



PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.

Parâmetros genéticos – Repetibilidade

Marcilio Dias Silveira da Mota

Prof. Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal, FMVZ – Unesp, Câmpus de Botucatu. E-mail: mdsмота@fca.unesp.br

Repetibilidade (t)

O melhoramento genético freqüentemente obriga os criadores a tomar importantes decisões, seleção e descarte são alguns exemplos. Na seleção a decisão é se determinado animal deve ou não ser escolhido para formar a geração seguinte, enquanto no descarte decide-se se o animal continuará ou não formando a geração seguinte. As decisões de seleção utilizam informações de herdabilidade das características e suas associações, as de descarte empregam o conhecimento da repetibilidade destes caracteres. A seleção objetiva melhorar a geração seguinte, o descarte a atual.

A repetibilidade¹, parâmetro genético definido somente para características repetíveis, pode apresentar, assim como a herdabilidade, diferentes interpretações.

A primeira delas refere-se a repetibilidade como uma mensuração da intensidade de relação entre desempenhos (valores fenotípicos) repetidos, tomados em momentos distintos da vida do

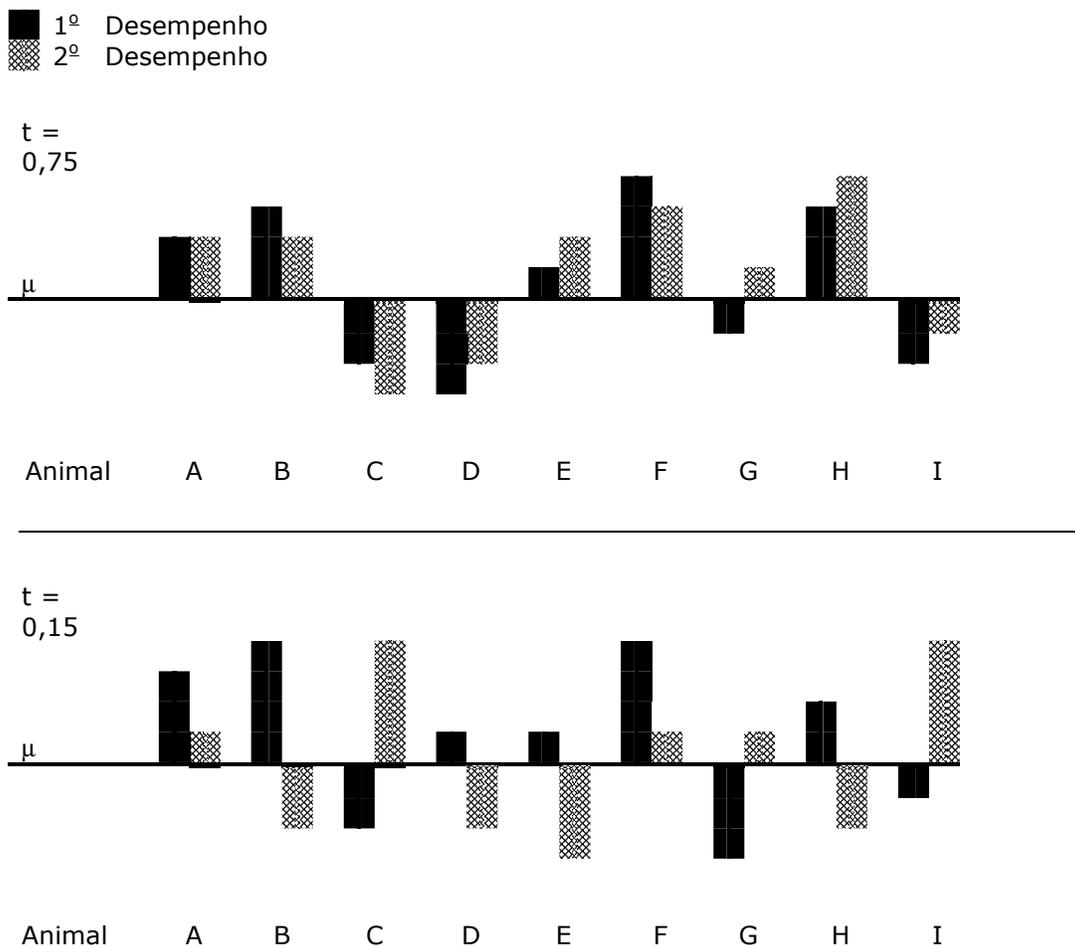
¹ o termo repetibilidade empregado neste capítulo difere do normalmente utilizado em publicações de bovinos leiteiros, onde significa acurácia de predição

