10,0	+5,0	-3,0	-2,7	0,67	-1,8
1	-20,0	-	-	-20,0	0,40	-8,0
1	+20,0	-	-	+20,0	0,40	+8,0

Repetibilidade de mensurações múltiplas

Repetibilidade de uma característica	Número de medidas			
	2	3	4	6
0,10	0,18	0,25	0,31	0,40
0,20	0,33	0,43	0,50	0,60
0,30	0,46	0,56	0,63	0,72
0,40	0,57	0,67	0,73	0,80
0,60	0,75	0,82	0,86	0,90
0,80	0,89	0,92	0,94	0,96

- ✓ Quando R é ALTA, descarte de animais de baixa produção com base em seu primeiro registro
- ✓ Quando R é BAIXA aguarde mais registros antes de tomar uma decisão de descarte

R e ganho em acurácia

Maior número de observções → Mais informação → Maior acurácia

- ✓ **Maiores custos de produção**
- ✓ **Manter todos os animais**
- ✓ **Aumento do intervalos entre gerações**

quanto ganhamos relativamente em tomar n registros de uma mesma característica?

Otimizar *ganho vs. custos*

Estimativas de repetibilidade para diferentes características econômicas

Bovinos de Corte

	t
Peso ao nascer	0,20 - 0,30
Peso ao desmame	0,30 - 0,50
Ganho diário até a desmama	0,15 - 0,20

Bovinos Leiteiros

Produção de leite	0,35 - 0,40
Produção de gordura	0,35 - 0,45
Porcentagem de gordura	0,50 - 0,70
Intervalo de partos	0,01 - 0,10
N.º serviços/concepção	0,01 - 0,05

Estimativas de repetibilidade para diferentes características econômicas

Suínos

Tamanho da leitegada ao nascer	0,05 - 0,15
Tamanho da leitegada ao desmame	0,08 - 0,10
Peso da leitegada ao nascimento	0,12 - 0,25
Peso da leitegada ao desmame	0,05 - 0,20
Intervalo de partos	0,10 - 0,25

Aves

Peso do ovo	0,80 - 0,95
Forma do ovo	0,90 - 0,95
Peso da casca	0,60 - 0,80
N.º de ovos	0,70 - 0,85

Resumindo

	Herdabilidade sentido estrito	Repetibilidade
Relação de Variâncias	$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$	$R = \frac{V_A + V_D + V_I + V_{Ep}}{V_P}$
Predição	$\hat{A}_i = h^2(x_i - \bar{x})$ $\hat{A}_i = \frac{n}{1 + (n-1)R} h^2(\bar{x}_i - \bar{x})$	$PM\hat{P}_i = \bar{x} + R(x_i - \bar{x})$ $PM\hat{P}_i = \bar{x} + \frac{n}{1 + (n-1)R} R(\bar{x}_i - \bar{x})$
Momento de Ação	Próxima geração	Geração presente
Uso	Seleção de reprodutores	Refugo de produtores
Indica	Maior $h^2 \rightarrow$ Maior r_{AP}	Maior $R \rightarrow$ Maior r_{P1P2}
Da idéia de	Estratégia; métodos de seleção	Número de registros necessários