

ECOSSISTEMA, revista oficial da Faculdade de Agronomia e Zootecnia "Manoel Carlos Gonçalves", Espírito Santo do Pinhal-SP.

EDIÇÃO: anual

IDIOMAS PARA PUBLICAÇÃO: a língua oficial é o português, mas artigos em outros idiomas serão aceitos desde que incluam resumos em português e inglês.

DISTRIBUIÇÃO: para escolas de Agronomia e Zootecnia, Institutos de Pesquisas nacionais e internacionais, assim como firmas relacionadas à agropecuária.

CORPO EDITORIAL

EDITORA-CHEFE:
Maria Helena Calafiori

EDITORES AUXILIARES:
Nilva Teresinha Teixeira
Nilza Teixeira Leite
Maurício S. Honda
Luiz Marcelo Appezatto

ASSESSOR:
Romildo Miranda

EDITOR FUNDADOR:
Sérgio Batista Alves

SECRETARIA: Egle Bertucci

GRÁFICOS: Luiz Alberto Romon

COMPOSIÇÃO: Egle Bertucci

REVISÃO: Mara Cristina Capassi

ASSINATURA: nº 13 - 0,5 OTN

ENDEREÇO/ADDRESS
Faculdade de Agronomia e Zootecnia "Manoel Carlos Gonçalves",
Avenida Hélio Vergueiro Leite, s/n
CEP 13.990 - Espírito Santo do Pinhal - São Paulo - Brasil.

ECOSSISTEMA, is the official journal of Faculty of Agronomy and Zootechnology "Manoel Carlos Gonçalves", Espírito Santo do Pinhal-SP.

EDITION: annual

LANGUAGES OF PUBLICATION: the official languages is Portuguese, but the papers can be written in other languages. All papers must include abstract in Portuguese and English.

DISTRIBUTION: to national and international members of Agronomy and Zootechnology school and research Institutions.

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:
Maria Helena Calafiori

ASSISTANT EDITORS:
Nilva Teresinha Teixeira
Nilza Teixeira Leite
Maurício S. Honda
Luiz Marcelo Appezatto

ASSOCIATE EDITOR:
Romildo Miranda

FOUNDER EDITOR:
Sérgio Batista Alves

SECRETARY: Egle Bertucci

PRINTERS: Luiz Alberto Romon

COMPOSER: Egle Bertucci

REVISER: Mara Cristina Capassi

BASES GENÉTICAS E EVOLUTIVAS PARA A DIVERGENCIA

DAS ESPÉCIES DE BOVINOS

P. F. Barbosa¹

DEPAE / SÃO CARLOS
5955 S / D
SEPARATAS

¹ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na Unidade de Execução de Pesquisa de Ambiente Estadual (UEPAE) de São Carlos, Caixa Postal 339, 13560 - São Carlos, SP.
Aceito para publicação em 18/03/88.

RESUMO

As bases genéticas e evolutivas para a divergência entre as duas espécies de bovinos *Bos taurus* (Europeu) e *Bos indicus* (Zebu), são discutidas neste trabalho com base nas evidências experimentais encontradas na literatura. As diferenças morfológicas e fisiológicas entre as espécies talvez não sejam de valor seletivo para o Zebu. Os dados disponíveis sobre polimorfismos de proteínas, indicam que o Zebu é bastante distinto do gado Europeu, principalmente pelo fato de que a soma das substituições gênicas entre as espécies é aproximadamente 36, enquanto dentro da espécie *Bos taurus* aquela soma varia de 14 a 23. Assim, as espécies domésticas de bovinos são distintas quanto à sua origem, muito embora não haja isolamento reprodutivo entre elas.
PALAVRAS-CHAVES: bovinos, divergência, evolução, polimorfismos proteicos, Zebu, gado Europeu.

ABSTRACT

GENETIC AND EVOLUTIONARY BASES FOR
THE DIVERGENCE OF BOVINE SPECIES

Genetic and evolutionary bases for the divergence between the two species of bovine, *Bos taurus* (European cattle) and *Bos indicus* (Zebu cattle) are discussed in this paper based on the experimental evidences found in the literature. Morphological and physiological differences between these species may not be of selective advantage to the Zebu cattle. The data presently available on protein polymorphisms would indicate that Zebu cattle are very distinct from European cattle. The sum of gene substitutions between *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle is about 36, while figures ranging from 14 to 23 are found within the *Bos taurus* species. Thus, for domesticated species of bovine

PROCI-1988.00003

BAR

1988

SP-1988.00003

The species are distinct with regard to their origin, although there is lack of reproductive isolation between *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle.

