UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

ALYCIA KAYLA DA SILVA PINHEIRO

MODULAÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS DO LEITE ASININO UTILIZANDO ÓLEO DE SOJA NA DIETA

GARANHUNS – PE

2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

ALYCIA KAYLA DA SILVA PINHEIRO

MODULAÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS DO LEITE ASININO UTILIZANDO ÓLEO DE SOJA NA DIETA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Nutrição e Produção de Animais Não-Ruminantes.

Orientador: Prof. DSc. Juliano Martins Santiago
Coorientador: Prof. DSc. Jorge Eduardo Cavalcante Lucena

Linha de Pesquisa: Produção e Nutrição de Não-Ruminantes

GARANHUNS – PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIB-UFAPE)

P654m

Pinheiro, Alycia Kayla da Silva

Modulação dos ácidos graxos do leite asinino utilizando óleo de soja na dieta / Alycia Kayla da Silva Pinheiro. – Garanhuns, 2025.

60 f. : il. color.

Orientador(a): Juliano Martins Santiago.

Coorientador(a): Jorge Eduardo Cavalcante Lucena.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, Garanhuns, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Nutrição animal. 2. Leite - Qualidade. 3. Asininos. I. Santiago, Juliano Martins (orient.) II. Lucena, Jorge Eduardo Cavalcante (coorient.) III. Universidade Federal do Agreste de Pernambuco Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens IV. Título

CDD 636.18

Elaborado pelo(a) bibliotecário(a) Rayanne de Andrade Gonçalves (CRB-4/2404)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS

Autor: Alycia Kayla da Silva Pinheiro

Orientador: Prof. DSc. Juliano Martins Santiago

Coorientador: Prof. DSc. Jorge Eduardo Cavalcante Lucena

MODULAÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS DO LEITE ASININO POR NÍVEIS CRESCENTES DE ÓLEO DE SOJA NA DIETA

Titulação: Mestre em Ciência Animal e Pastagens

Data da defesa: 19/12/2025

Banca Examinadora:

Prof. DSc. Juliano Martins Santiago
(Orientador)

Profª. DSc. Keila Aparecida Moreira
(Examinador)

Profª. DSc. Chiara Albano de Araújo Oliveira
(Examinador)

“Tudo que a mente pode conceber e acreditar, a mente pode realizar.”

Napoleon Hill

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela Sua constante proteção por permanecer comigo em todos os momentos, concedendo-me força e coragem para seguir em frente diante de tantos desafios.

Aos meus queridos e amados pais, Janicleide e Adeildo, por sempre me proporcionarem oportunidades e direcionamento através de seus conselhos, ações e exemplos. Amo-os incondicionalmente.

Aos meus irmãos, Artur e Analicy, que sempre estiveram compartilhando as conquistas, colecionando memórias e boas risadas. As videochamadas recebidas durante a execução do experimento deste trabalho faziam parte do meu combustível para seguir em frente.

Ao meu ex-companheiro, Tiago, que, ao longo de minha trajetória acadêmica, sempre acompanhou e auxiliou em diversos âmbitos, apoiando minhas decisões.

Ao meu trio forte e corajoso, Karol, Damilly e Igor, que juntos, conseguimos desenvolver nossos experimentos da melhor forma, mesmo diante das dificuldades. Vocês são demais!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Juliano Martins Santiago e ao meu coorientador, Prof. Dr. Jorge Eduardo Cavalcante Lucena, pelas excelentes contribuições, compreensão da minha rotina e paciência durante a execução deste trabalho.

Ao pós-doutorando, Alysson Herculano, pelo suporte e orientações durante as análises e escrita desse trabalho.

À Universidade Federal do Agreste de Pernambuco e a todos que nela colaboram, contribuindo de forma significativa na vida de todos os alunos e profissionais.

Aos professores e membros do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens (PPGCAP).

Ao CNPq pelo financiamento e disponibilidade de bolsa durante o período de estudo.

À Fazenda Experimental da UFRPE e a TODOS os seus funcionários, em especial a Renato e Jucélio, pela parceria e apoio durante a permanência do experimento.

À TODA a equipe do GEQUAM, pela ajuda, em especial à Tassiana, Paula, Sthefanny e Maísa, por sempre estarem presentes, tornando a caminhada mais leve. Vocês contribuíram muito para a realização deste trabalho e hoje temos uma amizade linda!

A todos que vieram da UAST auxiliar no experimento, em especial, aos meus queridos "filhos acadêmicos", Guilherme e Lucas Israel. Vocês vieram de Serra Talhada com uma missão importante, não só para aquela fazenda, mas para criarmos um vínculo de forma abençoada. Eu amo o carinho e a amizade de vocês!

Aos meus amigos do coração, meus irmãos de vida, Lucas Santos, Andreia, Andressa, Karol e Lucas Silva, que foram essenciais para a decisão de executar esse mestrado. A parceria e a amizade de quem divide o mesmo sonho tem um valor imensurável. Que nossa amizade seja duradoura e que possamos compartilhar juntos as conquistas que tanto almejamos.

A TODOS amigos e companheiros de pós-graduação por estarem comigo nessa caminhada e pelas ótimas conversas e compartilhamentos, especialmente aos do PPGCAP e PPGPA.

Não há dimensão para o tamanho da minha gratidão!

RESUMO

PINHEIRO, A.K.S. **Modulação dos ácidos graxos do leite asinino utilizando óleo de soja na dieta**. Garanhuns, PE: UFAPE, 2025. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens, Área de Concentração em Nutrição e Produção de Animais Não-Ruminantes).

O leite asinino tem se mostrado uma alternativa promissora para o consumo humano, com composição química semelhante à do leite materno. É rico em ácidos graxos insaturados, importantes para a prevenção de doenças inflamatórias e cardiovasculares. Possui baixos níveis de gordura e proteína total, mas é rico em lactose, o que o torna uma opção viável para pessoas, inclusive crianças, com alergia à proteína do leite de vaca. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito da inclusão progressiva de óleo de soja na dieta de jumentas do ecótipo Nordestino sobre a modificação do perfil de ácidos graxos e da composição nutricional do leite. Foram utilizadas 16 fêmeas asininas (*Equus asinus*) do ecótipo Nordestino, com idade variando entre 3 e 7 anos e peso vivo médio de 185 ± 30 kg. Os animais foram distribuídos inteiramente ao acaso em quatro grupos experimentais, com quatro animais por grupo, sendo os tratamentos compostos por: ração controle, sem inclusão de óleo de soja, e três formulações contendo a substituição progressiva de 10%, 20% e 30% da energia digestível (ED) oriunda dos grãos pela ED do óleo de soja. Após 25 dias de adaptação às dietas, iniciaram-se as coletas de leite para análise da composição físico-química. As amostras foram coletadas durante cinco dias consecutivos, pela manhã (07h00). Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Observou-se influência dos níveis de inclusão de óleo de soja na composição dos ácidos graxos insaturados do leite. O ácido oleico apresentou aumento linear ($P = 0,0157$), alcançando valores de 4,96 g.100 g^{-1} na dieta com inserção de 30% de óleo de soja. O ácido linoleico mostrou diferenças ($P = 0,0091$), com maiores concentrações no tratamento 30% (7,68 g.100 g^{-1}). Esse comportamento também foi corroborado ao avaliar o total de ácidos graxos insaturados do leite, que aumentou ($P = 0,0255$) conforme nível crescente de óleo de soja na dieta. A relação insaturados:saturados apresentou crescimento linear ($P = 0,0055$), atingindo 2,63 no tratamento com 30% de óleo de soja. Já para proteína total, gordura total, lactose e cinzas, não houve diferença na concentração de entre os tratamentos. Entretanto, com relação à composição mineral do leite resultaram em redução nas concentrações de sódio ($P = 0,0076$) e cloro ($P = 0,0001$), sendo os menores valores registrados no tratamento com 30% de inclusão de óleo de soja. Já o fósforo apresentou aumento de 1,2% ($P = 0,0463$). Conclui-se que a inserção de 30% de óleo de soja na dieta elevou o perfil de ácidos graxos insaturados do leite asinino. Além disso, o leite das jumentas do ecótipo Nordestino apresentou características físico-químicas, perfil de ácidos graxos e composição mineral compatíveis com o descrito na literatura, confirmando seu potencial nutracêutico para a saúde humana.

Palavras-chave: energia digestível, gordura, jumentas

ABSTRACT

PINHEIRO, A. K. S. **Modulation of donkey milk fatty acids using soybean oil in the diet.** Garanhuns, PE: UFAPE, 2025. 60 p. Dissertation (Master's in Animal Science and Pastures, Concentration Area in Nutrition and Production of Non-Ruminant Animals).

Donkey milk has proven to be a promising alternative for human consumption, with a chemical composition similar to that of human milk. It is rich in unsaturated fatty acids, which are important for the prevention of inflammatory and cardiovascular diseases. It contains low levels of fat and total protein but is rich in lactose, making it a viable option for individuals, including children, with cow's milk protein allergy. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of the progressive inclusion of soybean oil in the diet of jennies of the Northeastern ecotype on the modification of the fatty acid profile and nutritional composition of the milk. Sixteen female donkeys (*Equus asinus*) of the Northeastern ecotype, aged between 3 and 7 years and with an average body weight of 185 ± 30 kg, were used. The animals were randomly allocated into four experimental groups with four animals per group. The treatments consisted of a control diet without soybean oil and three formulations containing the progressive replacement of 10%, 20%, and 30% of digestible energy (DE) from grains with DE from soybean oil. After 25 days of adaptation to the diets, milk sampling began for physicochemical composition analysis. Samples were collected for five consecutive days in the morning (07:00). Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test ($P<0.05$). An influence of soybean oil inclusion levels on the composition of milk unsaturated fatty acids was observed. Oleic acid showed a linear increase ($P = 0.0157$), reaching values of 4.96 g·100 g^{-1} in the diet containing 30% soybean oil. Linoleic acid differed among treatments ($P = 0.0091$), with the highest concentrations in the 30% group (7.68 g·100 g^{-1}). This pattern was also corroborated when evaluating the total unsaturated fatty acids in the milk, which increased ($P = 0.0255$) according to the rising soybean oil level in the diet. The unsaturated:saturated ratio showed a linear increase ($P = 0.0055$), reaching 2.63 in the treatment with 30% soybean oil. In contrast, no differences were observed among treatments for total protein, total fat, lactose, and ash. However, regarding mineral composition, reductions were found in sodium ($P = 0.0076$) and chloride ($P = 0.0001$), with the lowest values recorded in the treatment with 30% soybean oil inclusion. Phosphorus, on the other hand, showed an increase of 1.2% ($P = 0.0463$). It is concluded that the inclusion of 30% soybean oil in the diet increased the profile of unsaturated fatty acids in donkey milk. Additionally, the milk of jennies from the Northeastern ecotype presented physicochemical characteristics, fatty acid profile, and mineral composition consistent with what has been reported in the literature, confirming its nutraceutical potential for human health.

