

---

**Frequências alélicas e genotípicas do gene da beta-caseína do leite em bovinos da raça Curraleiro Pé Duro criados no Estado do Tocantins.**

**Allelic and genotypic frequency for milk beta-casein in Curraleiro Pé duro cattle raised in the Tocantins, Brazil**

---

**Matheus Henrique Dias Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4604-2188>

Universidade Federal do Norte do Tocantins, Brasil

E-mail: mh130499@gmail.com

**Fernanda Caroline Rotta Cristino Fioravante**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8276-368X>

Universidade Federal do Norte do Tocantins, Brasil

E-mail: fernanda.fioravante@outlook.com

**José Bento Sterman Ferraz**

ORCID: <https://orcid.org/000-0002-3874-3104>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: jbferraz@usp.br

**Heidge Fukumasu**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3265-5090>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: fukumasu@usp.br

**Helcileia Dias Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7120-951X>

Universidade Federal do Norte do Tocantins, Brasil

E-mail: hdsantos@uft.edu.br

**Leandro Lopes Nepomuceno**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5839-0046>

Universidade Federal do Norte do Tocantins, Brasil

E-mail: leandro\_lopes795@hotmail.com

**Jorge Luís Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7111-4847>

Universidade Federal do Norte do Tocantins, Brasil

E-mail: jlferreira@uft.edu.br

## RESUMO

Objetivo do presente estudo foi identificar as frequências alélicas e genótípicas para o gene beta caseína em relação aos alelos A1 e A2, em rebanhos Curraleiro Pé Duro (CPD) criados no Tocantins, Brasil. Foram selecionados rebanhos CPD criados no Estado do Tocantins, Brasil, totalizando 160 amostras, distribuídos em 09 municípios, pertencentes as mesorregiões ocidental e oriental do Estado. As amostras para dois marcadores das regiões polimórficas foram caracterizadas e confirmadas por PCR em tempo real, usando um sistema de detecção de sequências (Applied Biosystems). As frequências alélicas e genótípicas foram determinadas utilizando o sistema de detecção TaqMan™, no qual o primer e a sonda emitem diferentes sinais de fluorescência para cada alelo do polimorfismo. Com base nos resultados observou-se maior frequência do alelo A2 (65,62% - 105/160) que do alelo A1 (34,38% - 55/160), com frequência de genótipos A1A1 de 16,88% (27/160), de genótipos A1A2 de 35% (56/160), e de genótipos A2A2 de 48,12% (77/160). Encontrou-se para a mesorregião Ocidental uma frequência de 29,5% (29,5/100) para o alelo A1, e de 70,5% (70,5/100) para o alelo A2. Na mesorregião Oriental a frequência foi de 42,5% (25,5/60) para A1, e 57,5% (34,5/60) para A2. No entanto, não foi possível associar maior frequência do alelo A2 com o nível de conservação do rebanho e o nível tecnológico e industrial das regiões estudadas.

**Palavras-chave:** beta-caseína; hipersensibilidade; gado crioulo; recursos genéticos; animal local.

---

## ABSTRACT

The aim of the present study was to identify the allele and genotype frequency for the beta casein gene in relation to the A1 and A2 alleles in CPD herds raised in Tocantins, Brazil. CPD herds raised in the State of Tocantins, Brazil was selected, totaling 160 samples, distributed in 09 municipalities, belonging to the western and eastern mesoregions of the state. Samples for two markers of the polymorphic regions were characterized and confirmed by real-time PCR using an sequence detection system (Applied Biosystems). Allele and genotypic frequencies were determined using the TaqMan™ detection system, in which the primer and probe emit different fluorescence signals for each allele of the polymorphism. Based on the results, a higher frequency of the A2 allele (65.62% - 105/160) than the A1 allele (34.38% - 55/160) was observed, with a frequency of A1A1 genotypes of 16.27% (27/160), of A1A2 genotypes of 37.35% (56/160), and of A2A2 genotypes of 46.39% (77/160). A frequency of 29.5% (29.5/100) for the A1 allele and 70.5% (70.5/100) for the A2 allele was found for the Western mesoregion. In the Eastern mesoregion the distribution was 42.5% (25.5/60) for A1 and 57.5% (34.5/60) for A2. However, it was not possible to associate higher frequency of the A2 allele with the level of herd conservation and the technological and industrial level of the regions studied.

**Keywords:** beta-casein; creole cattle; hypersensitivity; genetic resources; local animal.

---

## INTRODUÇÃO

No mundo atual, forças de ordem econômica e social vem provocando importantes mudanças nos conceitos da produção pecuária. O consumidor vem orientando mudanças no mercado e exigindo cada vez mais qualidade, biodiversidade, cuidados com o meio ambiente (BISHOP et al., 2009; LARCENEUX, BENOIT-MOREAU & RENAUDIN, 2012).

Desta forma, a produção tende a promover uma pecuária sustentável, com diversidade genética e preservação de animais naturalmente adaptados, assim se adaptando as novas exigências de mercado. Com essas diretrizes, raças que estavam sob forte ameaça de extinção, vêm apresentando um crescimento, importância e destaque no cenário nacional. No Estado do Tocantins, a raça Curraleiro Pé Duro tem apresentado um número significativo de criadores, que vem se organizando e apresentando objetivos de colocar a raça e seus produtos como uma alternativa diferenciada (SILVA et al., 2023; CARVALHO et al., 2022).

O gado da raça Curraleiro Pé Duro (CPD) é encontrado nos Biomas Cerrado, Amazônico e Semiárido do Brasil, sendo caracterizada pela rusticidade, capacidade de adaptação às condições adversas do meio e baixo custo de produção. Ao longo do tempo, tem-se observado o interesse de alguns produtores e pesquisadores na conservação desses animais, visando a exploração e valorização das potencialidades deste patrimônio genético e cultural do país, como também seu potencial de produção de leite diferenciado (SALLES et al., 2011; FIORAVANTI et al., 2012; FÉLIX et al., 2013).