KEY WORDS: bovine, genetic divergence, evolution, biochemical polymorphisms, Zebu cattle, European cattle.

A domesticação de animais e plantas pelo homem foi a base do estabelecimento das civilizações antigas do mundo. Tanto o contato constante com os animais, que o homem cava para sua alimentação, como o desenvolvimento não intencional de relações sociais com os animais, parecem ter contribuído para que o homem domesticasse os animais. Os bovinos foram domesticados na primeira fase da agricultura (ZEJNER, 32), embora não haja evidência clara de sua domesticação antes do ano 5.000 a. C.. Os bovinos eram a principal fonte de leite, carne e tração e desempenham um papel economicamente muito importante na vida humana, desde os tempos pré-históricos até hoje.

A maioria das espécies de mamíferos domesticados pelo homem pertence à família Bovidae, que inclui os bovinos. Os bovídeos são classificados em 5 gêneros, a saber: Bibos, Bison, Bos, Bubalus e Syncerus (EPSTEIN, 8). Este trabalho é referente aos animais domésticos do gênero Bos, o qual compreende duas espécies de acordo com a classificação de Linu: *Bos taurus* e *Bos indicus*. O objetivo deste trabalho é considerar as bases genéticas e evolutivas como prováveis explicações para a divergência existente entre as duas espécies domésticas de bovinos.

Aspectos evolutivos

Os bovinos domésticos do grupo taurino (*Bos taurus*) foram divididos de acordo com as diferenças na conformação cranial, em três tipos básicos (EPSTEIN, 8): (1) *Bos taurus primigenius*; (2) *Bos taurus brachyceros*; (3) *Bos taurus frontosus*. O último tipo, entretanto, tem sido considerado como uma variação do *Bos taurus primigenius*. Assim, dois tipos básicos são geralmente aceitos, a saber: os taurinos de chifres longos (*Bos taurus primigenius*) e os taurinos de chifres curtos (*Bos taurus brachyceros*), sendo que ambos não apresentam cupim ou giba. Além desses dois tipos, outro tipo de bovinos domésticos geralmente aceito como diferente dos demais é o Zebu, *Bos indicus* (EPSTEIN, 8), que apresenta cupim. Assim, de acordo com a presença ou não de cupim ou giba, dois grupos de bovinos são reconhecidos na literatura (EPSTEIN, 8; MASON, 19; MAIK, 24): *Bos taurus* e *Bos indicus*. De acordo com a localização do cupim, os zebunos podem ser classificados em torácicos e cervico-torácicos (EPSTEIN, 8). A origem, classificação e distribuição geográfica dos bovinos sem cupim (taurinos) são bastante claras, de acordo com a literatura consultada. Estes bovinos foram domesticados há aproximadamente dez mil anos em algum lugar do que hoje chamamos de Oriente Médio (MASON, 19). Além disso, sabe-se da existência de bovinos com cupim cervico-torácico na Mesopotâmia e Paquistão por volta do ano 3.000 a.C. (MASON, 19).

A origem do gado Zebu, entretanto, é controversa. Tem sido sugerido que os bovinos com cupim do tipo cervico-torácico originaram-se na região semi-árida da costa leste do deserto do Ira, no quarto milênio antes de Cristo,