Keywords: digestible energy, fat, donkeys.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Metabolismo lipídico na célula epitelial da glândula mamária de fêmeas asininas 226

CAPÍTULO II: MODULAÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS DO LEITE ASININO POR NÍVEIS CRESCENTES DE ÓLEO DE SOJA NA DIETA

Figura 1. Organograma do delineamento experimental 41
Figura 2. Concentração de ácido graxo linoleico (C18:2), total de ácidos insaturados, ácidos graxos poli-insaturados, relação insaturados:saturados e índice de aterogenicidade do leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de óleo de soja na dieta. 48
Figura 3. Tricina-SDS-PAGE das proteínas do leite de jumentas alimentadas com dietas contendo 0% a 30% de substituição de energia do concentrado por óleo de soja nas amostras dos diferentes tratamentos; M.M.: marcador molecular (kDa). Lactoferrina (~75 kDa), albumina sérica (~67 kDa), imunoglobulinas (~60 kDa), caseínas (~21–35 kDa), β-lactoglobulina (~18 kDa), lisozima (~15 kDa) e α-lactalbumina (~14 kDa)... 49
Figura 4. Proporção dos minerais sódio, cloro e potássio no leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de óleo de soja na dieta. 50

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos do leite de diferentes espécies 20

CAPÍTULO II: MODULAÇÃO DOS ÁCIDOS GRAXOS DO LEITE ASININO POR NÍVEIS CRESCENTES DE ÓLEO DE SOJA NA DIETA

Tabela 1. Composição bromatológica da dieta 43
Tabela 2. Ingredientes e composição bromatológica da ração controle e das rações com substituição de 10, 20 e 30% da energia digestível (ED) dos grãos pela ED do óleo de soja 43
Tabela 3. Médias e desvio padrão (DP) dos sólidos totais, proteína total, gordura total, lactose, cinzas e contagem de células somáticas (CCS) em fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de substituição de energia do concentrado por óleo de soja na dieta.. 47
Tabela 4. Médias ± desvio padrão dos ácidos graxos saturados e insaturados (g 100^{-1} g de gordura) do leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de óleo de soja na dieta, com valores de P para ANOVA e regressão linear. 48
Tabela 5. Proporções de minerais (%) no leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de substituição de energia do concentrado por óleo de soja na dieta. 50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL 10
2. CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA 12
2.1 Asinino do Ecótipo Nordestino 12
2.2 Características e composição do leite asinino 14
2.3 Proteínas 15
2.4 Lactose 17
2.5 Lipídios 16
2.5.1 Ácidos graxos 17
2.5.2 Saturados (AGS) 18
2.5.3 Monoinsaturados (MUFA) 21
2.5.4 Poli-insaturados (PUFA) 21
2.6 Minerais 23
2.7 Vitaminas 24
2.8 Influência da dieta na composição do leite asinino 24
2.9 Uso do óleo de soja na nutrição de não-ruminantes 25
2.10 Impactos metabólicos do óleo na glândula mamária de fêmeas asininas 26
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 27
4. OBJETIVOS 34
CAPÍTULO II 35
1. INTRODUÇÃO 38
2. MATERIAL E MÉTODOS 39
2.1 Comitê de Ética 40
2.2 Animais e instalações 40
2.3 Delineamento experimental 41
2.4 Manejo nutricional 41
2.5 Variáveis analisadas 43
2.6 Análises estatísticas 45
3. RESULTADOS 45
4. DISCUSSÃO 50
5. CONCLUSÃO 57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57

1. INTRODUÇÃO GERAL

O jumento (*Equus asinus*) é uma espécie que, ao longo da história, tem desempenhado papéis importantes na sociedade, sendo um animal versátil, tradicionalmente utilizado em atividades como lazer, montaria, transporte, trabalho agrícola, carne e produção de leite (Rangel et al., 2015).

Contudo, tanto em países europeus com economias avançadas, quanto no Nordeste brasileiro, onde se concentra o maior efetivo da espécie no país, observa-se uma redução na presença desses animais nas atividades cotidianas das propriedades rurais. Esse declínio está associado principalmente à introdução de tecnologias modernas voltadas à mobilidade e à mecanização no meio rural (Ragona et al., 2016). Em resposta a esse cenário, diversas iniciativas têm surgido globalmente com o intuito de proteger a espécie e incentivar novos usos produtivos, o que contribui para sua preservação.

Dessa forma, a valorização atual do jumento tem se afastado do uso tradicional como animal de carga ou transporte, ganhando destaque nas pesquisas voltadas à caracterização e ao aproveitamento do leite dessa espécie. Investigam-se, sobretudo, os aspectos nutricionais e bioativos dessa secreção, revelando um potencial promissor para as indústrias alimentícia e cosmética (Aspri et al., 2017).

O leite de jumenta apresenta composição química bastante próxima à do leite materno humano, sendo considerado uma alternativa viável para pessoas com alergia à proteína do leite de vaca, inclusive crianças. Com ênfase em seu perfil proteico e seus níveis reduzidos de proteína total (≅1,74 g/100 mL), aliados a uma concentração elevada de lactose (≅ 6,23 g/100 mL). Apresenta baixo teor de gordura (≅1,21 g/100 mL), além de um perfil mineral característico, entre macro e microminerais, como cálcio, fósforo, cloro, sódio, entre outros (Sourollas et al., 2018; Martini et al., 2018; Derdak et al., 2020). Ademais, apresenta teor significativo de ácidos graxos insaturados, importantes na prevenção de doenças inflamatórias e cardiovasculares (Chiofalo et al., 2011; Cosentino et al., 2015).

Outro ponto relevante é a presença de compostos bioativos, como ácidos graxos essenciais, aminoácidos, vitaminas e minerais, que conferem ao leite de jumenta propriedades antioxidantes significativas, fazendo dele uma opção promissora para promoção da saúde humana (Cosentino et al., 2013).

No Brasil, a produção de leite asinino ainda é limitada, ocorrendo predominantemente em projetos de pesquisa conduzidos por universidades e por um número restrito de criadores (Carneiro et al., 2018). Assim, ao considerar as características nutricionais e

funcionais já descritas na literatura para o leite de diferentes raças de asininos, observa-se a busca por maior produção. Nesse contexto, muitos produtores recorrem ao uso de concentrados na dieta, os quais podem elevar a produção do leite. Por isso, investigar a influência da dieta sobre seus componentes nutricionais e bioativos, bem como as particularidades do perfil de ácidos graxos do leite produzido por fêmeas do ecótipo Nordestino, constitui uma estratégia promissora para fomentar o uso sustentável e a valorização desses animais no semiárido nordestino. Além disso, essa abordagem representa uma alternativa inovadora, com potencial para gerar impactos positivos na dimensão socioeconômica da região.

2. CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Asinino do Ecótipo Nordestino

O asno (*Equus asinus*), pertencente à família *Equidae*, que também compreende cavalos e zebras, tem origem no norte da África, sendo descendente do asno selvagem africano (*Equus africanus*). A domesticação dessa espécie ocorreu há mais de cinco mil anos, na região da bacia do Mediterrâneo, onde foi amplamente utilizada pelas antigas civilizações para transporte de cargas e pessoas, além da produção de leite. A partir desse núcleo de domesticação, o asno se disseminou gradualmente pela Ásia, Índia, sul da Europa e, posteriormente, pelas Américas, acompanhando os fluxos migratórios e comerciais humanos ao longo dos séculos (Vila et al., 2001; Camillo et al., 2017; McLean & Gonzalez, 2018; Dias, Massara & Bocchiglieri, 2019). Historicamente, a espécie é reconhecida por sua rusticidade e pela capacidade de adaptação a ambientes áridos. Essa característica, somada à força física e resistência, consolidou o papel do jumento como um recurso econômico e cultural de grande importância para diversas civilizações (Almeida, 2009; McManus et al., 2010; Rangel et al., 2015).

No Brasil, os asnos foram introduzidos durante o período colonial, trazidos por colonizadores portugueses para atender às demandas de tração e transporte nas atividades agropecuárias. Graças à sua notável resistência e à capacidade de transitar por terrenos acidentados, esses animais tornaram-se extremamente relevantes, especialmente na Região Nordeste, onde passaram a substituir progressivamente os equinos nas tarefas rurais (Alves et al., 2009; Lara et al., 2015). Com o avanço da mecanização agrícola, entretanto, o uso dos jumentos no campo foi gradualmente reduzido, levando a uma diminuição expressiva de seus efetivos populacionais (Ivankovic et al., 2009).

A partir do processo de adaptação às condições edafoclimáticas do semiárido, aliado aos cruzamentos entre indivíduos trazidos pelos colonizadores e às diferentes pressões seletivas, formaram-se no Brasil distintos grupos genéticos de asininos. Entre eles, destacam-se as raças Pêga, Brasileira (ou Paulista) e ecótipo Nordestino, sendo esta última fruto de intensa seleção natural sob as condições adversas do bioma Caatinga (Mariante; Cavalcante, 2006; McManus et al., 2010).

O jumento do ecótipo Nordestino é amplamente reconhecido por sua rusticidade e notável adaptação às condições ambientais do bioma Caatinga, sendo encontrado predominantemente no semiárido do Nordeste brasileiro (Messias et al., 2021). Essa adaptação resulta de um processo de seleção natural ao longo de gerações, no qual

acasalamentos aleatórios favoreceram o surgimento de características morfofisiológicas específicas, culminando no desenvolvimento do ecótipo regionalmente conhecido como "Nordestino" (Carneiro et al., 2018).

É um animal dócil, de conformação compacta, com corpo proporcionalmente mais longo que a altura à cernelha, está variando entre 1,00 e 1,20 m, independentemente do sexo. Apresenta garupa oblíqua, dorso reto e curto, membros secos e bem aprumados, cascos pequenos com talões altos e peso corporal adulto variando de 100 a 170 kg (Almeida, 2009; Pimentel et al., 2014). Essa conformação, associada à estrutura óssea resistente e ao centro de gravidade baixo, confere ao jumento Nordestino grande capacidade de deslocamento e resistência ao trabalho, o que tradicionalmente o tornou uma escolha para atividades de sela, transporte e tração no Semiárido (Mariante; Cavalcante, 2006).

Devido à sua rusticidade, os asininos são comumente manejados de forma extensiva no semiárido, tendo como base alimentar as pastagens nativas, que representam a fonte predominante de forragem disponível para os rebanhos da região (Sant'Ana et al., 2019). Em comparação com os equinos, são frequentemente considerados mais resistentes, apresentando elevada capacidade de sobrevivência em ambientes com escassez de recursos hídricos e alimentares. Demonstram ainda maior tolerância ao calor e à desidratação, o que os tornaram particularmente adaptados às condições climáticas adversas do Semiárido (McLean; Gonzalez, 2018).

A adaptação desses animais a ambientes áridos decorre de mecanismos fisiológicos e anatômicos específicos, como o controle eficiente da temperatura corporal, regulação do metabolismo hídrico e comportamentos alimentares de natureza conservativa. Possuem, ainda, a capacidade de suportar períodos prolongados de sede, realizar reidratação de forma rápida e preservar o apetite mesmo sob estresse térmico, características fundamentais para sua sobrevivência e produtividade em regiões semiáridas. Mesmo submetido a longo processo de adaptação ao bioma Caatinga, o que pode ter contribuído para perda de características produtivas, Dias et al. (2025) demonstraram o potencial leiteiro do ecótipo, podendo contribuir para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva sustentável e competitiva, tanto pelo baixo custo de produção quanto pelo fortalecimento socioeconômico da região.