A raça Curraleiro Pé Duro, é de origem ibérica e teve os primeiros ascendentes introduzidos no Brasil no período 1534 na Capitania de São Vicente (São Paulo), com disseminação para diversas regiões do país, biomas, climas e sistemas variados, passando por um processo de seleção natural com adaptação para as condições locais (MIRETTI et al., 2004; CEZAR et al., 2005; MARIANTE & CAVALCANTE, 2006; CARVALHO et al., 2013).

A formação de uma raça, provavelmente está associada à perda de diversidade genética nos estágios iniciais, bem como a concentração e, ocasionalmente, a fixação de algumas características específicas (ALBUQUERQUE, EGITO & MARIANTE, 2002). A diversidade genética entre as raças geralmente pode ser explicada pela ação dos vários fatores complexos e interativos, como necessidades humanas, adaptabilidade a condições agroclimáticas específicas e seleção, pois os recursos genéticos bovinos desenvolvidos ao

longo dos anos e adaptados a nichos ecológicos específicos, ainda estão inexplorados e descaracterizados (ROSA et al., 2013; RIBEIRO & ARANDAS, 2018).

O gado CPD vem se tornando um recurso genético extremamente importante principalmente com potencial para a produção de produtos com certificação de identidade geográfica e de sistema de produção (DE PAULA, 2023). Assim, é importante conhecer o status alélico A1/A2 da beta caseína nesta população de bovinos (EGITO, 2007, FÉLIX et al., 2013).

A beta-caseína representa de 25 a 35% do total das proteínas contidas e de acordo com a genética do animal, serão expressos no leite as variantes  $\beta$ -caseína A1 e/ou A2, originando a denominação leite A1 (no qual haverá apenas  $\beta$ -caseína do tipo A1 ou uma mistura de  $\beta$ -caseína A1 e A2) e leite A2 (no qual haverá apenas a  $\beta$ caseína do tipo A2) (BARBOSA et al., 2019).

A presença da beta-caseína A1 no leite causa a clivagem, quebra da ligação peptídica como resultado do processo de digestão, liberando peptídeos bioativos  $\beta$ -casomorfina-7 (BCM-7) que provoca reações alérgicas. Assim, a presença do alelo A2 evita a hidrólise da ligação peptídica e inibe a liberação de BCM-7 (KAMIŃSKI et al., 2007; SHARMA et al., 2013), sendo considerado um produto hipoalergénico.

Baseado nessa teoria, o presente trabalho teve como objetivo identificar a frequência alélica e genotípica para o gene beta caseína em relação aos alelos A1 e A2, em rebanhos Curraleiro Pé Duro criados no Tocantins, Brasil.

## **MATERIAL E METODOS**

### ***Localização Geográfica dos rebanhos***

O presente trabalho foi realizado no período de agosto de 2020 a fevereiro de 2021, envolvendo nove (09) rebanhos Curraleiro Pé Duro (CPD) criados no Estado do Tocantins, Brasil, sendo o mesmo, conduzido em conformidade com todas as exigências de bem-estar animal e em cumprimento aos protocolos aprovados pelo Comitê de Ética na Experimentação Animal com base na Lei Federal nº 11.794/2008, sob número do CEUA/UFT 23.101.002.456/2020-23.

A localização geográfica dos rebanhos distribuiu-se nas mesorregiões do Tocantins, abrangendo os municípios de Araguaína, São Bento do Tocantins, Palmeirante, Monte Santo do Tocantins, Divinópolis do Tocantins (Mesorregião Ocidental), Palmas, Rio Sono, Pedro Afonso e Mateiros (Mesorregião Oriental),

conforme Figura 1, constituindo-se assim o número amostral de 160 amostras de pêlos para o presente trabalho.

**Figura 1** – Distribuição geográfica de criatórios de rebanho Curraleiro Pé Duro no Estado do Tocantins, segundo as mesorregiões.



### ***Genotipagem para betacaseína do leite***

A extração do DNA do folículo piloso foi realizada no Laboratório de Melhoramento Animal (LMA) do curso de Medicina Veterinária, da Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT), utilizando-se o kit EXTRACTA de DNA de pêlos (Loccus, Cotia, São Paulo, Brasil) de acordo com as instruções do fabricante. A concentração e pureza do DNA foi analisada por espectrofotômetro nanodrop One/OneC (Thermo Scientific). As amostras com a razão OD (A260/A280 nm) entre 1.7-2.0 foram consideradas aptas e usadas para a reação em cadeia da polimerase (PCR) em tempo real.

Os primers e sondas foram desenhadas baseada na sequência do gene da  $\beta$ -caseína de bovinos (gene CSN2) ID 281099 (GenBank, NCBI), conforme descrito por GIGLIOTTI et al., (2020). As sequências dos primers utilizadas foram:

Forward - 5'CCCAGACACAGTCTCTAGTCTATCC 3'

Reverse - 5'GGTTTGAGTAAGAGGAGGGATGTTT3'

E a sonda de fluorescência, pelas sequências:

5' CCCATCCCTACAGCCT 3'

5' CCCATCCATAACAGCCT 3'

As frequências alélicas e genótípicas foram determinadas usando o sistema de detecção TaqMan™, e para a reação em cadeia pela polimerase (PCR) em tempo real, foi estabelecida para um volume de 10 µL sendo composta de 20 ng de DNA genômico, 0,25 µL Assay Mix® (Applied Biosystems), e 5,0 µL Taqman® Master Mix Universal PCR (Applied Biosystems). A reação foi realizada em termociclador QuantStudio 12K (Applied Biosystems), sob as seguintes condições: 95°C por 10 min, seguida de desnaturação a 92°C por 15 segundos. As reações foram cicladas 45 vezes a 92°C por 15 segundos (desnaturação), 60°C por 1 minutos (anelamento) e 60°C por 30 segundos (extensão), com uma etapa final de extensão de 60°C por 10 minutos, modificado de GIGLIOTI et al., (2020).