animal, para uma característica numa população. Desta forma definida, a repetibilidade seria uma correlação entre registros de valores fenotípicos repetidos e poderia ser descrita da seguinte forma:

$t = r_{F1,F2}$, onde F1 e F2 representam dois desempenhos para determinada característica, mensurados no mesmo animal, em ocasiões diferentes.

Em termos gráficos, esta definição de repetibilidade poderia ser ilustrada considerando animais amostrados em uma população e medidos duas vezes para a mesma característica; 9 animais em uma característica de alta repetibilidade (Figura a)) e outros 9 em um de baixa (Figura b)).

Figura - Representação esquemática de dois desempenhos de 9 animais para duas características com repetibilidades diferentes



Observa-se na figura anterior que em características de alta repetibilidade, animais com o primeiro desempenho acima (abaixo) da média normalmente também apresentam o segundo acima (abaixo) dela, e com intensidades similares. Nesse sentido, em caracteres de alta repetibilidade o primeiro desempenho do animal é, em média, um bom indicador do segundo, ao passo que em características de baixa repetibilidade isto não acontece.

Assim como a herdabilidade, a repetibilidade varia de 0 a 1 ou 100%, sendo baixa até valores próximos a 0,2 e alta acima de 0,40 ou 40% (ver Tabela a seguir).

Tabela - Estimativas de repetibilidade para alguns caracteres nas espécies domésticas

Espécie	Característica	Repetibilidade (t)
Bovinos de Corte	Mensurações do corpo	0,35
	Peso ao nascer	0,20
	Peso à desmama	0,45
	Peso aos 15 meses	0,75
	Classificação da carcaça	0,45
	Período de serviço	0,10
	Velocidade de ganho em peso	0,65
	Intervalo entre partos	0,15
Bovinos de Leite	Serviços por concepção	0,15
	Produção de leite	0,50
	Produção de gordura	0,50
	Produção de proteína	0,55
	Produção de sólidos totais	0,50
	% de gordura	0,75
	% de proteína	0,70
	Localização da teta	0,55
	Longevidade	0,15
	Estatura	0,75
Cavalos	Tempo de corrida	0,41
	Colocação em corridas	0,21
	Habilidade de apartação	0,22
	Melhor tempo de corrida (anual)	0,65
	Número de largadas	0,34
	Número de vitórias	0,28
	Escore para trote	0,77
	Escore para galope	0,75
	Habilidade para salto - sem cavaleiro	0,58
	Habilidade para salto - com cavaleiro	0,47
Suínos	Tamanho da leitegada (nascer)	0,15
	Tamanho da leitegada (desmama)	0,10
	Peso ao desmame	0,15
	Peso aos 21 dias	0,15
	Peso aos 56 dias	0,20
	Conversão alimentar	0,35
	Intervalo entre partos	0,16
Aves	Peso do ovo	0,85
	Forma do ovo	0,95
	Peso da casca	0,70
	Espessura da casca	0,65
Ovinos	Peso ao nascer	0,35
	Peso ao desmame - 60 dias	0,25
	Número de cordeiros	0,20
	Peso do velo limpo	0,60
	Peso do velo sujo	0,40
	Comprimento da fibra	0,60
	Diâmetro da fibra	0,60