2.2 Características e composição do leite asinino

Nos últimos anos, o leite asinino tem despertado crescente interesse na comunidade científica, especialmente por seu potencial na nutrição humana, com destaque para o uso em crianças com alergia à proteína do leite de vaca (Vandenplas et al., 2014; Barni et al., 2018; Sarti et al., 2019). Em estudo conduzido por Monte et al. (2018), observou-se sucesso na utilização do leite de jumenta como alternativa às fórmulas hipoalergênicas convencionais destinadas a crianças com sensibilidade à caseína bovina.

Já Piovesana et al. (2015), identificaram 13 peptídeos bioativos em amostras de leite asinino *in natura*, os quais demonstraram atividade anti-hipertensiva (67%) e antioxidante (35%), evidenciando o potencial nutracêutico desse alimento.

O leite asinino apresenta coloração branca, textura fina e fluidez marcante, com aroma e sabor levemente adocicados e agradáveis (Madhusudan et al., 2017). Sua composição caracteriza-se por baixos teores de sólidos totais, lipídios e proteínas, combinados a uma proporção equilibrada de lactose e cinzas (Messias et al., 2021) (Tabela 1). Essa menor concentração de sólidos totais confere consistência mais fluída, favorecendo a absorção de nutrientes e tornando-o uma opção de leite de baixa densidade energética.

Ademais, o leite de jumenta se destaca pela presença de compostos bioativos, como ácidos graxos essenciais, aminoácidos, vitaminas e minerais, que contribuem para sua expressiva atividade antioxidante (Cosentino et al., 2013). Contudo, a composição físico-química e funcional desse leite pode variar em função de fatores como raça, fase da lactação, estação do ano, dieta, estado fisiológico e condições de manejo (Rangel, 2015).

O período de lactação em asininos pode estender-se por vários meses, frequentemente ultrapassando 6 meses (180 dias) e em alguns casos observando-se produção por até cerca de 220 dias, dependendo de fatores como manejo, raça e estado fisiológico da fêmea (Madhusudan et al., 2017). De modo geral, observa-se aumento gradual na concentração de gordura e diminuição da proteína à medida que a lactação avança, enquanto o teor de lactose tende a apresentar leve decréscimo ou estabilidade, dependendo da espécie e do manejo nutricional (Salimei; Fantuz, 2012; Dias et al., 2025).

O teor de minerais também pode aumentar nas fases finais da lactação, em função da redução do volume secretado e da maior concentração dos constituintes sólidos (Massouras et al., 2020). Essas alterações refletem a adaptação fisiológica da glândula mamária e o balanço metabólico da fêmea durante o ciclo produtivo.

A alimentação dos animais desempenha papel determinante tanto na produção quanto na qualidade do leite, influenciando diretamente sua composição nutricional. Em sistemas extensivos, baseados em forragens nativas, observa-se aumento no teor de gordura, maior concentração de vitaminas lipossolúveis e um perfil de ácidos graxos mais benéfico à saúde humana, com destaque para os insaturados (Valle et al., 2018). Por outro lado, dietas com maior proporção de concentrado tendem a elevar a produção total de leite, em função do maior aporte energético, porém podem reduzir o teor de gordura e modificar o perfil lipídico, com diminuição dos ácidos graxos poli-insaturados e aumento dos saturados (Chilliard et al., 2007).

Assim, o equilíbrio entre o uso de volumosos e concentrados é fundamental para otimizar tanto o rendimento produtivo quanto a qualidade nutricional do leite asinino.

2.3 Proteínas

Em relação à composição proteica, o conteúdo total é relativamente reduzido, e a fração de caseínas representa apenas cerca de 35% a 45% das proteínas totais, enquanto no leite de vaca esse valor supera 80% (Massouras et al., 2020). O leite asinino caracteriza-se por apresentar baixos teores de caseína, o que o torna menos alergênico, em comparação ao leite bovino. Sua fração de proteínas do soro é composta por seis principais componentes: lisozima, lactoferrina, albumina sérica, β-lactoglobulina, α-lactoalbumina e imunoglobulinas (Aspri et al., 2018; Madhusudan et al., 2017). Além disso, observa-se predominância da β-caseína e baixa concentração de α_1-caseína, principal responsável pelas reações alérgicas induzidas pelo leite bovino, o que contribui para o baixo potencial imunogênico do leite de jumenta (Salimei; Fantuz, 2012; Polidori; Vincenzetti, 2019).

A estrutura das micelas de caseína é menos compacta, com menor grau de fosforilação e baixa afinidade por íons cálcio, o que favorece a digestibilidade e reduz a resistência enzimática durante a hidrólise gastrointestinal. Ademais, o perfil de aminoácidos essenciais, especialmente lisina, treonina e leucina, confere elevado valor biológico e excelente aproveitamento metabólico, reforçando o potencial do leite asinino como alternativa nutricional para indivíduos com restrições alimentares (Salari et al., 2020).

Entre os constituintes proteicos, destaca-se a lisozima, cuja concentração no leite asinino é superior à do leite humano (Businco et al., 2000; Carroccio et al., 2000). A lisozima é uma enzima com reconhecida atividade antimicrobiana, desempenhando um

papel importante na proteção imunológica e na manutenção do equilíbrio da microbiota intestinal. Sua ação ocorre pelo rompimento da parede celular bacteriana, liberando peptidoglicano e promovendo a ativação do sistema imunológico, o que contribui para a regulação da imunidade (Sahoo et al., 2012).

Além disso, a lisozima pertence a um grupo de substâncias naturalmente distribuídas, que participam da estimulação imunológica do organismo, auxiliando na produção de anticorpos contra diversos antígenos e aumentando a resistência a infecções (SAHOO et al., 2012). Essa enzima também integra mecanismos de defesa mais amplos, associando-se à atividade de macrófagos e imunoglobulinas, o que potencializa a resposta imunológica (Gong, 2014).

2.4 Lactose

O teor de lactose no leite de jumenta varia entre 6,0% e 7,0%, sendo consideravelmente superior ao observado no leite bovino (4,1% a 4,4%), o que contribui para seu sabor adocicado e maior palatabilidade. Essa alta concentração de lactose exerce funções biológicas importantes: estimula a osteogênese e favorece a absorção intestinal de cálcio e fósforo, promovendo o acúmulo mineral na matriz óssea e contribuindo para a prevenção da osteoporose; induz o crescimento de bactérias probióticas, inibindo o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes no trato digestivo; e atua na biossíntese de glicolipídios, componentes estruturais essenciais do sistema nervoso central, com papel relevante na formação e manutenção dos tecidos neurais (Malissiova et al., 2016; Li; Liu; Guo, 2018).

2.5 Lipídios

O teor de gordura do leite de jumenta é baixo, variando entre 0,45 e 0,61 % (0,54 % em média) (Liang et al., 2025). Ao longo da lactação, observa-se, ainda, uma redução gradual na fração lipídica, entre 15 e 180 dias após o parto (D'Alessandro & Martemucci, 2012). Apesar do menor teor de gordura, e consequentemente do valor energético total inferior quando comparado ao leite humano e ao leite de ruminantes, o leite de jumenta apresenta um perfil energético adequado às exigências fisiológicas da espécie. Nesse contexto, a principal fonte de energia para os potros é a fração de carboidratos, especialmente a lactose, presente em concentrações relativamente elevadas. A lactose desempenha papel fundamental no suprimento energético imediato, no desenvolvimento da microbiota intestinal e na facilitação da absorção de minerais, assegurando

crescimento e desenvolvimento adequados dos neonatos, mesmo diante do reduzido aporte lipídico.

2.5.1 Ácidos graxos

Estudos indicam que a fração lipídica do leite asinino apresenta maior proporção relativa de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) e menores concentrações de ácidos graxos saturados (AGS) e monoinsaturados (MUFA), em comparação com os leites de ruminantes (Tabela 1) (D'Alessandro; Martemucci, 2012; Salimei; Fantuz, 2013; Martini et al., 2014; Santillo et al., 2018). Essa composição lipídica mais equilibrada está relacionada a efeitos fisiológicos ~~benéficos à saúde humana~~, incluindo a modulação do perfil lipídico sérico, a redução de marcadores inflamatórios e a melhora do metabolismo glicídico, conferindo ao leite asinino potencial como alimento funcional, com implicações na prevenção de doenças cardiovasculares, inflamatórias e metabólicas.

Leites de equídeos apresentam menor teor de ácidos graxos saturados, maiores concentrações de ácidos graxos monoinsaturados, e razões variáveis entre ω-6/ω-3, refletindo a composição da dieta, geralmente rica em ácidos graxos insaturados (Barbano et al., 2021; Mollica et al., 2021). O leite humano possui perfil intermediário, com altos níveis de ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados, menor concentração de ácidos graxos saturados e presença de ácido linoleico conjugado (CLA), o que o torna metabolicamente mais equilibrado. Leites de ruminantes (bovino, caprino e ovino) são ricos em ácidos graxos saturados (> 55%) e possuem baixos níveis de ácidos graxos poli-insaturados (2–7%), com predominância de ácidos graxos de cadeia curta e média (Vicenzetti et al., 2017; Santillo et al., 2018). A presença de ácido linoleico conjugado é mais acentuada no leite dos ruminantes e menos expressiva nos não ruminantes (Barbano et al., 2021).

O perfil de ácidos graxos também é influenciado pela fase de lactação, havendo uma redução nos níveis de ácidos graxos saturados e um aumento de ácidos insaturados ao longo desse período, destacando-se a baixa razão n-6/n-3 (2:1), na qual refere-se à proporção entre os ácidos graxos poli-insaturados ômega-6 e ômega-3, que são essenciais e obtidos através da dieta, principalmente do óleo (Massouras; Triantaphyllopoulos; Theodossiou, 2017).

2.5.2 Saturados (AGS)

Os ácidos graxos saturados são formados por cadeias de carbono sem duplas ligações e são sólidos à temperatura ambiente. Estão frequentemente presentes em carnes gordurosas, laticínios integrais, óleo de coco e óleo de palma. No leite asinino, o palmítico (C16:0) é o ácido graxo saturado mais abundante (correspondendo a aproximadamente 22–24 % dos lipídios) (D'Alessandro e Martemucci, 2012).

Durante a lactação, os níveis de ácidos graxos saturados diminuem significativamente (cerca de 33 %), resultando em estimativas de aproximadamente 51,9 % de ácidos graxos saturados, 28 % de monoinsaturados e 20 % de poli-insaturados nos estágios tardios da lactação (120-210 dias) (Salgado et.al 2021. Santos et. al 2023. Martini et al., 2024). Suas funções biológicas e aplicações nutricionais são relevantes, especialmente no fornecimento de energia e na composição estrutural das membranas celulares.

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos do leite de diferentes espécies.