#### *Análise dos dados*

A partir da visualização do padrão de curvas dos genótipos, foi possível calcular as frequências gênicas (A1 e A2) e genótípicas (A1A1, A1A2 e A2A2), que foram determinadas a partir da contagem direta dos genótipos observados, conforme as equações 1 e 2 respectivamente.

$$(1) f(Xi) = \frac{2n_{ii} + \sum n_{ij}}{2n}$$

$$(2) f(Xii) = \frac{n_{ii}}{n}$$

Em que **n<sub>ii</sub>** e **n<sub>ij</sub>** correspondem ao número de homozigotos e heterozigotos observados no alelo i, respectivamente; **n** corresponde ao número total de indivíduos analisados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados foi evidenciado maior frequência do alelo A2 (65,62% - 105/160) que do alelo A1 (34,38% - 55/160) no rebanho amostral. Do total de amostras (160) a frequência de genótipos A1A1 foi de 16,88% (27/160), de genótipos A1A2 de 35% (56/160), e de genótipo A2A2 de 48,12% (77/160), ou seja, a raça Curraleiro Pé Duro, no Estado do Tocantins apresenta maior frequência para o alelo A2 e genótipo A2A2. As frequências alélicas e genótípicas para cada mesorregião e os municípios representados estão na Tabela 1. Observou-se uma variação grande nas frequências alélicas e genótípicas entre os municípios pesquisados.

**Tabela 1** – Distribuição das frequências gênicas e alélicas para beta-caseína do leite em bovinos Curraleiro Pé Duro (n=160) criados no Estado do Tocantins.

<b>Mesorregião Ocidental</b>						
	<i>N</i>	<i>f(A1)</i>	<i>f(A2)</i>	<i>f(A1 A1)</i>	<i>f(A1 A2)</i>	<i>f(A2 A2)</i>
<b>Frequências</b>	<b>100</b>	<b>0,295</b>	<b>0,705</b>	<b>16,00</b>	<b>27,00</b>	<b>57,00</b>
<b>Municípios</b>						
Araguaína	15	0,07	0,93	0,07	0,00	0,93
Divinópolis do Tocantins	15	0,37	0,63	26,67	20,00	53,33
Palmeirante	38	0,46	0,54	23,69	44,74	31,58
São Bento do Tocantins	17	0,23	0,77	11,76	23,53	64,70
Monte Santo	15	0,10	0,90	0,00	20,00	0,80
<b>Mesorregião Oriental</b>						
	<i>N</i>	<i>f(A1)</i>	<i>f(A2)</i>	<i>f(A1 A1)</i>	<i>f(A1 A2)</i>	<i>f(A2 A2)</i>
<b>Frequências</b>	<b>60</b>	<b>0,425</b>	<b>0,575</b>	<b>18,34</b>	<b>48,33</b>	<b>33,33</b>
<b>Municípios</b>						
Palmas	11	0,227	0,773	0,00	45,45	54,55
Pedro Afonso	12	0,42	0,58	25,00	33,33	41,67
Mateiros	22	0,50	0,50	27,27	45,45	27,28
Rio Sono	15	0,467	0,533	13,34	66,66	20,00

Considerando a localização geográfica dos rebanhos, e as transformações sociais e econômicas das regiões e município do Estado do Tocantins, verificou-se que a maior frequência do alelo A2 e do genótipo A2A2 foram encontrados nos municípios mais desenvolvidos e na mesorregião Ocidental. Como relatado por OLIVEIRA FILHO, (2015) esta evidência pode estar associada ao maior controle dos animais, sistema de produção mais tecnológico, em virtude da produção comercial de rebanhos e ao caráter mais cultural e de preservação da criação de CPD, caracterizando animais mais conservados.

O Estado do Tocantins tem área total de 277.620,914 km<sup>2</sup> que representa 3,26% do território nacional e 7,2% da Região Norte. O Estado é dividido em duas mesorregiões (Ocidental e Oriental) que são compostas por oito microrregiões (Porto Nacional; Jalapão; Dianópolis; Gurupi; Rio Formoso; Miracema do Tocantins; Araguaína e Bico do Papagaio).

As coordenadas geográficas e dados populacionais de cada município são apresentadas na Tabela 2. Verificou-se que a maioria das cidades apresentam baixos índices de densidade demográfica e índices de desenvolvimento humano (IDH). Ademais, observou-se que o Estado de Tocantins apresenta disparidades no que diz respeito ao desenvolvimento e processos de urbanização dos municípios. Oliveira, (2019) comenta

que as principais cidades do Tocantins, em desenvolvimento e economia, se localizavam à margem esquerda do Rio Tocantins e à margem da BR 153, sendo que os municípios mais distantes dessas localidades são considerados os mais subdesenvolvidos.

**Tabela 2** – Coordenadas geográficas, área, população, densidade demográfica e Índice de desenvolvimento humano (IDH) dos municípios tocantinenses em que foram amostrados genótipos de gado Curraleiro Pé Duro (CPD).