de acordo com EPSTEIN (8). A teoria da origem africana do Zebu não pode ser sustentada, segundo MAIK (24), devido à falta de evidências pré-históricas e paleontológicas comprovando a existência de animais selvagens do gênero Bos na região tropical da África, no Pleistoceno, período geológico que ocorreu há mais de dez mil anos. A maioria das evidências científicas, de acordo com ZEJNER (32) e MASON (19), indica que o gado Zebu é originário do sub-continento indiano e, depois, distribuiu-se para o sudeste da Ásia e África. A teoria proposta por ZEJNER (32), parece ser a mais aceitável para explicar a origem do gado Zebu. De acordo com esta teoria, o Zebu é descendente do *Bos nomadicus*, gado selvagem encontrado na Índia no Pleistoceno. EPSTEIN (8), entretanto, afirma que tanto os zebunos com cupim torácico como aqueles com cupim cervico-torácico originaram-se na mesma região durante o terceiro milênio antes de Cristo. Além disso, EPSTEIN (8) atribui as características anatômicas e fisiológicas do Zebu à seleção artificial do gado de chifres longos em um ambiente quente e semi-árido. Mas, a questão básica ainda permanece, ou seja, por que a presença de cupim seria desejável ao homem naquela época, ou a natureza? Com respeito ao cupim torácico, acredita-se (EPSTEIN, 8) que o mesmo tenha se desenvolvido a partir do cupim cervico-torácico, que por sua vez, originou-se por seleção, da cernelha alta de bovinos de chifres longos. Esta hipótese não é sustentada por outros pesquisadores, como MAIK (24) por exemplo. Segundo MAIK (24) não há dúvida que a origem do Zebu deve ter sido na mesma época que a dos bovinos do tipo Primigenius (chifres longos), uma vez que ambos foram encontrados nos selos e gravuras das civilizações Mohenjo-daro e Harappan do Vale da Índia. Nas outras regiões da Índia, entretanto, somente foram encontradas figuras e quadros que retratavam bovinos de cupim. Esta conclusão é confirmada por ALLCHIN (1), que propôs que dois grupos diferentes de pessoas domesticaram os bovinos na Índia; um grupo constituído por caçadores da Idade da Pedra, domesticou algumas espécies autóctones de animais, enquanto o outro grupo era constituído por pastoralistas que vieram do oeste da Ásia. O gado do tipo Primigenius foi trazido para o Vale da Índia pelo segundo grupo. Entretanto, segundo ALLCHIN (1), a evidência da presença de gado do tipo Primigenius foi observada apenas no começo da civilização Harappan, uma vez que os bovinos devem ter perecido devido à falta de adaptabilidade ao clima tropical e, também à sua alta susceptibilidade às doenças tropicais. Portanto, os bovinos do tipo Primigenius não chegaram ao sul da Índia, onde não há evidências da presença desse tipo de gado; por outro lado, há evidência da presença de gado Zebu, naquela época, em todas as regiões da Índia.

Assim, tendo em vista as evidências apresentadas e discutidas até aqui, pode-se dizer que os bovinos com cupim (Zebu) não foram produzidos através de seleção a partir de populações de bovinos do grupo taurino (sem cupim), durante os séculos anteriores a 3.000 a. C. no Sul ou Sudoeste da Ásia, como sugerido por SANDERS (26). Além disso a existência de bovinos com cupim cervico-torácico, primeiro na Ásia e mais tarde na África, pode ter sido o resultado de cruzamento entre bovinos com e sem cupim, domesticados pelas civilizações Mohenjo-daro e Harappan, como mencionado anteriormente. Assim, é possível que os bovinos da atualidade intermediários entre aqueles sem cupim e com cupim torácico (como, por exemplo, o tipo "Sanga"), sejam descendentes dos bovinos produzidos pelos cruzamentos entre gado sem cupim e com cupim torácico, uma vez que (i) tamanho e locali-

zação do cupim são características quantitativas herdáveis, e (ii) gado com cupim cervico-torácico é geneticamente intermediário entre gado com cupim torácico e gado sem cupim em quase todos os casos.

Aspectos genéticos

De acordo com MASON (17), os bovinos europeus (*Bos taurus*) e zebrinos (*Bos indicus*) se reproduzem normalmente sem redução da fertilidade, tanto dos machos quanto das fêmeas cruzadas, nas gerações subsequentes. Por tanto, eles não deveriam ser considerados como espécies diferentes devido à falta de isolamento reprodutivo, de acordo com MAYR (20). De fato, MOURANT e ZEUDER (22), ao sumarizar o "Simpósio sobre o Homem e o Gado", apresentaram uma nomenclatura revisada das espécies de bovinos, preparada em parte por MASON (17). Na nomenclatura revisada, *Bos taurus* e *Bos indicus* são reduzidas na classificação ao estrato de "forma doméstica", com as seguintes denominações: *Bos primigenius* Bojanus (o urus ou auroque sulzagem da Europa, extinto em 1627); *Bos primigenius* f. d. *taurus* L. (bovino doméstico europeu); *Bos primigenius* f. d. *longicornis* Owen 1843 (bovino europeu de chifres curtos, sinônimo de *Bos bachtycerus* Rutmeyer 1861); e *Bos primigenius* f. d. *indicus* L. (zebu doméstico). Esta mudança foi justificada com base em três aspectos principais: (1) a falta de isolamento reprodutivo; (2) a existência de gradientes para certos caracteres morfológicos no sentido da Europa e Ásia em direção à Índia; e (3) variação gradual nas frequências gênicas da hemoglobina B.