	SFA (%)	MUFA (%)	PUFA (%)	ω-6/ω-3	CLA (%)	Fonte (Ano)
Asinino	46–68	15–35	14–30	6–15 (ω-6) / 4–16 (ω-3)	traço a 1.1	Chilliard et al., 2020 / Barbano et al., 2021 / Mollica et al., 2021
Equino	37–55	18–36	12.8–51.3	ω-6/ω-3: 0.9–6.1	traço	Chilliard et al., 2020
Humano	31.3	45.7	22.4	2.1–3.7	0.2–2.4	Vicenzetti et al., 2017
Bovino	55–73	22.7–30.3	2.4–6.3	2.1–3.7	0.2–2.4	Vicenzetti et al., 2017
Caprino	59.9–73.7	21.8–35.9	2.6–5.6	4.0	0.3–1.2	Barbano et al., 2021
Ovino	57.5–74.6	23.0–39.1	2.5–7.3	1.0–3.8	0.6–1.1	Barbano et al., 2021

SFA = Saturated Fatty Acids (ácidos graxos saturados);
MUFA = Monounsaturated Fatty Acids (ácidos graxos monoinsaturados);
PUFA = Polyunsaturated Fatty Acids (ácidos graxos poli-insaturados);
ω-6/ω-3 = relação entre ácidos graxos ômega-6 e ômega-3;
CLA = Conjugated Linoleic Acid (ácido linoleico conjugado).

No entanto, alguns ácidos graxos saturados apresentam efeitos metabólicos distintos e, na indústria/culinária, desempenham papel importante ao conferir textura e prolongar a conservação dos alimentos. A literatura ainda debate o efeito dos ácidos graxos saturados e o impacto quando comparado a diferentes substitutos. Pesquisas recentes argumentam que recomendações muito rígidas sobre redução de ácidos graxos saturados devem considerar qualidade da dieta em conjunto. Ainda assim, as grandes diretrizes públicas continuam a recomendar limitar os ácidos graxos saturados e priorizar os poli-insaturados (Callegari et al., 2023).

2.5.3 Monoinsaturados (MUFA)

Já os ácidos graxos insaturados possuem uma ou mais duplas ligações. Dividem-se em ácidos graxos monoinsaturados, com apenas uma ligação, e poli-insaturados, com duas ou mais ligações, sendo geralmente líquidos em temperatura ambiente (Bishehkolaei et al., 2024). Esses tipos de ácidos graxos atuam na estrutura das membranas celulares e apresentam efeitos de sinalização anti-inflamatória, promoção de saúde cardiovascular e suporte à função cerebral, sendo, por isso, recomendados na prevenção secundária de doenças cardiovasculares, principalmente para grupos mais suscetíveis a doenças (Callegari et al., 2023). No leite de jumenta, a fração de monoinsaturados varia entre 26% e 31% do total de ácidos graxos, sendo o ácido oleico (C18:1 cis-9) o predominante (aproximadamente 23–38%) (Martini et al., 2024).

2.5.4 Poli-insaturados (PUFA)

Os ácidos graxos poli-insaturados compõem entre 15% e 20% dos lipídios do leite asinino, refletindo proporções significativas de ômega-6 (linoleico) e ômega-3 (α-linolênico, ALA) (Liang et al., 2025). O ácido α-linolênico (C18:3 n-3) é o terceiro ácido graxo mais abundante (variando entre aproximadamente 10,7 e 14,6 %) e apresenta pico entre 60 e 90 dias de lactação (Messias et al., 2021). Estudos indicam concentrações de ácido α-linolênico entre 7,25 e 7,97 g por 100 g de gordura do leite, cerca de 15 vezes superior às encontradas no leite bovino (Liang et al., 2025). A razão poli-insaturado/saturado é elevada (cerca de 0,88–0,92), e a proporção ômega-3/ômega-6 é favorável (entre 0,59 e 0,86) (Polidori et al., 2021).

Os ácidos graxos poli-insaturados desempenham papel crucial na manutenção da saúde humana, sendo essenciais em todas as fases do desenvolvimento (Lupette & Benning, 2020). O organismo humano não é capaz de sintetizar todos os lipídios

necessários, tornando imprescindível a obtenção desses ácidos graxos via dieta. A qualidade desses lipídios é determinante para a homeostase lipídica, com destaque para os poli-insaturados das famílias n-6 e n-3, reconhecidos como ácidos graxos essenciais.

O ácido α-linolênico (C18:3 n-3), pertencente à série n-3, é considerado um nutriente funcional devido aos seus múltiplos efeitos fisiológicos: contribui para a redução do risco de doenças cardiovasculares, modula processos inflamatórios, auxilia na diminuição do colesterol total e apresenta efeito preventivo em doenças metabólicas, como o diabetes (Vaz et al., 2014). Já o ácido linoleico (LA, C18:2 n-6), presente em abundância na dieta humana, é fundamental para o funcionamento celular, sendo necessário em todas as fases da vida (Marangoni et al., 2020).

Estudos clínicos demonstram que a substituição de gorduras saturadas por poli-insaturadas, especialmente o ácido linoleico, promove benefícios metabólicos significativos. Bjermo et al. (2012) observaram que tal substituição resultou em redução da gordura hepática, diminuição das concentrações séricas de insulina, colesterol total e triglicerídeos, sem efeitos adversos sobre estresse oxidativo ou inflamação.

Outros ácidos graxos de cadeia longa, como o ômega 3 (EPA/DHA), apresenta evidências consistentes de benefícios, incluindo melhora nos marcadores lipídicos e inflamatórios, redução dos níveis de triglicerídeos e, em pacientes específicos, diminuição da ocorrência de eventos cardiovasculares. Além disso, estudos indicam possíveis efeitos positivos em condições metabólicas e no desempenho cognitivo. Já o ômega 6 (ácido linoleico), embora no passado tenha sido associado a potenciais efeitos pró-inflamatórios, análises mais recentes demonstram que sua maior ingestão está relacionada à redução do risco cardiovascular em diversas populações (Bishehkolaei et al., 2024). Na pesquisa de Polidori et al. (2021), foram detectados traços de ácido eicosapentaenoico (EPA) (C20:5) e ácido docosa-hexaenóico (DHA) (C22:6) no leite de jumenta (aproximadamente 0,3 %), indicando adicional potencial funcional.

O perfil lipídico com alta proporção de ácidos graxos poli-insaturados e menor concentração de saturados coloca o leite asinino como um alimento funcional potencialmente cardioprotetor e anti-inflamatório. A abundância de ácido α-linolênico favorece a produção de ácido eicosapentaenoico, conferindo efeitos positivos à saúde metabólica do organismo humano (Albertos et al., 2022).

2.6 Minerais

Os minerais são micronutrientes inorgânicos indispensáveis para o funcionamento adequado dos mamíferos. Diferentemente dos macronutrientes (carboidratos, lipídios e proteínas), não fornecem energia, mas participam de reações metabólicas, do equilíbrio hídrico, da transmissão nervosa, da formação de tecidos e da defesa antioxidante (Weyh et al., 2022). Dividem-se em macrominerais, necessários em maior quantidade, como cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio, cloro e enxofre; e em microminerais, requeridos em menores proporções, como ferro, zinco, cobre, selênio, iodo, manganês, cromo, molibdênio, entre outros (Weyh et al., 2022).

O cálcio e o fósforo são fundamentais para a formação e manutenção da estrutura óssea e dentária, além de estarem envolvidos em processos de coagulação sanguínea, contração muscular e geração de energia (Becker et al., 2024; Liu et al., 2025; Maier et al., 2025). O magnésio atua como cofator em numerosas reações enzimáticas, contribuindo para o metabolismo energético e o funcionamento neuromuscular (Nueno, 2024). O potássio, em conjunto com o sódio e o cloro, regula o equilíbrio hídrico e osmótico, participa da condução de impulsos nervosos e da contração muscular. A deficiência de potássio pode causar fraqueza e arritmias, enquanto o excesso de sódio está associado à hipertensão e ao aumento do risco cardiovascular (Maier et al., 2025).

No estudo de Fantuz et al. (2020), foi avaliado a concentração e a distribuição de cálcio, fósforo, enxofre, magnésio, potássio e sódio nas frações principais do leite asinino (gordura, caseína, proteínas do soro e fase aquosa). Os resultados mostraram que a fração de gordura praticamente não carrega minerais, devido ao baixo teor de lipídios característico desse leite. A caseína, embora presente em menor quantidade no leite asinino, foi responsável pela maior parte do cálcio (62,9%) e do fósforo (53,1%), indicando elevada afinidade desses elementos pelas micelas de caseína. A fase aquosa concentrou todo o sódio e praticamente todo o potássio, além da maior parte do magnésio. O enxofre apresentou comportamento distinto: 63,6% estavam associados às proteínas do soro, refletindo o maior conteúdo de aminoácidos sulfurados nessas proteínas.

Ainda no trabalho de Fantuz et. al (2020) um achado relevante foi que a razão molar entre cálcio e fósforo associados à caseína é mais que o dobro da relatada para o leite bovino, sugerindo que as micelas de caseína do leite asinino possuem maior quantidade de fosfato de cálcio coloidal. Isso está possivelmente relacionado ao pH naturalmente mais elevado do leite asinino. Os autores destacam que essa maior mineralização micelar

influencia propriedades fisiológicas, como coagulação, e características nutricionais. O estudo também evidenciou correlação positiva entre pH e cálcio coloidal, reforçando o papel do pH na estabilidade mineral.

Desse modo, pesquisas mostram que o leite asinino apresenta minerais vitais como cálcio, fósforo, sódio, potássio e magnésio. Elementos-traço, como zinco, cobre e selênio, também contribuem para o seu perfil nutricional (Pelic et al., 2025). No estudo de Messias et al. (2021), foram encontrados valores médios (mg/100 mL) de cálcio (88,3), potássio (75,5), fósforo (56,2), sódio (31,9), manganês (8,9) e zinco (0,24), revelando um perfil mineral de destaque do ponto de vista nutricional.

2.7 Vitaminas

Os dados sobre as vitaminas presentes no leite asinino são escassos. Sabe-se, porém, que as concentrações das vitaminas A e E são inferiores às do leite humano, o que se deve principalmente ao menor teor de gordura no leite asinino. Esse leite apresenta ainda alta concentração das vitaminas B1, B2 e B12, entretanto, o conteúdo de vitamina B3 é cerca da metade daquele encontrado no leite humano (Salimei; Fantuz, 2012).

2.8 Influência da dieta na composição do leite asinino

A qualidade nutricional do leite está diretamente relacionada à sua composição, com destaque para o perfil de ácidos graxos presentes em sua fração lipídica. A modulação dessa composição é de grande relevância, uma vez que pode influenciar diretamente a saúde do consumidor. Determinados ácidos graxos, como os saturados, têm sido associados a efeitos adversos quando consumidos em excesso. Em contrapartida, outros ácidos graxos, como o ácido oleico e o ácido linoleico conjugado, são reconhecidos por seus potenciais benefícios à saúde (Mobuchon et al., 2017).

A dieta exerce papel determinante na modulação do perfil lipídico do leite de jumenta, como evidenciado por alterações expressivas nos níveis de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados conforme o tipo de forragem, suplementação e fase de lactação. Tais mudanças conferem ao leite um valor funcional, com benefícios comprovados nos índices nutricionais (Albertos et al., 2022).