Municípios	Área (km <sup>2</sup> )	População	Dens.demogr áfica (hab/km <sup>2</sup> )	IDH	Lat.	Long.
Araguaína	4.004,646	186.245**	37,62	0,752*	-7.19244	-48.21313
Divinópolis	2.358,282	6.986**	2,71	0,683*	-9.80877	-49.22124
Mateiros	9.589,273	2.773**	0,23	0,607*	-10.55087	-46.42102
Palmas	2.227,329	313.349**	102,90	0,788*	-10.24787	-48.33390
Monte Santo	1.072,920	2.311**	1,91	0,620*	-10.00166	-48.99222
Palmeirante	2.638,465	6.234**	1,88	0,571*	-7.86022	-47.92590
Pedro Afonso	2.019,556	13.964**	5,74	0,732*	-8.98019	-48.17228
Rio Sono	6.346,279	6.498**	0,98	0,600*	-9.34294	-47.90838
São Bento	1.099,580	5.457**	4,17	0,605*	-6.02747	-47.92254

\*Ano base 2010; \*\* Ano base 2021. Fonte: IBGE (<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to>)

Com exceção dos municípios de Araguaína e Palmas, percebe-se que os demais apresentam maiores desafios para atingir as metas de desenvolvimento sustentável. Os municípios de Araguaína e Palmas são considerados locais de referência (vitrines) para a população tocantinense, bem como para regiões circunvizinhas, por apresentarem um polo econômico com elevado poder de atratividade comparado aos demais municípios (Oliveira e Piffer, 2018; Barbosa et al., 2019).

Ainda considerando essa exceção (Araguaína e Palmas), verificou-se que a os municípios que compõem a mesorregião oriental (Mateiros, Pedro Afonso e Rio Sono) são menos desenvolvidos que os municípios que compõem a mesorregião ocidental (Divinópolis, Palmeirante, Monte Santo e São Bento do Tocantins) (Tabela 2). Essa constatação está em acordo com França e Costa, (2016), Medeiros, Santos e André (2017), Barbosa et al., (2019) e Nunes, Melo e Bracarense, (2020) que afirmaram que a rodovia federal (BR-153) provocou grandes transformações sociais, culminando com a ocupação dos territórios urbanos e rurais, valorização das terras, expansão e modernização agropecuária e melhorias de infraestrutura urbana.

Observou-se que Araguaína e Palmas são os municípios mais desenvolvidas (IDH) (Tabela 2). Araguaína teve destaque pela elevada frequência de genótipos A2A2 e Palmas pela ausência do genótipo A1A1.

Segundo Roldão e Ferreira, (2019), no estado do Tocantins, a temperatura média aumenta no sentido sul-norte acompanhando a transição imposta pelo ciclo sazonal do ângulo de incidência solar e fotoperíodo. Nos dados de pluviosidade denota-se que os registros aumentam gradativamente na direção norte-noroeste, com maior incidência no sentido sudeste-noroeste.

E, segundo Silva Neto et al., (2021), no território tocantinense a pluviosidade aumenta no sentido sudeste-noroeste, caracterizando que o domínio do cerrado no espaço tocantinense, com uma grande área de transição entre a Caatinga e Amazônia, assim o Tocantins apresenta-se como uma área de transição climática, com diferenças entre as duas mesorregiões consideradas (Tabela 3).

**Tabela 3** – N amostral por município, Média de fatores climáticos (T°C mínima, T°C máxima, T°C média e Precipitação pluviométrica) dos municípios tocantinenses amostrados e Mesorregiões.

<b>Municípios</b>	<b>N amostral</b>	<b>T°C MIN</b>	<b>T°C MAX</b>	<b>T°C MED</b>	<b>PRECIP</b>
Araguaína	15	20,92	32,83	26,87	1.636,52
Divinópolis	15	22,81	33,76	28,29	2.083,67
Palmeirante	38	22,74	33,80	28,27	1.794,69
São Bento do Tocantins	17	22,42	32,93	27,68	2.062,65
Monte Santo do Tocantins	15	22,62	33,44	28,15	1.832,34
<b>Mesorregião Ocidental</b>	<b>100</b>	<b>22,30</b>	<b>33,35</b>	<b>27,93</b>	<b>1.881,97</b>
Palmas	11	22,66	33,82	28,24	1.608,46
Pedro Afonso	12	22,52	33,65	28,09	1.708,91
Mateiros	22	21,39	32,58	26,99	1.449,02
Rio Sono	15	22,74	33,83	28,29	1.761,25
<b>Mesorregião Oriental</b>	<b>60</b>	<b>22,33</b>	<b>33,47</b>	<b>27,90</b>	<b>1631,91</b>

N amostral = Número de animais genotipados em cada município; T°C mínima = Temperatura mínima; T°C máxima = Temperatura máxima; T°C média = Temperatura média; PRECIP = Precipitação pluviométrica. Fonte: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Com base nessas informações a mesorregião ocidental tem altas temperaturas com grande pluviosidade, caracterizando-se como região para grande desenvolvimento do setor agropecuário. A mesorregião oriental apesar de ter potencial para o setor do agronegócio, sofre mais com períodos de estiagem e distribuição inferior de chuvas (Tabela 3).

O processo de intensificação do uso do solo nas fronteiras agrícolas tem sido relacionado com aumento de índices de desenvolvimento socioeconômico e humano (ZINGLER et al., 2021). Se por um lado o maior desenvolvimento na mesorregião

ocidental pode ter favorecido a entrada de outras raças ou populações bovinas, por outro lado esse processo pode ter repercutido num cenário que favoreceu iniciativas de preservação do gado CPD.

Observou-se que na mesorregião oriental, mais afastada da rodovia, os municípios de Palmas, Mateiros e Rio Sono, foram os que mais apresentaram animais heterozigotos (A1A2), possivelmente em detrimentos de maior hibridação por meio de cruzamentos aleatórios com raças mais produtivas e adaptadas às condições do Brasil. Segundo Oliveira e Piffer, (2016), a cidade de Mateiros e Rio Sono, até o ano de 2000, destacavam-se entre os piores indicadores de desenvolvimento regional (IDR) do Estado (-0,021 e 0,016, respetivamente), caracterizado pela elevada taxa de pobreza, com 72% (Mateiros) e 65% (Rio Sono) da população na faixa da pobreza.