* Média de diversos autores

Uma segunda definição para repetibilidade envolve o conceito de capacidade (habilidade) de produção, ou seja, o potencial de desempenho de um animal para uma característica repetível. A capacidade de produção é função de todos os fatores que afetam “permanentemente” o potencial de desempenho de um animal. Por exemplo, o potencial de produção leiteira de uma vaca depende do valor genotípico, e seus componentes aditivos, de dominância e epistasia) para o caráter, valores determinados na concepção do animal e que o afetam por toda a vida (permanentemente). Além disso, conforme mostrado anteriormente, existem fatores ambientais que também podem influenciar o potencial de produção dos animais de modo permanente (mutilações, injúrias, restrição alimentar intensa em estágios iniciais da vida do animal), chamados efeitos de ambiente permanente. Assim, a capacidade de produção para uma dada característica repetível pode ser representada como uma combinação de fatores genéticos e de ambiente permanente, ou seja: Capacidade de produção = valor genotípico para a característica + efeitos de ambiente permanente

Decompondo-se o valor genotípico,

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Capacidade de} & \text{valores} & & \text{desvios de} & & \text{desvios} & & \text{efeitos de} \\ \text{produção} & \text{genéticos} & + & \text{dominância} & + & \text{epistáticos} & + & \text{ambiente} \\ = & \text{os} & & & & \text{os} & & \text{permanente} \end{array}$$

Valor genotípico

Uma vez que a capacidade de produção não é exclusivamente de origem genética, sua importância é menor para criadores que comercializam reprodutores elite (mais interessados no valor genético dos animais), mas de grande utilidade em criações comerciais, já que determina a quantidade de “produto” (desempenho) que poderá ser utilizada. Esta quantidade de produto não depende apenas do mérito

genético dos animais, mas também do ambiente permanente. O exemplo a seguir distingue estas duas situações.

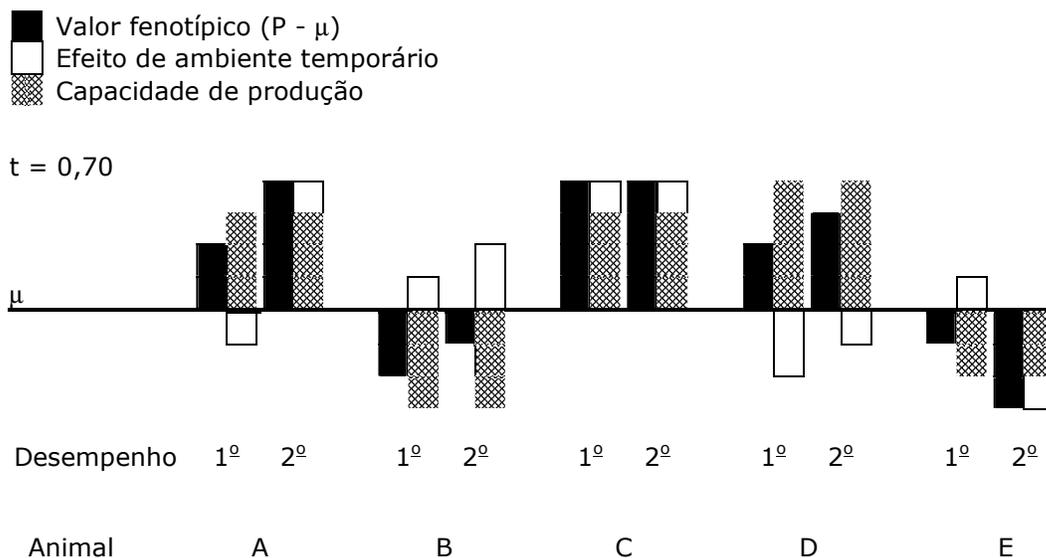
Em competições de salto para eqüinos, por exemplo, não se deve apostar no animal com maior valor genético, e sim no de capacidade de produção mais alta, uma vez que o desempenho em salto depende também de fatores de ambiente permanente (treinamento) afetando o animal. Por outro lado, quando o objetivo é produzir progênie com desempenho médio em salto superior, o valor genético seria a informação mais útil.