Em equídeos, como os asininos, o perfil de ácidos graxos do leite reflete diretamente a dieta, sem sofrer as alterações típicas da biohidrogenação observadas em ruminantes (Valle et al., 2018). Em um estudo conduzido no norte da Itália com jumentas submetidas a diferentes sistemas de manejo, observou-se que dietas compostas exclusivamente por

forragens aumentam o teor de gordura do leite e elevam significativamente os níveis de ácidos graxos poli-insaturados, especialmente C18:1 cis-9, C18:3 n-3 (ALA), além de favorecerem o aumento de vitaminas lipossolúveis (Albertos et al., 2022).

O aumento do volume de leite produzido é uma preocupação recorrente entre produtores, sendo frequentemente associado ao acréscimo da proporção de concentrados na dieta. No entanto, dietas mais concentradas nem sempre resultam em melhor qualidade do leite: níveis elevados de concentrado podem alterar o perfil lipídico, aumentando a proporção de ácidos graxos saturados e comprometendo indicadores nutricionais relevantes para a saúde humana e a qualidade do produto. Nesse contexto, estudos sobre o leite de jumentas do ecótipo Nordestino, alimentadas em pastagens da Caatinga, demonstraram variações no teor de ácido alfa-linolênico (ALA, C18:3n-3) durante a lactação, variando de 10,7% a 14,6% do total de ácidos graxos, com pico entre 60 e 90 dias (Messias et al., 2021), evidenciando a importância de estratégias nutricionais que conciliem produção e qualidade do leite.

2.9 Uso do óleo de soja na nutrição de não-ruminantes

Em dietas de alta exigência, o aumento do uso de concentrados pode comprometer o metabolismo devido ao excesso de amido, que ultrapassa a capacidade digestiva do intestino delgado e passa a ser fermentado no ceco e no cólon, favorecendo a ocorrência de acidose, disbiose intestinal, laminite e outros distúrbios metabólicos. Esses efeitos são bem reconhecidos por Harris et al. (2017), que destacam a necessidade de limitar o amido em dietas de equinos. O óleo de soja surge como uma alternativa viável, permitindo manter o nível energético da dieta sem comprometer o processo.

O óleo de soja é uma fonte significativa de linoleato (C18:2n-6), que se traduz em maior concentração de ácidos graxos poli-insaturados na carne e no leite de animais não ruminantes. Consequentemente, há melhora nos índices lipídicos nutricionais, com aumento da relação poli-insaturados/saturados e redução de n-6/n-3, resultando em alimentos de melhor qualidade para o consumo humano (Santos et al., 2022; Holen et al., 2023).

Na suinocultura, valoriza-se tanto o produto quanto a saúde e desempenho reprodutivo das matrizes. No caso das aves, há potencial para a produção de ovos com perfil lipídico funcional, embora a incorporação de estratégias nutricionais específicas nas formulações ainda exija mais estudos (Holen et al., 2023).

Em equinos, a inclusão de fontes de gordura, como óleos vegetais, apresenta alta digestibilidade (cerca de 95–100%) quando adicionados em níveis entre 100 e 230 g/kg de matéria seca da dieta. Acima disso, ainda são bem toleradas, sem impactos negativos sobre os nutrientes digestíveis. No entanto, o óleo de soja, quando utilizado em níveis mais elevados, pode reduzir a digestibilidade de fibras (Potter et al., 2021).

Um estudo com cavalos de corrida de trote demonstrou que a substituição de carboidratos por óleo de soja reduziu a digestibilidade das fibras em aproximadamente 8%, efeito atribuído ao excesso de gordura no intestino grosso, visto que, pela ausência de vesícula biliar em equídeos, maiores quantidades de óleo dificultam a digestibilidade, gerando uma saponificação, levando o óleo não digerido ao intestino grosso (Jansen et al., 2000).

Na pesquisa de Vervuert et al. (2006), cavalos atletas receberam suplementação com óleo de soja (0,2 mL/kg de peso corporal) durante refeições à base de amido, e não foram observadas alterações nas respostas glicêmicas e insulínicas pós-prandiais, indicando que a inclusão moderada de óleo não interfere no metabolismo da glicose desses equinos.

Embora existam poucos estudos específicos em asininos, evidências obtidas em equinos indicam que a inclusão moderada de óleo de soja aumenta a densidade energética da dieta e contribui para a otimização da composição lipídica do leite, por meio do maior aporte e incorporação de ácidos graxos poli-insaturados, especialmente ácido linoleico, reduzindo a proporção relativa de ácidos graxos saturados. Essa estratégia pode favorecer o desempenho produtivo, a recuperação muscular e a eficiência metabólica, mantendo adequada digestibilidade e comportamento alimentar (Santos et al., 2013).

2.10 Impactos metabólicos do óleo na glândula mamária de fêmeas asininas

Estudos em jumentas mostram que a dieta modula significativamente o perfil de ácidos graxos do leite, incluindo ácidos graxos poli-insaturados, ácido alfa-linolênico e ácido linoleico conjugado, sem comprometer seu valor funcional (Messias et al., 2021). A suplementação com óleos vegetais e a proporção de concentrados influenciam a fração lipídica, permitindo inferir mecanismos de regulação enzimática na glândula mamária e reforçando a importância de estratégias nutricionais equilibradas (Messias et al., 2021).

Em vacas leiteiras, a inclusão de óleo de soja na dieta tem demonstrado redução na expressão de enzimas lipogênicas na glândula mamária, como Estearoil-CoA Dessaturase 1 (SCD1) e Ácido Graxo Sintase (FASN), responsáveis pela síntese de ácidos graxos insaturados e de cadeia longa, respectivamente (Ibeagha-Awemu et al., 2016). A enzima

ELOVL6, ou “elongase de ácidos graxos de cadeia média/longa”, catalisa a síntese de ácidos graxos de cadeia longa (C16 → C18). Em modelos bovinos, observou-se que o miR-206 regula negativamente a ELOVL6 em células da glândula mamária, resultando em menor acúmulo de TAG’s. Essa regulação sugere que o óleo de soja, rico em linoleato (forma ionizada) (C18:2 n-6), interage com ELOVL6, modulando a formação de ácidos graxos de cadeia longa e equilibrando a produção lipídica (Zhao et al., 2024).

Dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados, como a administração de óleos vegetais, têm demonstrado reduzir a expressão de reguladores chave da lipogênese, incluindo Sterol Regulatory Element-Binding Protein 1 (SREBP-1) e Peroxisome Proliferator-Activated Receptor gamma (PPARγ), resultando em menor síntese de novo de lipídios na glândula mamária (Mobuchon et al., 2017) (Figura 1). Em não ruminantes, como jumentas, os ácidos graxos da dieta alcançam a circulação praticamente inalterados, podendo interagir diretamente com enzimas lipogênicas e reguladores como SREBP-1 e PPARγ, o que sugere que as respostas à suplementação lipídica podem diferir significativamente das observadas em vacas leiteiras (Jump et al., 2002).

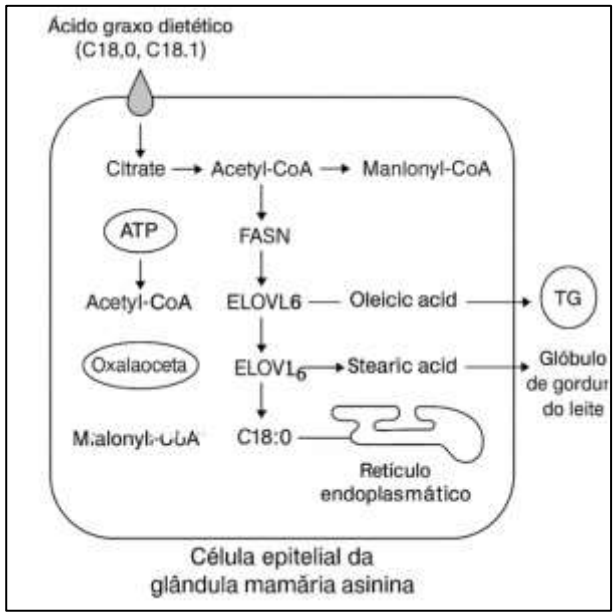

Figura 1. *Metabolismo lipídico na célula epitelial da glândula mamária de fêmeas asininas* (Fonte: Adaptação de Shingfield (2013))

O processo metabólico apresentado na Figura 1 destaca como a dieta influencia diretamente a composição lipídica do leite asinino. Os lipídios alimentares são incorporados à célula e metabolizados por enzimas-chave como ATP-citrato liase, acetil-

CoA carboxilase (ACC), e a enzima elongase (ELOVL6), que atua no alongamento de ácidos graxos de cadeia média (C16) para ácidos graxos de cadeia longa (C18). Esses ácidos são esterificados formando triglicerídeos, que compõem os glóbulos de gordura do leite (Liu et al., 2023).

A redução de ácidos graxos saturados está associada à supressão das enzimas lipogênicas e aumento da captação de ácidos graxos da dieta, favorecendo a secreção de ácidos graxos poli-insaturados (Zhao et. al, 2024).

A literatura revisada demonstra que o asinino apresenta elevado potencial para a produção de leite com características nutricionais diferenciadas, destacando-se pelo perfil proteico de alta digestibilidade e baixa alergenicidade, elevado teor de lactose, composição equilibrada de minerais e baixo teor de gordura, com predominância de ácidos graxos insaturados. Esses atributos conferem relevância ao leite de jumenta para a saúde humana, especialmente em dietas especiais e funcionais. Além disso, a exploração racional dessa atividade representa uma oportunidade estratégica para a valorização da espécie, historicamente negligenciada, e para o fortalecimento de sistemas produtivos sustentáveis no Nordeste brasileiro, região onde os asininos apresentam ampla adaptação. O avanço de estudos e políticas voltadas ao manejo, à qualidade do leite e à viabilidade produtiva é essencial para consolidar essa cadeia e ampliar seus benefícios sociais, econômicos e nutricionais.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. D. **Estudo genético de burros no Brasil: diversidade genética das raças de burros criadas no Brasil, com base na análise de loci microssatélites e no MTDNA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ALTOMONTE, I. et al. Donkey milk in human nutrition: a review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 70, n. 8, p. 903–910, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/09637486.2019.1570082.

ALVES, F. R. et al. Angiographic aspect of the distal forelimb in donkeys (Equus asinus) used for animal traction. **Biotemas**, v. 22, n. 4, p. 163–167, 2009. DOI: https://doi.org/10.5007/2175-7925.2009v22n4p163

ASPRI, C. et al. Donkey milk protein fractions characterization. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 65, p. 78–85, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.11.012.

BARNI, S. et al. Tolerance to donkey's milk in a population of children with cow's milk allergy. **Italian Journal of Pediatrics**, v. 44, n. 1, p. 1–5, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s13052-018-0576-z.

BARRETO, Í. M. L. G. et al. Equine milk and its potential use in the human diet. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 39, supl. 1, p. 1–7, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/fst.03919.

BECKER, L. L. et al. A review of calcium and phosphorus requirement estimates for gestating and lactating sows. **Translational Animal Science**, v. 8, txae087, 2024. DOI: https://doi.org/10.1093/tas/txae087

BISHEHKOLAEI, M. et al. Influence of omega n-6/n-3 ratio on cardiovascular disease and nutritional interventions. **Human Nutrition & Metabolism**, v. 37, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hmm.2024.200275.