Apesar disso, a maioria dos cientistas continua usando a classificação de Lineu, *Bos taurus* e *Bos indicus*, quando se refere aos bovinos sem cupim e com cupim, respectivamente. SANDERS (26) afirma que o uso do termo *Bos indicus* para denominar o gado bovino da África pode causar confusão, uma vez que ambos os tipos (com e sem cupim) podiam ser encontrados no continente africano antes da introdução do gado Europeu. Da mesma forma, o uso do termo "gado Europeu" para designar todos os bovinos sem cupim deveria ser evitado, de acordo com SANDERS (26), porque havia gado indígena sem cupim na Ásia, que mais tarde foi introduzido na África, antes que os europeus introduzissem seus bovinos naquele continente durante os últimos 500 anos.

Os aspectos mais importantes a serem discutidos, para auxiliar na resolução da controvérsia sobre a classificação taxonômica do gado indiano, podem ser englobados em duas categorias: (1) se há ou não diferenças genéticas entre as duas espécies de gado bovino; (2) supondo que haja diferenças genéticas entre elas, seria necessário avaliar as diferenças em termos de suas origens e valores adaptativos. Para atingir os objetivos propostos, três classes de diferenças serão consideradas, a saber: diferenças morfológicas, fisiológicas e polimórficas.

As diferenças morfológicas entre *Bos taurus* e *Bos indicus* se resumem a duas características anatómicas. A presença de cupim é a característica mais marcante do gado Zebu. Além do cupim, o gado Zebu como um todo (EPSTEIN, 8) nas vertébras dorsais anteriores.

O gado Zebu originário da Índia, encontra-se distribuído

pela

Outubro 1988

BARBOSA

9

maioria das regiões tropicais do mundo (MASON, 18). Entretanto, isto não comprova que suas características morfológicas peculiares são de valor seletivo em climas quentes. A evidência experimental dos trabalhos de McDO-MELL (21) sugere que o cupim, a barbeta e as orelhas pendentes do Zebu não são importantes na tolerância ao calor. Além disso, MASON (18) afirma que um cupim musculoso e gorduroso, bem como uma barbeta bem desenvolvida, não são características necessárias em gado tropical, uma vez que estas características não são encontradas nos bovinos tropicais selvagens ("banteng"), nos bovinos do Oeste da África e no gado Criollo da região tropical da América Latina. Com relação à "espinha bifida" do gado Zebu, EPSTEIN (8) concluiu que esta característica não tem valor seletivo direto. FRANCIS (9), entretanto, referiu-se às diferenças anatómicas e do comportamento existentes entre *Bos taurus* e *Bos indicus*, argumenta a favor de uma classificação específica e distinta para o gado Zebu.

Embora as peculiaridades morfológicas do gado Zebu talvez não sejam de valor adaptativo, em climas quentes o gado Zebu tem provado ser mais resistente às altas temperaturas atmosféricas e à radiação solar intensa que os bovinos *Bos taurus*, segundo as conclusões de EPSTEIN (8). De acordo com os trabalhos de MASON (18), não há dúvidas que o gado Zebu, com parativamente ao gado Europeu, é fisiologicamente adaptado a temperaturas elevadas por ter uma taxa metabólica mais baixa e um mecanismo de dissipação de calor mais eficiente; além disso, o gado Zebu é fisiologicamente adaptado às piores condições nutricionais dos trópicos, por ter uma maior capacidade de digerir dietas de baixo valor proteico e uma menor taxa de crescimento, e às doenças e parasitas, particularmente maior resistência à infestação natural por carrapatos e helmintos. HADDAD e LOURENÇO (11), em uma revisão da literatura sobre eficiência de utilização de nutrientes por bovinos *Bos taurus* e *Bos indicus*, concluem que o gado Zebu utiliza melhor os nutrientes em dietas de baixo valor nutritivo que os bovinos *Bos taurus* além de ter menores exigências de manutenção e de água. Essas diferenças sugerem que os bovinos *Bos indicus* tem um potencial mais alto para adaptação em ambientes adversos que os bovinos *Bos taurus*. Ao sumarizar os resultados obtidos em vários experimentos sobre as peculiaridades fisiológicas do gado Zebu, EPSTEIN (8) concluiu que as diferenças na resposta fisiológica às condições climáticas tropicais são de origem genética. Entretanto, conforme ressaltado por EPSTEIN (8), a adaptação dos bovinos derivados do gado Ibérico de chifres longos (como Texas Longhorn e o Criollo, por exemplo) às condições dos ambientes tropical e sub-tropical das Américas bem como dos bovinos de chifres curtos (*Bos bachtycerus*) às condições de pantano e floresta tropical do Oeste da África, demonstram que as diferenças genéticas quanto à adaptabilidade em ambientes adversos não são exclusivas do gado Zebu.