Assim, especula-se que a maior interiorização do município (marginalização no processo de desenvolvimento, recente ou contemporâneo) configura a maior vulnerabilidade do patrimônio genético localmente adaptado, e não o contrário. Isso reitera os padrões de similaridade encontrados em Silva, (2015), em tese pioneira de genética da paisagem em raças bovinas locais no Brasil. Nesse estudo, bovinos Pantaneiros de um rebanho não-institucional (particular, de iniciativa privada) apresentou maior dissimilaridade genética comparado aos rebanhos de bovinos Pantaneiros em posse ou diretamente assistidos por instituições de pesquisa e desenvolvimento agropecuário. Para a raça Curraleiro Pé-Duro, este autor constatou que no nordeste do Brasil, no Piauí, o rebanho mais dissimilar era de um produtor que apresentava menor interação com os outros criadores e menor participação em um grupo de criadores e entusiastas. O autor especulou, ainda, que a maior dissimilaridade genética de alguns rebanhos do Brasil Central (Goiás e Tocantins) poderia ser consequência da ausência (ou menor presença) de agentes de desenvolvimento e de programas de conservação animal institucionalizadas nesta região.

Segundo Ngkwai-Hang e Grosclaude (2003), o gene para  $\beta$ -caseína A1 está quase ausente no gado leiteiro asiático e africano puro (raças autóctones). De forma semelhante Mishra et al., (2009) e Joshi (2011) afirmaram que a maioria das raças autóctones indianas de bovinos e búfalos carregam exclusivamente variante A2. Patel et al. (2020) trabalhando com touros em centrais de inseminação das raças indígenas Gir e Kankrej na Índia, verificaram que houve um predomínio do alelo A2 nas raças Gir (82%) e Kankrej (92%), quando comparadas com outras raças e animais cruzados.

Trabalhos desenvolvidos com raças indígenas da região da Índia têm sugerido baixa frequência do alelo A1 nas raças Malanad Gidda (0,096) e Kherigarh (0,109) (MISHRA et al., 2009), Vechur (0,20) (MUHAMMED e STEPHEN, 2012), Ongole (0,06) (GANGULY et al., 2013), Malnad Gidda (0,014) e Kasargod (0,042), sugerindo que em populações com alto nível de conservação, o alelo A1 é quase inexistente.

De forma semelhante, Ramesha et al., (2016), também verificaram essa teoria em rebanhos de raças de gado indígenas como Dangi, Sahiwal (MIR et al., 2014), Kangayam (MALARMATHI et al., 2014), Nimari, Red Kandhari, Malvi, Amritmahal, Kankrej, Gir, Hariana, Tharparker, Rathi, Mewati, Red Sindi (MISHRA et al., 2009). NGUYEN et al., (2022) trabalhando com frequência de genes de  $\beta$ -caseína de rebanhos Jersey no Oeste do Japão verificaram frequências de A1A1 (0,032), A1A2 (0,303) e A2A2 (0,665). LADYKA et al., (2021) estudando o polimorfismo do gene CSN2 em quatro raças bovinas no nordeste da Ucrânia, verificaram que a raça nativa Lebedyn apresentou maior proporção de alelos A2 e do genótipo A2A2.

Considerando-se a distribuição dos rebanhos entre as mesorregiões do Tocantins, encontrou-se para a mesorregião Ocidental uma frequência 29,5% (29,5/100) para o alelo A1, e de 70,5% (70,5/100) para o alelo A2. Na mesorregião Oriental a frequência foi de 42,5% (25,5/60) para A1, e 57,5% (34,5/60) para A2. Quando se apresenta os genótipos (A1A1, A1A2 e A2A2) na mesorregião Ocidental obteve-se os percentuais de 16,0; 27,0 e 57,0% respectivamente para os genótipos A1A1, A1A2 e A2A2. Enquanto que na mesorregião Oriental os genótipos apresentaram as frequências de 18,34; 48,33 e 33,33%, respectivamente para os genótipos A1A1, A1A2 e A2A2. Considerando-se o número de animais nas duas mesorregiões verificou-se maior proporção de animais genotipados na mesorregião Ocidental (n=100) que na Oriental (n=60), demonstrando que rebanhos mais conservados estão na mesorregião Ocidental.

Vários estudos tem revelado que em bovinos crioulos bem conservados, a frequência de A2 é superior à frequência de A1. Värvi et al., (2009) avaliando as diferenças alélicas e genotípicas para o gene CSN2 em três raças da Estônia (Vermelho da Estônia (ER), Holstein da Estônia (EHF) e raças nativas da Estônia (EN)), verificaram que para o gene CSN2, o alelo A2 ocorreu mais frequentemente em bovinos Holandês e nativo da Estônia do que em vermelho estoniano. De forma semelhante Rahimi et al., (2015) estudando a frequência de variantes de beta-caseína em bovinos nativos da província de Kermanshah, no Irã, verificaram frequência para os genótipos A1A1, A1A2 e A2A2 de

16,8, 42,7 e 40,5%, respectivamente. A frequência do alelo A1 foi de 38,2 e a frequência do alelo A2 foi de 61,8%.

Polimorfismos no gene da caseína foram usados para a caracterização de raças domesticadas e para traçar a história evolutiva (CAROLI et al., 2009), que demonstraram que a seleção e o melhoramento genético modificaram o germoplasma dos ruminantes, causando efeitos estruturais na proteína do leite, uma vez que as raças servem como recurso genético para diferentes variações gênicas. No entanto, a variação nos genes, proteínas e peptídeos é importante para a produção leiteira, para que se tenha um produto com diferentes propriedades, e com valor no processamento pós-tecnológico e nutracêutico.