BUSINCO, L. et al. Allergenicity of donkey's milk in children with cow's milk allergy. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 105, n. 5, p. 1031–1034, 2000. DOI: https://doi.org/10.1067/mai.2000.106592.

CALLEGARI, M. A. et al. Ácidos graxos saturados e implicações em doenças cardiovasculares. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, 2023. DOI: https://doi.org/10.36660/abc.20230612.

CAMILLO, F.; ROTA, A.; BIAGINI, L.; TESI, M.; FANELLI, D.; PANZANI, D. The current situation and trend of donkey industry in Europe. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 44–49, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jevs.2017.11.008

CARNEIRO, A. V. et al. Between freedom and abandonment: social representations of free-roaming donkeys in the Brazilian Northeast. **Society & Animals**, v. 29, n. 2, p. 1–20, 2021. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08927936.2021.1999607.

CARNEIRO, G. F. et al. The current situation and trend of the Donkey Industry in South America. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 106–110, 2018.

CARROCCIO, A. et al. Evidence of tolerance to donkey's milk in children with cow's milk allergy. **Pediatric Allergy and Immunology**, v. 11, n. 2, p. 101–106, 2000. DOI: https://doi.org/10.1034/j.1399-3038.2000.00080.x.

CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; et al. Effects of diet and physiological factors on milk fat synthesis, milk fat composition and lipolysis in the goat: uma revisão de referência sobre lipogênese e composição de ácidos graxos do leite. **Small Ruminant Research**, v. 122, n. 1–3, p. 31–37, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.07.014.

CHIOFALO, B. et al. Donkey milk as a nutraceutical food: antimicrobial properties. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, n. 12, p. 1571–1575, 2011. DOI: https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0162.

COSENTINO, C. et al. Donkey milk functional properties: a comparison with bovine milk. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, n. 2, p. 3271, 2015. DOI: https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3271.

COSENTINO, C. et al. Nutritional and nutraceutical characteristics of donkey milk. **Journal of Food Research**, v. 2, n. 6, p. 35–44, 2013. DOI: https://doi.org/10.5539/jfr.v2n6p35.

CRISPINO, M. et al. Milk fatty acids and human health: a review. **Nutrients**, v. 13, n. 4, p. 1111, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/nu13041111.

DERDAK, R.; SAKOUI, S.; POP, O. L.; MURESAN, C. I.; VODNAR, D. C.; ADDOUM, B.; VULTURAR, R.; CHIS, A.; SUHAROSCHI, R.; SOUKRI, A.; EL KHALFI, B. Insights on health and food applications of *Equus asinus* (donkey) milk bioactive proteins and peptides — an overview. **Foods**, v. 9, n. 9, p. 1302, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/foods9091302.

DIAS, D. M.; MASSARA, R. L.; BOCCHIGLIERI, A. Use of habitats by donkeys and cattle within a protected area of the Caatinga dry forest biome in northeastern Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, p. 64–70, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.04.005

DIAS, WESLLA DA SILVA. **Produção e composição do leite de fêmeas asininas do ecótipo nordestino.** Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2023.

EL-HATMI, H.; JRAD, Z.; SALHI, I.; AGUIBI, A.; NADRI, A.; KHORCHANI, T. Comparison of composition and whey protein fractions of human, camel, donkey, goat and cow milk. **Mljekarstvo. Croatian Journal**, v. 65, n. 3, p. 159–167, 2015.

FANTUZ, F. et al. Distribution of calcium, phosphorus, sulfur, magnesium, potassium, and sodium in major fractions of donkey milk. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 10, p. 8741-8749, 2020.

GONG, M. **Efficacy of lysozyme as an alternative to antibiotics for broiler chickens**. Halifax: Dalhousie University, 2014. (Master of Science Thesis).

GRAU-RUBIO, C. et al. Performance of eventing horses fed high-fat diets. **Animal Science Journal**, v. 90, n. 1, p. 63–71, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/asj.13151.

HARRIS, P. A.; ELLIOTT, J.; MARETT, L. et al. Feeding starch to horses: implications for digestive and metabolic health. **Equine Veterinary Journal**, v. 49, n. 3, p. 279–288, 2017.

HOLEN, J. P.; WOODWORTH, J.; TOKACH, M. D. Evaluation of essential fatty acids in lactating sow diets on sow reproductive performance, colostrum and milk composition, and piglet survivability. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 6, 2022. DOI: https://doi.org/10.1093/jas/skac167.

IBEAGHA-AWEMU, E. M. et al. Transcriptome adaptation of the bovine mammary gland to diets rich in unsaturated fatty acids shows greater impact of linseed oil over safflower oil on gene expression and metabolic pathways. **BMC Genomics**, v. 17, p. 104, 2016. DOI: https://doi.org/10.1186/s12864-016-2423-x.

IVANKOVIC, A. et al. Characteristics of the lactation, chemical composition milk hygiene quality of the Littoral-Dinaric ass. **Mljekarstvo**, v. 59, n. 2, p. 107–113, 2009.

JANSEN, W. L. et al. The effect of replacing nonstructural carbohydrates with soybean oil on the digestibility of fibre in trotting horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 32, n. 1, p. 27–30, 2000. DOI: https://doi.org/10.2746/042516400777612008

JUMP, D. B. Et al. Dietary polyunsaturated fatty acids and regulation of gene transcription. **Current Opinion in Lipidology**, 13(2), 155–164, 2002.

LARA, M. A. C. et al. Genetic diversity of asse's five populations through the use of microsatellites markers. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 23, n. 3–4, p. 85–88, 2015. Disponível em: http://www.alpa.org.ve/ojs/index.php/ojs_files/article/view/2368/870

LI, H.; LIU, Q.; GUO, H. Donkey milk: a natural nutraceutical for promoting human health. **Journal of Functional Foods**, v. 40, p. 706–720, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.042.

LIANG, X. et al. The effect of increasing the proportion of dietary roughage based on the partial replacement of low-quality roughage with alfalfa hay on the fatty acid profile of donkey milk. **Animals**, v. 15, p. 423, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/ani15030423.

LIU, W. et al. Effects of dietary calcium and phosphorus levels on growth performance, calcium–phosphorus homeostasis, and gut microbiota in Ningxiang pigs. **Life**, v. 15, n. 7, p. 1083, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/life15071083

LIU, Y. et al. MiR 20a 5p regulates milk fat synthesis by targeting ELOVL6 in bovine mammary epithelial cells. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 14, n. 1, p. 90, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40104-023-00859-1.

LJUBOJEVIĆ PELIĆ, D. et al. Seasonal variation in essential potentially toxic elements in donkey milk from Banat and Balkan breeds in the Zasavica Nature Reserve. **Animals**, v. 15, p. 791, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/ani15060791.

LUPETTE, J.; BENNING, C. Human health benefits of very-long-chain polyunsaturated fatty acids from microalgae. **Biochimie**, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.04.022

MADHUSUDAN, N. A. et al. Donkey milk: a review on nutritional composition and health benefits. **International Journal of Chemical Studies**, v. 5, n. 5, p. 1641–1645, 2017. Disponível em: https://www.chemijournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=5&part=Y&ArticleId=1312. Acesso em: 6 mar. 2025.

MAIER, I.; KIENZLE, E. A meta-analysis on quantitative sodium, potassium and chloride metabolism in horses and ponies. **Animals**, v. 15, n. 2, p. 191, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/ani15020191

MALISSIOVA, E. et al. Assessment of donkey milk chemical, physical and microbiological characteristics. **International Journal of Dairy Technology**, v. 69, n. 1, p. 143–150, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/1471-0307.12238.

MARANGONI, F. et al. Dietary linoleic acid and human health: focus on cardiovascular and cardiometabolic effects. **Atherosclerosis**, v. 292, p. 90–98, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2019.11.018

MARTEMUCCI, G.; D'ALESSANDRO, A. G. Fat content, energy value and fatty acid profile of donkey milk during lactation and implications for human nutrition. **Lipids in Health and Disease**, v. 11, p. 1–14, 2012.

MARTINI, M. et al. Nutritional and nutraceutical quality of donkey milk. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 33–37, 2018.

MARTINI, M. et al. Report on a milking mule: milk qualitative characteristics during lactation. **Animals**, v. 14, p. 1585, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14111585.

MASSOURAS, T.; TRIANTAPHYLLOPOULOS, K. A.; THEODOSSIOU, I. Chemical composition, protein fraction and fatty acid profile of donkey milk during lactation. **International Dairy Journal**, v. 75, p. 83–90, 2017.

MCLEAN, A. K.; GONZALEZ, F. J. N. Can scientists influence donkey welfare? Historical perspective and a contemporary view. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 25–32, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.03.008

McLEAN, A. K.; NAVAS GONZÁLEZ, F. J. Can scientists influence donkey welfare? Historical perspective and a contemporary view. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 25–32, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.03.008.

MCMANUS, C. et al. Jumentos no Brasil. Série técnica CNPq/INCT/UFMG/UnB, 2010.

MESSIAS, R. K. O. et al. Composição físico-química e perfil mineral do leite de jumenta (*Equus asinus*) no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 28, n. 1, p. 1–6, 2021. DOI: https://doi.org/10.4322/rbcv.2021.014.

MOBUCHON, L. et al. Sunflower oil supplementation affects the expression of mammary miRNAs and milk fat composition in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, 2017.

MOLLICA, M. P. et al. Milk fatty acid profiles in different animal species. **Foods**, 2021.

MONTE, A. I. G. et al. Donkey milk as a substitute for hypoallergenic infant formulas in children with cow's milk protein allergy. **Journal of Pediatric Allergy and Immunology**, v. 3, n. 2, p. 45–50, 2018.

NUENO, J. Essential minerals: unveiling the key roles and impact on human nutrition. **Archives in Food and Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 193, 24 fev. 2024. DOI: https://doi.org/10.35841/aaafn-7.1.1913.

PIMENTEL, M. L. et al. Parâmetros biométricos de asininos (*Equus asinus*) utilizados em provas de corrida no estado do Rio Grande do Norte. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, p. 136–143, 2014. DOI: https://doi.org/10.21708/avb.2014.8.2.3579

PIOVESANA, S. et al. Peptidomic investigation of donkey milk: potential nutraceutical properties. **Analytica Chimica Acta**, v. 900, p. 27–34, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.10.003.

POLIDORI, P. et al. Effects of donkeys rearing system on performance indices, carcass, and meat quality. **Foods**, v. 10, n. 12, p. 3119, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/foods10123119

POLIDORI, P.; VINCENZETTI, S. The therapeutic, nutritional and cosmetic properties of donkey milk. **Cambridge Scholars Publishing**, 2019.

POTTER, S. J. et al. Comparison of feed digestibility between ponies, standardbreds and Andalusian horses fed three different diets. **Vet. Sci**., v. 9, p. 15, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci9010015.

RAGONA, G.; CORRIAS, F.; BENEDETTI, M.; PALADINI, I.; SALARI, F.; ALTOMONTE, I.; MARTINI, M. Amiata donkey milk chain: animal health evaluation and milk quality. **Italian Journal of Food Safety**, v. 5, n. 3, p. 173–178, 2016. DOI: https://doi.org/10.4081/ijfs.2016.5951.