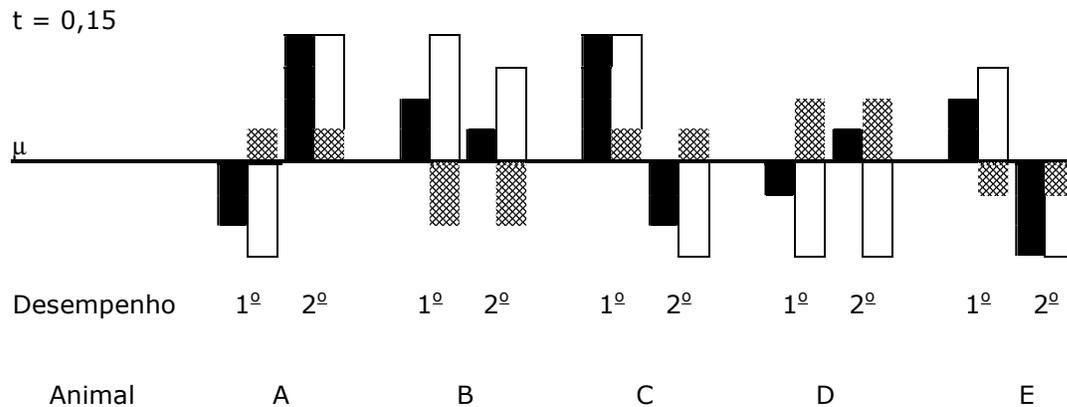
Diante do exposto, pode-se definir repetibilidade como a intensidade de relação (na verdade uma correlação (r) ao quadrado) entre um único registro de desempenho e a capacidade de produção, ou seja, $t = r^2_{F,CP}$, sendo F um registro de desempenho e CP a capacidade de produção.

A representação gráfica desta definição poderia ser ilustrada da seguinte forma

(adaptado de Bourdon, 2000):

Figura - Representação esquemática de dois desempenhos em 5 animais para duas características de repetibilidades diferentes

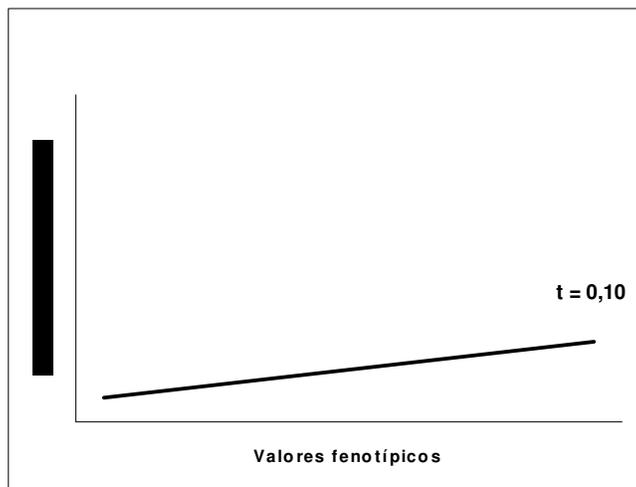
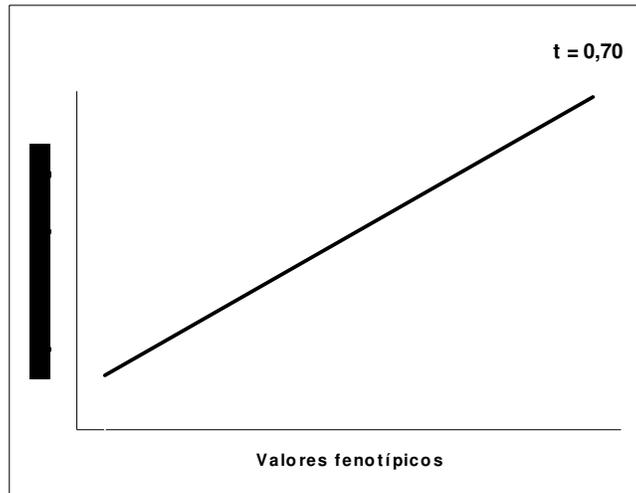