Beja-Pereira et al., (2002) e Jann et al. (2002) forneceram evidências de que a distribuição geograficamente está ligada a haplótipos de caseína, demonstrando uma diminuição da diversidade genética das raças taurinas na Europa, o que sugere níveis de conservação das raças nativas possam ser correlacionados inversamente proporcionais ao desenvolvimento das regiões.

Jann et al., (2002) com bovinos leiteiros da Europa, observaram que a diversidade genética dentro das raças taurinas na Europa diminuiu significativamente do Sul para o norte e do Leste para o oeste. Esses padrões geográficos de variação genética dos bovinos no locus da caseína podem ser resultado do processo de modernização da produção pecuária, do desenvolvimento geográfico e da introgressão de genes indícos em raças taurinas, que pode ter contribuído para a distribuição da variação genética observada.

Assim, caracterizando as mesorregiões do Estado do Tocantins verificou-se que a distribuição dos alelos A2 no gene CSN2 tem maior frequência na mesorregião ocidental, não sendo possível observar se existe impacto sobre o grau de conservação dos animais, nível tecnológico empregado nos sistemas de produção, com base nas informações coletadas.

## CONCLUSÃO

A raça Curraleiro Pé Duro, no Estado do Tocantins, apresenta maior frequência para o alelo A2 e genótipo A2A2, semelhante ao encontrado em outros rebanhos no Brasil. Rebanhos mais conservados estão presentes na mesorregião Ocidental do estado do Tocantins pela maior frequência de genótipos A2A2.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio do Edital da PROPESQ/UFNT (Edital nº 071/2021 e Edital nº 011/2022) e do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica na Amazônia – PROCAD/Amazônia da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil. Ao Núcleo de Pesquisa e Extensão em Genética e Melhoramento Animal (NAPGEM) da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína. Aos criadores de bovinos da raça Curraleiro Pé-duro no Estado do Tocantins, pelas informações e disponibilidade dos animais.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. S. M.; EGITO, A. A.; MARIANTE, A. S. Programa brasileiro de conservação de recursos genéticos animais. **Archivos de zootecnia**, v. 51, n. 193, p. 7, 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198529/1/Dialnet-ProgramaBrasileiroDeConservacaoDeRecursosGeneticos-279936.pdf>
- BARBOSA, G.F.; SANTOS, R.A.T.; OLIVEIRA, N.M.; LUZ, R.A. Tocantins e seus pólos regionais: Uma proposta de regionalização econômica. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 2, Edição Especial, p. 90-99, mar/2019.
- BARBOSA, M.G., SOUZA, A.B., TAVARES, G.M., ANTUNES, A.E.C. Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório. **Segur.Aliment.Nutr.**, Campinas, v.26, p.1-11.e019004.2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.20396/san.v26i0.8652981>
- BEJA-PEREIRA, A., LUIKART, G., ENGLAND, P. R., BRADLEY, D. G., JANN, O. C., BERTORELLE, G. Gene-culture coevolution between cattle milk protein genes and human lactase genes. **Nature genetics**, v. 35, n. 4, p. 311-313, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng1263>
- BISHOP, J., KAPILA, S., HICKS, F., MITCHELL, P., & VORHIES, F. New business models for biodiversity conservation. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 28, n. 3-5, p. 285-303, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549810902791481>
- CAROLI, A. M.; CHESSA, S.; ERHARDT, G. J. Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. **Journal of dairy science**, v. 92, n. 11, p. 5335-5352, 2009. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2461>
- CARVALHO, G. A., QUIRINO, C. R., PAIVA, S., & BLACKBURN, H. D. Genetic distance of Curraleiro PéDuro cattle in respect other breeds raised in Brazil and the United States assessed with microsatellites. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 30, n. 2, p. 78-89, 2022. DOI: <https://doi.org/10.53588/alpa.300202>.
- CARVALHO, G. M. C., DA SILVA, L. R. F., ALMEIDA, M. J. O., LIMA NETO, A. F., & BEFFA, L. M. Phenotypic evaluation of Curraleiro Pé-Duro breed of cattle from semiarid areas of Brazil. **Archivos de Zootecnia**, v. 62, n. 237, p. 9-20, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4321/S0004-05922013000100002>
- CEZAR, I. M., DE QUEIROZ, H. P., THIAGO, L. D. S., GARAGORRY, F. L., & COSTA, F. P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 40p, 2005. Disponível em: [https://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc\\_pdf/doc151.pdf](https://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc_pdf/doc151.pdf)
- DE PAULA, Hermes Ricardo Matias. **Curraleiro Pé-Duro: O gado que criou o Brasil**. Paco e Littera, 2023. 624p.

EGITO, Andréa Alves do. **Diversidade genética, ancestralidade individual e miscigenação nas raças bovinas no Brasil com base em Microssatélites e Haplótipos de DNA Mitocondrial**: subsídios para a conservação. 246p., Universidade de Brasília, Programa de Pós-graduação em Biologia Molecular, (Tese de Doutorado), 2007. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/1136>

FELIX, G. A., PIOVEZAN, U., JULIANO, R., SILVA, M., & FIORAVANTI, M. C. Potencial de uso de raças bovinas locais brasileiras: Curraleiro Pé-Duro e Pantaneiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, 2013. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3478>

FIORAVANTI, M. C. S., NEIVA, A. C. G. R., DE MOURA, M. I., OLIVEIRA, M. F., DE PÁDUA MONTEIRO, E., & SERENO, J. R. B. Kalungas e Curraleiro Pé-Duro: o resgate de uma tradição. **Revista UFG**, v. 13, n. 13, 2012. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48458>

FRANÇA, A.A.O.; COSTA, K.G. A construção do território tocantinense por meio da cartografia das microrregiões. **Revista Tocantinense de Geografia**, [S. l.], v. 5, n. 8, p. 198–208, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20873/rtg.v5n8p198-208>