RANGEL, A. H. N. et al. Leite de jumenta: composição e potencial nutricional e funcional. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 9, n. 2, p. 113–121, 2015. DOI: https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p113-121.

SAHOO, N. et al. Lysozyme in livestock: a guide to selection for disease resistance: a review. **Journal of Animal Science Advances**, v. 2, n. 4, p. 347–360, 2012. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/Lysozyme-in-Livestock%3A-A-Guide-to-Selectionfor-a-Sahoo-Kumar/ae650b60ff4e15810b0b6007edd88a20259a74a1.

SALIMEI, E.; FANTUZ, F. Equid milk for human consumption. **International Dairy Journal**, v. 24, n. 2, p. 146–152, 2012.

SANT'ANA, A. M. S.; RUI, J. B.; BESSA, S. P. et al. Fatty acid, volatile and sensory profiles of milk and cheese from goats raised on native semiarid pasture or in confinement. **International Dairy Journal**, v. 91, p. 147–154, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.008

SANTILLO, A. et al. Focusing on fatty-acid profile in milk from different species after in-vitro digestion. **Journal of Dairy Research**, v. 85, 2018. DOI: https://doi.org/10.1017/S0022029918000274.

SANTOS, A. S.; FURTADO, C. E.; ALMEIDA, F. Q. et al. Intake, digestive kinetics and nutrient digestibility in athletic horses fed diets with soybean oil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 4X, n. X, p. XX–XX, 2013.

SANTOS, M. C. et al. Prepartum supplementation of soybean oil as an energy source for sows and their litters. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 51:e20210122, 2022. DOI: https://doi.org/10.37496/rbz5120210122.

SARTI, L. et al. Nutritional features of donkey milk: a preliminary study. **Italian Journal of Food Safety**, v. 8, n. 3, p. 7847, 2019. DOI: https://doi.org/10.4081/ijfs.2019.7847.

SINGH, M. P.; VASHISHT, P.; SINGH, L.; AWASTI, N. et al. Donkey milk as a non-bovine alternative: a review of its nutri-functional properties, applications and challenges. **Food Science & Nutrition**, 2024. Disponível em: repositório PMC.

SOUROULLAS, K.; ASPRI, M.; PAPADEMAS, P. Donkey milk as a supplement in infant formula: benefits and technological challenges. **Food Research International**, v. 109, p. 416–425, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.051.

SOUROULLAS, K.; ASPRI, M.; PAPADEMAS, P. Donkey milk as a supplement in infant formula: benefits and technological challenges. **Food Research International**, v. 109, p. 416–425, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.051

TRINCHESE, G. et al. Beneficial metabolic effects of donkey milk in a mouse model of high-fat diet-induced insulin resistance and inflammation. **Food & Function**, v. 6, n. 2, p. 679–689, 2015. DOI: https://doi.org/10.1039/C4FO00601F.

TRINCHESE, G. et al. Human, donkey and cow milk differently affects energy efficiency and inflammatory state by modulating mitochondrial function and gut microbiota. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 26, n. 11, p. 1136–1146, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.05.003.

VALLE, G. R. M. et al. Influência do sistema de criação na composição nutricional do leite de jumenta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 458–465, 2018. DOI: https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180052.

VANDENPLAS, Y. et al. Donkey milk for children with cow's milk protein allergy: a preliminary study. **European Journal of Pediatrics**, v. 173, p. 1293–1298, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/s00431-014-2295-0.

VARRICCHIO, M. L. et al. A comparative study of donkey milk and human milk fatty acids profile. **Veterinary Sciences**, v. 9, n. 1, p. 15, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/vetsci9010015.

VAZ, D. S. S.; GUERRA, F. M. R. M.; GOMES, C. F.; JUNIOR, J. M. A importância do ômega 3 para a saúde humana: um estudo de revisão. **Revista Uningá Review**, v. 20, n. 2, 2014. ISSN *online:* 2178-2571

VERVUERT, I.; STANIK, K.; COENEN, M. Effects of different levels of calcium and phosphorus intake on calcium homeostasis in exercising horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 38, supl. 36, p. 659–663, 2006.

VILA, C.; LEONARD, J. A.; GOTHERSTROM, A. et al. Widespread origins of domestic horse lineages. **Science**, p. 291, 474, 2001.

WEYH, C.; KRÜGER, K.; PEELING, P.; CASTELL, L. The role of minerals in the optimal functioning of the immune system. **Nutrients**, v. 14, n. 3, p. 644, 02 fev. 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/nu14030644.

XU, Q. et al. Nutritional composition and biological activities of donkey milk: a narrative review. **Foods**, v. 14, n. 13, p. 2337, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/foods14132337.

ZHAO, F.-Q.; LALONDE, C.; KRAFT, J. Molecular aspects of milk lipid synthesis and secretion in mammary epithelial cells. **Animal Nutriomics**, v. 1, e15, 2024. DOI: https://doi.org/10.1017/anr.2024.19.

4. OBJETIVOS

4.1 Geral

- Investigar os efeitos da inclusão progressiva de óleo de soja na dieta de jumentas do ecótipo Nordestino sobre o perfil lipídico e a composição físico-química do leite.

4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o impacto da inclusão progressiva de óleo de soja na dieta de jumentas sobre o perfil de gordura e ácidos graxos do leite.
- Observar a composição total da proteína e perfil proteico do leite a partir da inserção de óleo de soja gradual na dieta.
- Analisar as alterações na composição mineral do leite em função da suplementação crescente com óleo de soja na dieta das jumentas.
- Averiguar os sólidos totais, matéria seca e lactose do leite de acordo com a adição gradual de óleo de soja na dieta.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO COM ÓLEO DE SOJA SOBRE O PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DO LEITE ASININO

Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Zootecnia

Influência da suplementação com óleo de soja sobre o perfil de ácidos graxos do leite asinino

Resumo: Objetivou-se avaliar os efeitos da inclusão progressiva de óleo de soja na dieta de jumentas do ecótipo Nordestino sobre a modificação do perfil de ácidos graxos e composição nutricional do leite. Foram utilizadas 16 fêmeas asininas (*Equus asinus*), com idade entre 3 e 7 anos e peso corporal médio de 185 ± 30 kg, distribuídas inteiramente ao acaso em quatro tratamentos, cada um contendo quatro animais. As dietas consistiram em uma ração controle, sem adição de óleo de soja, e três formulações com substituição crescente de 10%, 20% e 30% da energia digestível (ED) proveniente dos grãos pela ED do óleo de soja. Após 25 dias de adaptação, realizaram-se as coletas de leite durante cinco dias consecutivos, sempre pela manhã (07h00), para análise da composição físico-química. Os dados foram submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Verificou-se que a inclusão de óleo de soja influenciou o perfil de ácidos graxos insaturados do leite. O ácido oleico (C18:1) apresentou incremento linear ($P = 0,0157$), atingindo 4,96 g 100 g^{-1} na dieta com 30% de óleo. O ácido linoleico (C18:2) também apresentou diferenças ($P = 0,0091$), com maior concentração no tratamento de 30% (7,68 g 100 g^{-1}). Esse padrão foi confirmado ao analisar o total de ácidos graxos insaturados (INS), que aumentou proporcionalmente ao nível de inclusão do óleo ($P = 0,0255$). A razão insaturados:saturados, por sua vez, elevou-se de forma linear ($P = 0,0055$), alcançando 2,63 no tratamento de maior inclusão. Já para proteína total, gordura total, lactose e cinzas, não houve diferença. A composição mineral permaneceu estável, exceto para sódio, fósforo e cloro, que variaram entre tratamentos. Conclui-se que a substituição de 30% da energia digestível dos grãos por óleo de soja promoveu elevação no teor de ácidos graxos insaturados do leite asinino. Além disso, as características físico-químicas, o perfil lipídico e a composição mineral do leite das jumentas Nordestinas mostraram-se compatíveis com registros da literatura, reforçando seu potencial nutracêutico para a saúde humana.

Palavras-chave: energia digestível, jumentas, nutracêutico.

Influence of soybean oil supplementation on the fatty acid profile of donkey milk

Abstract: The objective of this study was to evaluate the effects of the progressive inclusion of soybean oil in the diet of Northeastern ecotype jennies on the modification of the fatty acid profile and nutritional composition of the milk. Sixteen female donkeys (Equus asinus), aged between 3 and 7 years and with an average body weight of 185 ± 30 kg, were used. The animals were completely randomized into four treatments, each containing four animals. The diets consisted of a control ration without soybean oil and three formulations with increasing substitution of 10%, 20%, and 30% of digestible energy (DE) from grains with DE from soybean oil. After 25 days of adaptation, milk collections were carried out for five consecutive days, always in the morning (07:00), for physicochemical composition analysis. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test ($P < 0.05$). It was found that soybean oil inclusion influenced the profile of unsaturated fatty acids in the milk. Oleic acid (C18:1) showed a linear increase ($P = 0.0157$), reaching 4.96 g 100 g^{-1} in the diet with 30% oil. Linoleic acid (C18:2) also differed among treatments ($P = 0.0091$), with the highest concentration in the 30% group (7.68 g 100 g^{-1}). This pattern was confirmed when analyzing the total unsaturated fatty acids (UFA), which increased proportionally with the level of oil inclusion ($P = 0.0255$). The unsaturated:saturated ratio likewise increased linearly ($P = 0.0055$), reaching 2.63 in the highest inclusion treatment. No differences were found for total protein, total fat, lactose, or ash. Mineral composition remained stable except for sodium, phosphorus, and chloride, which varied among treatments. It is concluded that replacing 30% of the digestible energy from grains with soybean oil promoted an increase in the unsaturated fatty acid content of donkey milk. Additionally, the physicochemical characteristics, lipid profile, and mineral composition of milk from Northeastern jennies were consistent with reports in the literature, reinforcing its nutraceutical potential for human health.

Keywords: digestible energy, donkeys, nutraceutical.

1. INTRODUÇÃO

O leite de jumenta possui composição química notavelmente semelhante à do leite humano, por apresentar sucesso em sua utilização como alternativa às fórmulas hipoalergênicas convencionais destinadas a crianças com sensibilidade à caseína bovina. Ele se destaca pela presença de compostos bioativos, como ácidos graxos essenciais, aminoácidos, vitaminas e minerais, que contribuem para sua expressiva atividade antioxidante ampliando seu potencial funcional e seus benefícios à saúde humana (Cosentino et al., 2013).

Além disso, apresenta teores significativos de ácidos graxos insaturados, especialmente os essenciais, que desempenham papel fundamental na prevenção de doenças inflamatórias e cardiovasculares (Chiofalo et al., 2011; Cosentino et al., 2015). Além de baixos teores de proteína total, composta por seis principais componentes: lisozima, lactoferrina, albumina sérica, β-lactoglobulina, α-lactoalbumina e imunoglobulinas e elevada concentração de lactose, favorecendo sua palatabilidade. (Cosentino et al., 2013).