A capacidade de adaptação do gado Zebu em ambientes tropicais, pode ter sido o resultado de seleção natural dos bovinos existentes nas regiões tropicais, como proposto por SANDERS (26). A seleção natural certamente teve ampla oportunidade para aumentar, ou talvez apenas manter a capacidade de adaptação do gado Zebu durante 5.000 anos de sua existência nos trópicos. Entretanto, os fatores genéticos que provavelmente promoveram a adaptação fisiológica e anatómica do gado Zebu às regiões tropicais, podem ser atribuídos ao seu ancestral, que era constituído de propriedades genéticas semelhantes. A manutenção das características de adaptação pode ser atribuída à seleção natural. NAIK (24) propôs a existência de dois di-

ferentes centros de domesticação de bovinos na Índia, ou seja, no norte e no sul, com bases em informações arqueológicas e dados de grupos sanguíneos e hemoglobina. Assim, é provável que os bovinos do sul da Índia tenham sido geneticamente melhor adaptados aos climas quentes que os bovinos do norte da Índia. Esta conclusão não é baseada em nenhuma descontinuidade genética, mas na existência de ambos os tipos de bovinos (com e sem cupim) no Vale da Índia (região norte), conforme já discutidos nos aspectos evolutivos com a citação das civilizações Mohenjo-daro e Harappan.

Os cromossomos dos mamíferos são, em geral, metacêntricos, mas muitos cariótipos incluem cromossomos acrocêntricos e subacrocêntricos, segundo WHITE (31). Em algumas espécies todos os cromossomos são acrocêntricos. De acordo com MAKINO (13), em *Bos taurus* os autossomos são acrocêntricos, embora o X e o Y sejam metacêntricos. KIEFFER e CARTRIGHT (12) encontraram uma diferença entre os cariótipos de touros *Bos taurus* e *Bos indicus* quanto ao cromossomo Y, onde os touros Zebu apresentaram cromossomo Y acrocêntrico e os *Bos taurus* cromossomo Y submetacêntrico. Embora essa diferença observada quanto a localização do centrômero no cromossomo Y seja uma informação adicional para confirmar a teoria da origem independente das duas espécies, TAMBASCO (30) mostrou que o cromossomo Y acrocêntrico do Zebu (*Bos indicus*) provavelmente tenha resultado da inversão pericêntrica do cromossomo Y submetacêntrico dos bovinos *Bos taurus*.

Desde a introdução de métodos eletroforéticos de alta capacidade de resolução, informações valiosas têm sido obtidas para auxiliar no entendimento da evolução das espécies de animais domésticos (MANWELL e BAKER, 14). Vários pesquisadores têm utilizado dados sobre polimorfismos de proteínas e grupos sanguíneos para estimar o parentesco entre raças de bovinos, dentre os quais podem ser citados MANWELL e BAKER (15, 16), NAIK (22), BAKER e MANWELL (3) e BAKER (2). Entretanto, apenas as análises envolvendo comparações entre *Bos taurus* e *Bos indicus* serão discutidas neste trabalho.

A ascendência diferente de várias raças de *Bos indicus* em relação às raças Jersey, Finlandesa e Boêmia Malhada de Vermelho (*Bos taurus*) foi obtida em um estudo comparativo de grupos sanguíneos e hemoglobina realizada por BRAEND (6). O mesmo tipo de análise foi realizado por NAIK et al. (25) e NAIK (23), demonstrando haver ascendência comum entre as raças de gado Zebu da Índia, África e sudeste da Ásia.

Algumas das diferenças imunogenéticas mais marcantes, que tem sido observadas nas análises comparando *Bos taurus* e *Bos indicus* são discutidas a seguir. O fator Z, detectado por STORMONT (29), encontra-se presente no gado Zebu com frequência alta (38%) e ausente em muitas raças de *Bos taurus*. Onze reagentes para tipagem sanguínea, preparados para detectar fatores antigênicos do gado Zebu, foram testados contra 47 reagentes preparados para detectar antígenos do gado Europeu; cinco dos reagentes delectaram fatores antigênicos novos que eram raros ou mesmo ausentes em *Bos taurus*, enquanto apresentavam frequências altas em gado Zebu. NAIK et al. (25), estudando a hemoglobina em gado Zebu, encontraram duas formas novas denominadas Hb-X ou Hb-C e Hb-Khillari, além das formas comuns de hemoglobina (Hb-A e Hb-B). A forma Hb-Khillari foi encontrada apenas na raça Khillari, pertencente ao tipo Mysore de gado Zebu. Essas formas de hemoglobina foram detectadas também em gado Zebu na África e em gado nativo da Coreia, que tem parentesco com o gado Zebu, segundo os resultados obtidos por EFRÉNOVE e BRAEND (7), BRAEND (6) e SENN (27). Por outro lado, nenhuma dessas novas formas foram encontradas em raças de *Bos taurus*; além