A figura acima mostra que em características de repetibilidade alta (Figura a)), valores fenotípicos (desempenhos) acima (abaixo) da média normalmente associam-se a capacidades de produção também acima (abaixo) da média, e a magnitude de ambos tende a ser semelhante. Além disso, uma única informação de desempenho dos animais representa boa indicativa de suas capacidades de produção para determinada característica. Por exemplo, a repetibilidade das características relacionadas aos constituintes do leite (gordura, proteína, sólidos totais, etc) em bovinos são relativamente altas ($> 0,50$). Portanto, uma única lactação dos animais estima acuradamente a capacidade de produção dos animais para estes caracteres, e a espera por uma segunda lactação pouca informação acrescentaria.

No entanto, quando a repetibilidade da característica é baixa (Figura b)), a informação contida em um único registro de desempenho representa pouco acerca da capacidade de produção dos animais. Em características desta natureza, como as relacionadas a aspectos reprodutivos e de adaptabilidade dos animais, deve-se esperar 2 ou 3 desempenhos antes de decidir quem descartar do rebanho.

Da mesma forma que a herdabilidade pode ser definida em termos de regressão dos valores genéticos sobre os fenotípicos, a repetibilidade pode ser interpretada como uma regressão da capacidade de produção sobre os valores fenotípicos. Nesse sentido, poder-se-ia defini-la como a mudança esperada na capacidade de produção para cada unidade de alteração nos valores fenotípicos, em uma característica numa população ($t = b_{CP.F}$).



Observa-se na figura anterior que em características de repetibilidade alta ($t = 0,70$) ocorrem grandes mudanças na capacidade de produção por unidade de alteração nos valores fenotípicos, ao passo que nas de baixa repetibilidade ($t = 0,10$), grandes mudanças nestes valores representam pouca alteração na capacidade de produção dos animais.

Outra possibilidade para se expressar a repetibilidade provém do modelo genético para características repetíveis apresentado anteriormente: $\sigma^2_F = \sigma^2_{\text{Genotípica}} + \sigma^2_{\text{Ambiente permanente}} + \sigma^2_{\text{Ambiente temporário}}$ ².

Como visto, os dois primeiros termos após a igualdade ($\sigma^2_{\text{Genotípica}}$ e $\sigma^2_{\text{Ambiente permanente}}$) representam fatores que afetam permanentemente o potencial de produção dos animais, ou seja, a porção da característica que tende a se repetir de uma a outra medição (capacidade de produção). Dividindo-a pela variância fenotípica total, obtém-se a repetibilidade da característica. Logo, a repetibilidade seria a fração da variância fenotípica da característica que é devida aos efeitos conjuntos do genótipo e de ambiente permanente.

$t = (\sigma^2_{\text{v.genotípico}} + \sigma^2_{\text{Ambiente permanente}}) / \sigma^2_F$, ou em sua decomposição,

$$t = (\sigma^2_{\text{v.genético}} + \sigma^2_{\text{Desvios Dominância}} + \sigma^2_{\text{Desvios Espistáticos}} + \sigma^2_{\text{Ambiente permanente}}) / (\sigma^2_{\text{v.genético}} + \sigma^2_{\text{Desvios Dominância}} + \sigma^2_{\text{Desvios Espistáticos}} + \sigma^2_{\text{Ambiente permanente}} + \sigma^2_{\text{Ambiente temporário}})$$

O numerados das expressões representam as variâncias devido às diferenças permanentes entre os animais, enquanto que o denominador além delas inclui-se as diferenças temporárias de meio ambiente, as quais se distribuem ao acaso nos indivíduos. Além