GIGLIOTI, R., GUTMANIS, G., KATIKI, L. M., OKINO, C. H., DE SENA OLIVEIRA, M. C., & VERCESI FILHO, A. E. New high-sensitive rhAmp method for A1 allele detection in A2 milk samples. **Food chemistry**, v. 313, p. 126167, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126167>

JANN, O., CERIOTTI, G., CAROLI, A., & ERHARDT, G. A new variant in exon VII of bovine  $\beta$ -casein gene (CSN2) and its distribution among European cattle breeds. **Journal of animal breeding and genetics**, v. 119, n. 1, p. 65-68, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2002.00318.x>

JOSHI, B. K. Indian cow, buffalo breeds give healthier milk. **Report New Delhi**, p. 104 - 108, 2011. Disponível em: <https://www.newindianexpress.com/nation/2011/jun/26/indian-cow-buffalo-breeds-give-healthier-milk-266600.html>

KAMINSKI, S.; CIESLINSKA, A.; KOSTYRA, E. Polymorphism of bovine betacasein and its potential effect on human health. **Journal Applied Genetics**., v. 48, p. 189–198, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03195213>.

LADYKA, V., DREVYTSKA, T., PAVLENKO, Y., SKLIARENKO, Y., LAHUTA, T., DREVYTSKYI, O., & DOSENKO, V. The Comparison of CSN2 (rs43703011) Beta-Casein Gene Options Frequencies in Different Breeds of Ukraine Cows and the Prospect of Creating Herds with the A2/A2 Genotype. 2021. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-851723/v1>

LARCENEUX, Fabrice; BENOIT-MOREAU, Florence; RENAUDIN, Valérie. Why might organic labels fail to influence consumer choices? Marginal labelling and brand equity effects. **Journal of Consumer Policy**, v. 35, n. 1, p. 85-104, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10603-011-9186->

MALARMATHI, M., KUMAR, T. M. A. S., PARTHIBAN, M., MUTHURAMALINGAM, T., & PALANISAMMI, A. Analysis of  $\beta$ -casein gene for A1 and A2 genotype using allele specific PCR in Kangeyam and Holstein Friesian crossbred cattle in Tamil Nadu. **Indian Journal of Veterinary and Animal Sciences Research**, v. 10, n. 4, p. 310-315, 2014. Disponível em: <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810042681>

MARIANTE, A. S.; CAVALCANTE, N. **Animais do descobrimento: raças domésticas da história do Brasil**. Brasília, DF, 2. ed. EMBRAPA, 2006, 274p. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00078220.pdf>

MEDEIROS, A.L.; dos SANTOS, L.B.; ANDRÉ, C.M.G. 2018. Desenvolvimento Municipal das Microrregiões do Estado do Tocantins: uma análise a partir do Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal. **Desenvolvimento em Questão**, v.16, n.45, p. 44-62. DOI: 10.21527/2237.6453.2018.45.62.

MIR, Shahlla N.; ULLAH, Obaid; SHEIKH, Riazuddin. Genetic polymorphism of milk protein variants and their association studies with milk yield in Sahiwal cattle. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 4, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2013.13216>

MIRETTI, M. M., DUNNER, S., NAVES, M., CONTEL, E. P., & FERRO, J. A. Predominant African-derived mtDNA in Caribbean and Brazilian Creole cattle is also found in Spanish cattle (*Bos taurus*). **Journal of Heredity**, v. 95, n. 5, p. 450-453, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1093/jhered/esh070>

MISHRA, B., MUKESH, M., PRAKASH, B., SODHI, M., KAPILA, R., KISHORE, A., Status of milk protein,  $\beta$ -casein variants among Indian milch animals. **Ind J Anim Sci**, v. 79, n. 7, p. 722-725, 2009. Disponível em: [https://vedicilluminations.com/downloads/Society%20Science%20Art/Status%20of%20milk%20protein,%20beta-casein%20variants%20among%20Indian%20milch%20animals%20\(A1,%20A2\).pdf](https://vedicilluminations.com/downloads/Society%20Science%20Art/Status%20of%20milk%20protein,%20beta-casein%20variants%20among%20Indian%20milch%20animals%20(A1,%20A2).pdf)

MISHRA, B., MUKESH, M., PRAKASH, B., SODHI, M., KAPILA, R., KISHORE, A. Status of milk protein,  $\beta$ -casein variants among Indian milch animals. **Ind J Anim Sci**, v. 79, n. 7, p. 722-725, 2009. Disponível em: [https://vedicilluminations.com/downloads/Society%20Science%20Art/Status%20of%20milk%20protein,%20beta-casein%20variants%20among%20Indian%20milch%20animals%20\(A1,%20A2\).pdf](https://vedicilluminations.com/downloads/Society%20Science%20Art/Status%20of%20milk%20protein,%20beta-casein%20variants%20among%20Indian%20milch%20animals%20(A1,%20A2).pdf)

NG-KWAI-HANG, K. F.; GROSCLAUDE, F. **Genetic polymorphism of milk proteins, in, Advanced Dairy Chemistry**, Volume 1: Proteins, 3rd edn., PF Fox and PLH McSweeney, eds. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3\\_22](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_22)

NGUYEN, Qui Dang; NISHINO, Naoki. Frequency of  $\beta$ -Casein Gene Polymorphisms in Jersey Cows in Western Japan. **Animals**, v. 12, n. 16, p. 2076, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12162076>

NUNES, D.S., MELO, W.F., BRACARENSE, L.S.F.P. Implicações socioeconômicas da rodovia BR-153 e os reflexos no desenvolvimento urbano no Tocantins. **Humanidades**

& **Inovação**, v.7, n.14, p. 47-61, 2020. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/3071>

OLIVEIRA FILHO, Amado de. **Produção e Manejo de Bovinos de Corte**. 155p. Cuiabá-MT: KCM Editora, 2015.