disso, a hemoglobina B (Hb-B) não é encontrada em muitas das raças de *Bos taurus* (BRANHAM, 4) ou presente com frequências muito baixas, de acordo com BAKER e MANWELL (3), com algumas exceções (raças Jersey, Lídia e Retinco). As diferenças citadas acima sugerem que *Bos taurus* e *Bos indicus* são, pelo menos, raças genéticas.

BAKER e MANWELL (3), usando dados publicados na literatura sobre polimorfismos de proteínas em 216 raças de bovinos compararam as médias e as variâncias das frequências gênicas de nove proteínas, contrastando 10 grupos raciais, bem caracterizados, de bovinos. Tendo em vista a estrutura e os objetivos deste trabalho, os 10 grupos raciais foram reorganizados em três classes distintas: bovinos sem cupim, bovinos com cupim cervico-torácico e bovinos com cupim torácico, utilizando a organização linear dos grupos raciais de bovinos proposta por BAKER e MANWELL (3). As médias e o desvio padrão das frequências gênicas dos vários sistemas de polimorfismo proteicos obtidas a partir dos valores publicados por BAKER e MANWELL (3), são apresentadas no quadro 1. O resultado mais interessante, de acordo com a estrutura e os objetivos deste trabalho, é que as médias das frequências gênicas dos vários sistemas, com exceção da lactoglobulina A, nos bovinos com cupim cervico-torácico são intermediárias entre aquelas estimadas para os bovinos com cupim torácico e sem cupim. Isto pode ser visto como evidência bastante forte da indicação de que a origem dos bovinos com cupim cervico-torácico (laundicos) tem sido os cruzamentos entre bovinos com cupim torácico (*Bos indicus*) e sem cupim (*Bos taurus*). Além disso, contrastes lineares entre as médias das frequências gênicas mostram que os *Bos indicus* diferem dos *Bos taurus* por apresentarem frequências gênicas significativamente ($P < 0,05$) mais altas de albumina B, caseína C, hemoglobina B (exceto quando comparados com gado Jersey), lactoalbumina A e transferrina E. Por outro lado, os bovinos *Bos taurus* apresentam frequências gênicas mais altas que os *Bos indicus* para amilase C, lactoglobulina A e transferrina A. As duas espécies não diferem quanto à média da frequência genética da caseína A.

BOYER et al. (5) sugerem que as diferenças em aminoácidos dos vários alelos de um sistema de polimorfismos proteicos, são o resultado da hibridação de diferentes populações de animais domésticos. Os resultados encontrados por MANWELL e BAKER (15), indicam que a maioria das variações nas proteínas suficientemente estudadas em animais domésticos diferem em mais de uma substituição de aminoácido e, também pela ausência de intermediários hipoteticamente esperados. Até que ponto as formas diferentes em mais de um aminoácido sejam evidência de hibridação entre populações já divergentes ao nível de espécie, e um aspecto que pode apenas ser especulado. Entretanto, informações úteis revisadas por MANWELL e BAKER (15) indicam que a hibridação tem um papel importante na origem das espécies de animais domésticos. Alguns resultados ratos, que têm sido obtidos para algumas proteínas em bovinos, podem ser explicados pela hipótese da origem híbrida, talvez hibridação interespecífica e introgressão, de acordo com MANWELL e BAKER (14). Por exemplo, acredita-se que os alelos B e B-Zebu da beta-caséina distinguem raças de *Bos taurus* e *Bos indicus*. A raça Jersey (*Bos taurus*), entretanto, apesar de apresentar uma frequência alta da beta-caséina B, também apresenta frequência alta de hemoglobina B, o que sugere alguma contribuição de *Bos indicus* na formação da raça. Assim, tem sido proposto que a beta-caséina B não é a mesma nas duas espécies, sendo es-

ta a razão de designar B-Zebu a beta-caseína encontrada em *Bos indicus*. Segundo GROSCLAUDE *et al.* (10), a diferenciação entre as duas formas de beta-caseína só pode ser feita com dados de composição de aminoácidos e, até o presente, não se sabe se alguns dos alelos B em *Bos taurus* são B-Zebu e vice-versa.