² quando uma característica é mensurada em diferentes ocasiões, p.e. produção de lã em “n” tosquiadas, com um determinada produção de lã média (PLM) nessas “n” medidas, a variância fenotípica ($\sigma^2_{F_n}$) poderia ser expressa como $\sigma^2_{F_n} = \sigma^2_G + \sigma^2_{EP} + 1/n \sigma^2_{ET}$. Isso significa que, em medições repetidas, as diferenças devido ao ambiente temporário reduzem-se a $1/n \sigma^2_{ET}$.

disso, uma vez que a repetibilidade abrange toda variação genotípica e uma parte da variância ambiental (ambiente permanente), sua estimativa corresponde ao limite superior da herdabilidade. Esquemáticamente, pode-se visualizar tal relação da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Herdabilidade} &= \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2} \quad \text{ou} \quad \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_{DD}^2 + \sigma_{DE}^2 + \sigma_{EP}^2 + \sigma_{ET}^2} \\ \text{e} \\ \text{Repetibilidade} &= \frac{\sigma_G^2 + \sigma_{EP}^2}{\sigma_F^2} \quad \text{OU} \quad \frac{\sigma_A^2 + \sigma_{DD}^2 + \sigma_{DE}^2 + \sigma_{EP}^2}{\sigma_A^2 + \sigma_{DD}^2 + \sigma_{DE}^2 + \sigma_{EP}^2 + \sigma_{ET}^2} \end{aligned}$$

Observa-se que a parte em destaque da expressão da repetibilidade representa a herdabilidade em sentido restrito. Assim, a repetibilidade também poderia ser expressa incluindo-se tal parâmetro, ou seja,

$$\text{Repetibilidade} = h^2 + \frac{\sigma_{DD}^2 + \sigma_{DE}^2 + \sigma_{EP}^2}{\sigma_F^2}$$

Portanto, no máximo a herdabilidade poderá ser igual a repetibilidade (considerando que as informações utilizadas para estimar ambos parâmetros sejam as mesmas), quando os termos σ_{DD}^2 , σ_{DE}^2 e σ_{EP}^2 forem iguais a zero.

Capacidade Mais Provável de Produção (CMPP)

Assim como a herdabilidade é requerida na predição do valor genético e da resposta à seleção, a repetibilidade é necessária para se predizer a capacidade de produção dos animais, e quaisquer outras predições que envolvam desempenhos repetidos. Como uma correlação entre “n” observações de uma característica, em um mesmo animal, a repetibilidade permite a previsão de futuros

desempenhos, utilizando-se informações de uma ou mais mensurações anteriores, isto é, sua CMPP.

$$CMPP = \frac{n \cdot t}{1 + (n-1) \cdot t} (M_A - M_P)$$

onde:

n = número de desempenhos em dada característica

t = repetibilidade da característica

M_A = média dos desempenhos do animal para a característica

M_P = média da população para a característica

O termo $n \cdot t / (1 + (n-1) \cdot t)$ da expressão anterior representa a regressão da capacidade de produção sobre as médias dos registros (desempenhos) repetidos do animal, ao passo que $(M_A - M_P)$ determina o desvio destes desempenhos em relação a média da população.

Quando o animal apresenta informação de apenas 1 desempenho, a CMPP resume-se a: $CMPP = t \cdot (M_A - M_P)$, expressão bastante similar a predição do valor genético de um animal com somente 1 desempenho ($PVG = h^2 (M_A - M_P)$), mudando-se apenas os parâmetros t por h^2 .

Por exemplo, considere em rebanho leiteiro onde a repetibilidade para produção de leite seja 0,5 e a média de produção das vacas para esta característica 4.000 kg/lactação. Se determinada vaca "A" produziu na 1ª lactação 4.200 kg, sua CMPP seria:

$$CMPP_A = 0,5 + (4.200 - 4.000)$$

$CMPP_A = 100$ kg, ou seja, 100 kg acima da média do rebanho.