OLIVEIRA, N. M.; PIFFER, M. Conjuntura do desenvolvimento regional dos municípios do Estado do Tocantins. **Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 6, n. 3, p. 32-61, nov. 2016. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/2583/1/Artigo%20de%20Peri%20c3%b3dic%20o%20-%20Conjuntura%20do%20desenvolvimento%20regional%20dos%20munic%20c3%adp%20do%20estado%20do%20Tocantins.pdf>

OLIVEIRA, N.M. **Desenvolvimento regional e territorial do Tocantins**. 214p. Palmas/TO: Universidade Federal do Tocantins / EDUFT, 2019.

PATEL, S., SHAH, T., SABARA, P., BHATIA, D., PANCHAL, K., ITALIYA, J., & RANK, D. N. Understanding functional implication of  $\beta$ -casein gene variants in four cattle breeds characterized using AmpliSeq approach. **Biotech**, v. 10, n. 9, p. 1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02410-2>

RAHIMI, Z., GHOLAMI, M., RAHIMI, Z., & YARI, K. Evaluation of beta-casein locus for detection of A1 and A2 alleles frequency using allele specific PCR in native cattle of Kermanshah, Iran. **Biharean Biologist**, v. 9, n. 2, p. 85-87, 2015. Disponível em: [http://biozoojournals.ro/bihbiol/cont/v9n2/bb\\_141136\\_Rahimi.pdf](http://biozoojournals.ro/bihbiol/cont/v9n2/bb_141136_Rahimi.pdf)

RAMESHA, K. P., RAO, A., BASAVARAJU, M., ALEX, R., KATAKTALWARE, M. A., JEYAKUMAR, S., & VARALAKSHMI, S. Genetic variants of  $\beta$ -casein in cattle and buffalo breeding bulls in Karnataka state of India. **Indian Journal of Biotechnology**, v.15, n..2, p.178-181, 2016. Disponível em: <http://www.niscair.res.in/.../ijbt0.asp>

ROLDÃO, A.; FERREIRA, V. O. 2019. Climatologia do estado do Tocantins, Brasil. **Cadernos de Geografia**, v.29, n.59, p.1161-1181. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1161>

ROSA, A. D. N., MENEZES, G. D. O., da SILVA, L. O. C., ANTONIO DO NASCIMENTO ROSA, C. N. P. G. C., MARTINS, E. N., GILBERTO ROMEIRO DE OLIVEIRA MENEZE, C. N. P. G. C., & DA SILVA, L. O. C. **Melhoramento genético aplicado em gado de corte**: Programa Geneplus-Embrapa. 2013. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/980414>

SALLES, P., MEDEIROS, G. R., COSTA, R. G., RAMOS, C. T. C., BORBUREMA, J., ROCHA, M., & MATHIAS, W. Programa de conservação e melhoramento de uma raça bovina Brasileira: Curraleiro Pé-Duro. **AICA-Actas Iberoamericana de Conservacion animal**, Córdoba, v. 1, n. 1, p. 453-6, 2011. Disponível em: [http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo\\_110\\_lin\\_photo/articulos/2011/salles2011\\_1\\_453\\_456.pdf](http://www.uco.es/conbiand/aica/templatemo_110_lin_photo/articulos/2011/salles2011_1_453_456.pdf)

SHARMA, V., NAROTAM, S., PREM, R.S., BINISH, J., SATISH, C.N. AND SINGH, R.K. Amplification of the bovine beta casein gene relevance to modern human health. **Am. J. PharmTech. Res.**, v. 3, n.1, p. 439-444, 2013.

SHARMA, V., SHARMA, N., SINGH, P. R., JAWED, B., & CHANDRA, S. Amplification of the Bovine Beta Casein Gene-Relevance to Modern Human Health. **Am. J. PharmTech. Res**, v. 3, n. 1, p. 439-444, 2013. from: [https://www.academia.edu/17193808/Amplification\\_of\\_the\\_Bovine\\_Beta\\_Casein\\_Gene\\_Relevance\\_to\\_Modern\\_Human\\_Health](https://www.academia.edu/17193808/Amplification_of_the_Bovine_Beta_Casein_Gene_Relevance_to_Modern_Human_Health).

SILVA NETO, V. L.; SOUZA, L. B. e; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Spatial and temporal variability of precipitation in Tocantins State, Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. e44310313545, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13545>. Acesso em: 3 jun. 2023.

SILVA, M. C. Genômica de populações e genética geográfica de bovinos Pantaneiros e Curraleiro Pé-Duro com uso de polimorfismos de base única (SNP). 170p, Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Escola de Veterinária e Zootecnia (**Tese de Doutorado**) Goiânia, Goiás.2015.

SILVA, M. C., SANTOS, H. D., FRANK, L. E. B., FERRAZ, J. B. S., SCHLINDWEIN, M. M., GARCIA, J. A. S., SOUZA, A. B. B.; FERREIRA, J. L. Prospection of sustainable agrifood systems based on discourse analysis of Curraleiro Pé-Duro cattle breeders in Brazil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 75, 267-279, 2023.

VÄRV, S., BELOUSOVA, A., SILD, E., & VIINALASS, H. Genetic diversity in milk proteins among Estonian dairy cattle. **Veterinarija ir zootechnika**, v. 48, n. 70, 2009. Disponível em: <https://vetzoo.lsmuni.lt/data/vols/2009/48/pdf/varv.pdf>

ZINGLER, Karine Daiane et al. Uma análise institucionalista do papel do planejamento estratégico na Embrapa. Colóquio (Taquara): **revista das Faculdades de Taquara**. Vol. 18, no. 1 (jan./mar. 2021), p. 130-152, 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/218139>