QUADRO 1. Médias e desvio padrão das frequências gênicas de nove sistemas de polimorfismos proteicos em três classes de bovinos¹.

SISTEMA/ ALELO	CLASSE DE BOVINOS			
	CUPIM TORÁCICO	CUPIM CERVÍ CO-TORÁCICO	SEM CUPIM	DESVIO PADRÃO
Albumina B	0,93	0,35	0,08	0,05
Amilase C	0,04	D,13	0,35	0,03
Caseína A	0,84	0,60	0,57	0,08
Caseína C	0,91	0,53	0,13	0,06
Hemoglobina B	0,40	0,24	0,12	0,03
Lactalbumina A	0,32	0,08	0,06	0,04
Lactoglobulina A	0,15	0,11	0,35	0,04
Transferrina A	0,10	0,20	0,33	0,03
Transferrina E	0,24	0,20	0,04	0,02

¹ Estimativas obtidas a partir dos valores publicados na literatura, analisados por BAKER e MANWELL (3).

CONCLUSÕES

De acordo com as evidências experimentais encontradas na literatura e discutidas neste trabalho, os seguintes aspectos podem ser mencionados como sendo os mais importantes. As diferenças morfológicas e, até certo ponto, as diferenças fisiológicas observadas entre *Bos taurus* e *Bos indicus* não são de valor seletivo para adaptação do gado Zebu. As diferenças no cromossomo Y podem, entretanto, ser uma evidência de que o Y acrocentrico dos machos *Bos indicus* resultou da inversão pericêntrica do cromossomo Y submetacêntrico dos machos *Bos taurus*; por outro lado a teoria da origem independente das duas espécies não pode ser descartada com base nas diferenças do cromossomo Y, uma vez que estas podem ter sido causadas por adição ou deleção de heterocromatina. Os dados disponíveis sobre polimorfismos de proteínas indicam que o gado Zebu é diferente dos bovinos *Bos taurus*.

taurus. A soma das substituições gênicas entre gado Zebu e *Bos taurus*, por exemplo, é aproximadamente 36, enquanto que os dados para substituições entre raças de *Bos taurus* variam de 14 a 23.

Com respeito à ênfase que tem sido dada por MANSION (17) à falta de isolamento reprodutivo entre as duas espécies, dois aspectos precisam ser ressaltados: i) muitos exemplos de quebra completa das barreiras de isolamento reprodutivo em regiões de sobreposição secundária são conhecidos, mesmo para espécies selvagens de animais (MAYR, 20); e ii) o processo de domesticação dos animais, segundo SPURWAY (28), selecionou para promiscuidade sexual.

Finalmente, a facilidade de hibridação não é um critério válido para o estabelecimento da taxonomia das espécies domésticas de bovinos. Além disso, os dados sobre polimorfismos bioquímicos permitem concluir que o gado Zebu, originário da Índia, é uma espécie distinta, *Bos indicus*.

LITERATURA CITADA

- 1 ALLCHIN, F.R., 1969. Early domestic animals in India and Pakistan. In: UCKO, P.J. & DIMBLEBY, G.W., ed., *The Domestication and Exploitation of Plants and Animals*. London, Weidenfeld and Nicolson, pp. 317-22.
- 2 BAKER, C.M.A., 1982. The use of genetic relationships among cattle breeds in the formulation of rational breeding policies: a reexamination of the example of the South Devon and the Gelbvieh. *Anim. Blood Grps. biochem. Genet.*, Wageningen, 13: 199-212.
- 3 BAKER, C.M. e C. MANWELL, 1980. Chemical classification of cattle. I. Breed groups. *Anim. Blood Grps. biochem. Genet.*, Wageningen, 11: 127-50.
- 4 BANGHAM, A.D., 1975. Distribution of electrophoretically different hemoglobins among cattle breeds of Great Britain. *Nature*, London, 255: 467-B.
- 5 BOYER, S.H., P. HATHWAY, F. PASCASIO, C. ORTON, J. BORDLEY e M.A. NAUGHTON, 1966. Hemoglobins in sheep: Multiple differences in amino sequences of three beta-chains and possible origins. *Science*, Washington, 153: 1539-43.
- 6 BRAEND, M., 1971. Hemoglobin variants in cattle. *Anim. Blood Grps. biochem. Genet.*, Wageningen, 2: 15-21.
- 7 ERREMOVE, G. e M. BRAEND, 1965. A new hemoglobin in cattle. *Acta Veterinaria Scandinavica*, Copenhagen, 6: 109-111.
- 8 ERSTEIN, H., 1971. *The Origin of the Domestic Animals of Africa*. New York, Africana Pub. Corp., Vol. I.
- 9 FRANCIS, J., 1965. Definition and use of Zebu, Brahman or *Bos indicus* cattle. *Nature*, London, 207: 13-6.
- 10 GROSCLAUDE, F., M.F. MAHE e J.C. MERCIER, 1974. Comparison du polymorphisme génétique des lactoprotéines du Zebu et des bovins. *Ann. Gen. Sel. Anim.*, Jouy-en-Josas, 6: 305-29.
- 11 HADDAD, C.M. e J.B. LOURENÇO JR., 1979. Efficiency of nutrient utilization between *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Ecossistema*, Espirito Santo do Pinhal, 4: 97-108.