Acrescida à média da população, a CMPP funciona como um preditor do próximo registro de desempenho do animal. Considerando-se o exemplo anterior, tem-se:

$$F_A = \mu + CMPP_A$$

onde:

F_A = predição da produção de leite da vaca A na próxima lactação

μ = média de produção de leite na população

$CMPP_A$ = capacidade mais provável de produção da vaca A para produção de leite

Assim,

$$F_A = 4.000 + 100$$

$$F_A = 4.100 \text{ kg}$$

Logo, a previsão de produção de leite da vaca A é 4.100 kg/lactação. Com efeito, o desempenho em seu próximo registro é uma predição aproximada, uma vez que impossível precisar o efeito de ambiente temporário que nele atuará.

Se da vaca A apresentada fosse conhecida uma 2ª lactação, também com 4.200 kg de leite, então sua CMPP seria:

$$CMPP_A = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot (4.200 - 4.000)}{1 + (2-1) \cdot 0,5}$$

$$CMPP_A = 0,67 \times 200$$

$$CMPP_A = 134 \text{ kg}$$

e a predição de produção na próxima lactação seria,

$$F_A = 4.000 + 134$$

$$F_A = 4134 \text{ kg}$$

Observa-se que, embora a produção de leite da vaca A não tenha se alterado da 1ª para a 2ª lactação, sua CMPP é maior em função do aumento no número de registros (1 para 2) que compõem a expressão. Em outras palavras, isto representa um aumento na acurácia de predição da capacidade de produção, expressa pela raiz quadrada do coeficiente de regressão desta capacidade sobre os valores fenotípicos, ou;

Acurácia de predição da capacidade de produção =

$$\left[\frac{n \cdot t}{1 + (n-1) \cdot t} \right]^{1/2}$$

A CMPP calculada para os animais de um rebanho gera uma classificação (“ranking”) relativa entre eles (ponderado para o número de informações e repetibilidade) para determinada característica, facilitando decisões de descarte. Por exemplo, considere as informações a seguir de 3 porcas pertencentes a uma população onde a média de leitões nascidos por fêmea seja igual a 10, e a repetibilidade desta característica 0,15.

Porca	Nº de partos	Leitões/parto			Média
		1º	2º	3º	
A	1	10	-	-	10
B	2	8	10	-	9
C	3	10	8	13	10,33

$$CMPP_A = \frac{1 \cdot 0,15 \cdot (10 - 10)}{1 + (1-1) \cdot 0,15}$$

$$CMPP_A = 0 \text{ leitão}$$

$$CMPP_B = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot (9 - 10)}{1 + (2-1) \cdot 0,15}$$

$$CMPP_B = -0,26 \text{ leitão}$$

$$CMPP_C = \frac{3 \cdot 0,15 \cdot (10,33 - 10)}{1 + (3-1) \cdot 0,15}$$

$$CMPP_C = 0,11 \text{ leitão}$$

Logo, a fêmea A teria CMPP igual a média do rebanho (10 + 0 = 10 leitões), a B abaixo dela (10-0,26 = 9,74 leitões) e C acima (10 +0,11 = 10,11 leitões). Portanto, a fêmea B seria a primeira sujeita a descarte na população, considerando-se esta característica.

Idéias erradas e Considerações finais acerca da Repetibilidade

Assim como a herdabilidade, a repetibilidade é uma mensuração populacional de uma característica e não se aplica a um animal, individualmente. Não é correto, portanto, dizer que um animal tem alta ou baixa repetibilidade. Além disso, pelos mesmos motivos apresentados para a herdabilidade, sua estimativa não é fixa, varia entre populações e ambientes e dentro da mesma população ao longo do tempo. Pode-se aumentá-la utilizando-se os mesmos princípios considerados para herdabilidade.