- 12 KIEFFER, N.M. e T.C. CARTWRIGHT, 1968. Sex-chromosome polymorphism in domestic cattle. *J. Hered.*, Washington, 59: 34-6.
- 13 MAKINO, S., 1944. Chromosome studies in domestic water-buffalo. *Cytologia*, Tokio, 13: 274-64.
- 14 HANWELL, C. e C.M.A. BAKER, 1970. *Molecular Biology and the Origin of Species*. London, Sidgwick and Jackson.
- 15 HANWELL, C. e C.M.A. BAKER, 1976. Protein polymorphisms in domestic species: evidence for hybrid origin? In: KARLIN, S. & NEVO, E., ed., *Population Genetics and Ecology*. New York, Academic Press.
- 16 HANWELL, C. e C.M.A. BAKER, 1980. Chemical classification of cattle. II. Phylogenetic tree and specific status of zebu. *Anim. Blood Grps. biochem. Genet.*, Wageningen, 11: 151-62.
- 17 MASON, I.L., 1963. Hybridization among the Bovinae and the hump of bu. In: MOURANT, A.E. & ZEUNER, F.E., ed., *Man and Cattle*. London, Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland.
- 18 MASON, I.L., 1973. The role of natural and artificial selection in the origin of breeds of farm animals. *Z. Tierzuchtg. Zuchtgsbiol.*, Hamburg, 90: 229-44.
- 19 MASON, I.L., 1976. Factors influencing the world distribution of beef cattle. In: SMITH, A.J. ed., *Beef Cattle Production in Developing Countries*. Edinburgh, University of Edinburgh, Center for Tropical Veterinary Medicine.
- 20 MAYR, E., 1963. *Animal Species and Evolution*. Cambridge, Belknap Press of the Harvard University.
- 21 McDOWELL, R.E., 1958. Physiological approaches to animal climatology. *J. Hered.*, Washington, 49: 52-61.
- 22 MOURANT, A.E. e F.E. ZEUNER, ed., 1963. *Man and Cattle*. London Anthropological Institute of Great Britain and Ireland.
- 23 NAIK, S.N., 1975. Hemoglobin polymorphisms in some Indian domesticated and wild ruminants. *Indian J. Hered.*, New Delhi, 7: 23-30.
- 24 NAIK, S.N., 1978. Origin and domestication of Zebu cattle (*Bos indicus*). *J. Human Evol.*, London, 7: 23-30.
- 25 NAIK, S.N., P.K. SURIYACAN e L.D. SANGHVI, 1969. Hemoglobin polymorphisms in Indian Zebu cattle. *Heredity*, Essex, 24: 239-47.
- 26 SANDERS, J.O., 1980. History and development of Zebu cattle in the United States. *J. Anim. Sci.*, Albany, 50: 1188-1200.
- 27 SENN, J., 1976. The native Korean cattle. *Anim. Res. Develop.*, London 4: 62-9.
- 28 SPURWAY, H., 1956. The causes of domestication: an attempt to integrate some ideas of Konrad Lorenz with evolution theory. *J. Genetiae* London, 53: 325-62.
- 29 STONMONT, C., 1962. Current Status of blood groups in cattle. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, New York, 97: 251-68.
- 30 TAMBASCO, A.J., 1976. *Contribuição ao estudo citogenético em bovinos normais e em bovinos com problemas de reprodução*. Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, 97 p. (Tese de doutorado).
- 31 WHITE, M.J.D., 1973. *Animal Cytology and Evolution* (3rd. ed.). Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- 32 ZEUNER, F.E., 1963. *A History of Domesticated Animals*. London, Hutchinson and Co. Ltd..