Quanto mais alta a repetibilidade de uma característica, menor o valor de registros repetidos para sua seleção, ou seja, o desempenho do primeiro registro é um bom indicativo do mérito genético do animal, e registros subseqüentes aumentam muito pouco a acurácia (Simm, 1998). Por outro lado, se a repetibilidade é baixa, o primeiro registro é pouco eficiente para indicar futuros desempenhos, devendo-se esperar novos registros dos animais.

A Tabela a seguir mostra o progresso quando a seleção entre animais com “n” desempenhos cada um, como um múltiplo do progresso que se esperaria se a seleção entre eles fosse baseada em um único desempenho (Lush, 1945).

Tabela - Valores de repetibilidade associados ao número de observações (n)

Repetibilidade									
n	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
2	1,35	1,29	1,24	1,20	1,15	1,12	1,08	1,05	1,03
3	1,58	1,46	1,37	1,29	1,22	1,17	1,12	1,07	1,04
4	1,75	1,58	1,45	1,35	1,26	1,20	1,24	1,08	1,04
6	2,00	1,73	1,55	1,41	1,31	1,22	1,15	1,10	1,04
10	2,29	1,89	1,64	1,47	1,35	1,25	1,17	1,10	1,05

Esta tabela baseia-se na expressão da eficiência de “n” (E_n) registros em relação a eficiência de 1 único (E_1), descrita como $E_n = E_1$

$\cdot \sqrt{\frac{n}{1 + (n - 1) \cdot t}}$, sendo a eficiência de uma só medida (E_1), considerada igual a 1. De modo geral, observa-se que aumentos no número de registros são vantajosos quando a repetibilidade é menor que 0,5.

Por exemplo, considerando-se uma característica com repetibilidade igual a 0,1, a eficiência de 3 registros compara a de somente 1, seria:

$$E_3 = 1 \cdot (3 / 1,2)^{1/2}$$

$E_3 = 1,58$ ou 58% mais eficiente

Caso a característica envolvida apresentasse repetibilidade igual a 0,7, esta eficiência seria bem mais baixa:

$$E_3 = 1 \cdot (3 / 2,4)^{1/2}$$

$E_3 = 1,12$ ou 12% mais eficiente

O conceito de repetibilidade deve ser acompanhado por duas suposições básicas (Falconer e Mackay, 1996). A primeira delas é que a variância das diferentes mensurações é igual, e seus componentes têm a mesma proporção. A segunda assume que o desempenho em diferentes ocasiões é controlado exatamente pelos mesmos genes. No entanto, mesmo quando uma única característica é mensurada diversas vezes, diferentes genes podem influenciá-la em distintas ocasiões. Por exemplo, búfalas de primeira lactação com produção de leite mais alta que suas contemporâneas de rebanho, normalmente têm produção superior em lactações subseqüentes (e vice-versa), mas nem todos os genes que influem na primeira lactação atuam sobre as demais (Simm, 1998). Assim, se os genes que atuam na produção de leite da 1ª lactação de búfalas não são os mesmos que controlam, por exemplo a produção de leite na 4ª lactação, poder-se-ia considerá-las como dois caracteres-distintos, isto é, produção de leite na 1ª lactação e produção de leite na 4ª lactação, ao invés de produção de leite com várias repetições.

MOTA, M.D.S. Parâmetros genéticos – Repetibilidade. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 17, Ed. 122, Art. 826, 2010.

Bibliografia

Bourdon, R.M. Understanding Animal Breeding. Prentice Hall, 2nd edition, 523p. 2000.

Falconer, D.S.; Mackay, F.C. Introduction to Quantitative Genetics. 4th edition Longman Group Ltda., Essex, Inglaterra, 464p. 1996.

Lush, J.L. Animal Breeding Plans. Iowa State College Press, 3th edition, 443p., 1945.

Simm, G. Genetic improvement of cattle and sheep. Farming Press, Ipswich, Reino Unido, 433p. 1998.