Estudos comparativos, como os de Chilliard et al., 2020, Barbano et al., 2021 e Mollica et al., 2021, indicam que o perfil lipídico do leite asinino é caracterizado por teores reduzidos de ácidos graxos saturados (SFA) e proporções elevadas de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), especialmente ômega-3, em relação aos leites de ruminantes. Esse perfil, mais favorável à saúde, é similar ao observado no leite humano e equino, reforçando a qualidade nutricional do leite de jumenta (Messias et al., 2021).

Considerando que a composição lipídica do leite é sensível à dieta, o uso de fontes como o óleo de soja, tem sido amplamente explorado na nutrição animal, especialmente em espécies não ruminantes, como suínos e equídeos. Em dietas de alta exigência, nas quais o aumento do concentrado pode prejudicar a composição do leite devido ao excesso de amido e seus impactos metabólicos, o óleo de soja surge como alternativa, permitindo manter o nível energético da dieta sem alterar o perfil.

Sendo rico em ácidos graxos essenciais, como o ácido linoleico (C18:2 n-6), a inclusão de óleo de soja na dieta pode modular positivamente o perfil de ácidos graxos do leite, promovendo o aumento de ácidos graxos poli-insaturados e a redução dos saturados (Albertos et al., 2022). Além disso, estudos apontam que a

suplementação lipídica influencia o metabolismo mamário por meio da regulação de enzimas como a elongase ELOVL6, envolvida na síntese de ácidos graxos de cadeia longa (Liu et al., 2023; Zhao et al., 2024).

Diante das qualidades nutricionais e funcionais já descritas para o leite de diferentes raças asininas, investigar a influência da dieta, especialmente com diferentes níveis de óleo de soja, sobre os componentes nutricionais e bioativos, com ênfase no perfil de ácidos graxos do leite produzido por fêmeas do ecótipo Nordestino, configura-se como uma estratégia promissora para fomentar a valorização e o uso desses animais no Semiárido nordestino, promovendo também perspectivas socioeconômicas inovadoras para a região. A partir disso, objetivou-se com o estudo avaliar os efeitos da inclusão progressiva de óleo de soja, em substituição à energia digestível dos grãos, na dieta de jumentas do ecótipo Nordestino sobre a composição físico-química do leite, especialmente sobre o perfil de ácidos graxos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Comitê de Ética

O presente trabalho experimental foi conduzido em conformidade com as diretrizes éticas para o uso de animais em atividades de pesquisa científica. O protocolo foi previamente submetido e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE, sob o número de protocolo CEUA/UFAPE 2024051384, garantindo o bem-estar e a integridade das fêmeas asininas (*Equus asinus*) utilizadas na pesquisa.

2.2 Animais e instalações

Foram utilizadas 16 fêmeas asininas do ecótipo Nordestino, com idade variando entre 3 e 7 anos e peso corporal médio de 185 ± 30 kg. Antes do início da fase experimental, as fêmeas foram submetidas a um protocolo sanitário prévio, incluindo desverminação com ivermectina e pamoato de pirantel, além da administração de doses de reforço das vacinas contra tétano e raiva. Adicionalmente, foram realizados ajustes na dieta visando à uniformização do escore de condição corporal dos animais.

Durante o experimento, as jumentas foram dispostas em baias individuais de alvenaria com área total de 8 m^2 (4 x 2m). O piso foi coberto com palha de arroz, e cochos móveis foram posicionados em seu interior

2.3 Delineamento experimental

Foram utilizadas 16 fêmeas asininas em um delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos, representando níveis crescentes de substituição da energia digestível (ED) proveniente dos grãos pela ED do óleo de soja na dieta: 0% (controle) (T1), 10% (T2), 20% (T3) e 30% de inclusão (T4) (Figura 1).

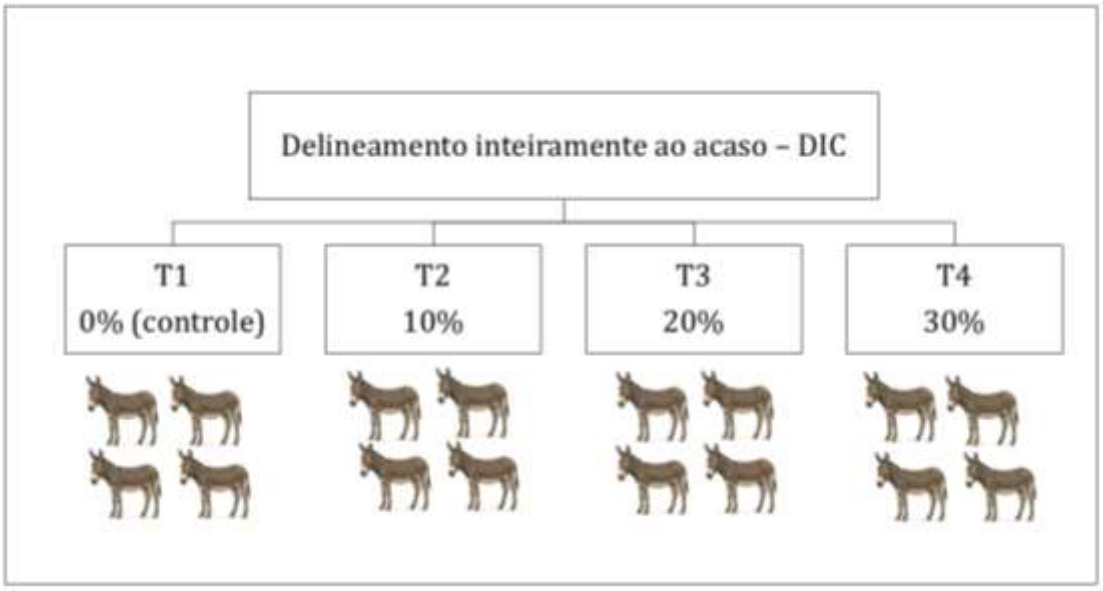

Figura 1. Organograma do delineamento experimental

2.4 Manejo nutricional

As 16 fêmeas asininas foram mantidas em piquetes com pastagem nativa durante todo o período gestacional, com acesso livre à água e sal mineralizado, e com o escore corporal monitorado mensalmente. No 11º mês de gestação, as fêmeas foram transferidas para piquetes destinados à maternidade. Durante o período experimental (pós-parto), receberam uma dieta correspondente a 2,0% do peso corporal, com base na matéria seca, composta por 60% de feno de Tifton 85 e 40% de concentrado (Tabela 1), fornecida em duas refeições diárias, às 05h00 e 15h00, além de água oferecida à vontade.

Tabela 1. Composição bromatológica da dieta de jumentas em lactação, segundo exigências nutricionais – NRC, 2007.

Composição (g/kg MS)	Tifton 85	Concentrado
Matéria seca	809,87	890,17
Cinzas	71,80	85,70
Energia digestível (Mcal)	-	3330,00
Proteína bruta	62,60	200,00
Extrato Etéreo	15,08	-
Cálcio	-	12,00
Fósforo	-	6,00
FDN[1]	827,70	-
FDA[2]	385,40	-

[1] Fibra em Detergente Neutro

[2] Fibra em Detergente Ácido

As dietas experimentais consistiram em uma ração controle, sem óleo de soja, e três formulações nas quais parte da energia digestível (ED) proveniente dos grãos foi substituída pela ED do óleo de soja, nos níveis de 10%, 20% e 30% (Tabela 2). Esses níveis foram definidos com base nas exigências nutricionais de fêmeas equinas em lactação, conforme NRC (2007)[1], considerando a ausência de recomendações específicas para asininos.

Tabela 2. Ingredientes e composição bromatológica da ração controle e das rações com substituição de 10, 20 e 30% da energia digestível (ED) dos grãos pela ED do óleo de soja de jumentas em lactação, segundo exigências nutricionais – NRC, 2007.

Ingrediente (g/kg)	Controle	10%	20%	30%
Fubá de milho	609,80	386,20	203,60	289,00
Farelo de trigo	42,00	200,00	300,00	400,00
Farelo de soja	303,60	293,40	293,70	292,70
Óleo de soja	0,00	37,00	74,00	111,00
Coequi plus	2,50	2,50	2,50	2,50
Fosfato bicálcico	0,35	0,00	0,00	0,00
Calcário calcítico	1,47	16,60	16,30	16,00
Sal comum	0,15	0,14	0,14	0,14
Caulim	0,00	4,05	8,60	12,50
Composição (g/kg)	**Controle**	**10%**	**20%**	**30%**

[1] Segundo o NRC (2007), éguas em lactação apresentam maiores exigências nutricionais, com necessidade de aproximadamente **32 Mcal/dia de energia digestível** e **1.540 g/dia de proteína bruta** no início da lactação, reduzindo-se gradualmente para cerca de **28 Mcal/dia de energia digestível** e **1.315 g/dia de proteína bruta** nos meses finais, variando conforme peso corporal, produção de leite e escore de condição corporal.

Matéria seca	87,00	87,00	87,00	87,00
Energia digestível (Mcal)	3330,00	3330,00	3330,00	3330,00
Proteína bruta	200,00	200,00	200,00	200,00
Cálcio	12,00	12,00	12,00	12,00
Fósforo	6,00	6,30	6,90	7,40
Lisina	11,80	12,00	12,20	12,50

A introdução das dietas experimentais ocorreu a partir do 15º dia pós-parto, momento em que o leite das jumentas já é considerado maduro, apresentando composição mais estável. A alimentação foi fornecida em cochos instalados no interior das respectivas baias.

O período experimental teve duração total de 30 dias, sendo 25 dias para adaptação dos animais às baias e dietas experimentais, e 5 dias consecutivos de coletas de leite, realizadas sempre pela manhã (07h00).

Para a realização das coletas de leite, cada teto foi previamente imerso em antisséptico à base de iodo (*pré-dipping*, Della-Pro™) e seco com papel toalha. Em seguida, os três primeiros jatos de leite foram desprezados para evitar contaminação das amostras, e 160 mL foram coletados em frascos plásticos com tampa rosqueável, previamente identificados com o número do animal e dia de coleta, sendo armazenados a −20 °C até a realização das análises laboratoriais.

2.5 Variáveis analisadas

As análises de matéria seca (MS) e cinzas do leite foram conduzidas conforme os métodos oficiais descritos pela AOAC (2016). As proteínas do leite desnatado das jumentas, obtido dos tratamentos 0%, 10%, 20% e 30%, foram submetidas, inicialmente, à análise de proteína total através do kit Pierce BCA Protein Assay (Thermo Scientific), de acordo com a metodologia sugerida pelo fabricante. Em seguida, feita a SDS-PAGE para verificar influências do manejo alimentar sobre a composição proteica do leite. As proteínas foram identificadas com relação aos padrões de massa molecular e a partir da comparação dos padrões de mobilidade eletroforética previamente publicados (Pardo et al. 2002; Vincenzetti et al. 2008; Polidori et al. 2012).

Para a realização da eletroforese Tricina-SDS-PAGE as amostras foram inicialmente dialisadas em água ultrapura durante 72 horas e, em seguida,

liofilizadas. Posteriormente, foram padronizadas para 250 µg/mL de proteína em tampão de amostra composto por 40% (v/v) de água deionizada, 20% (v/v) de tampão Tris-HCl 0,5 M, pH 6,8, 24% (v/v) de glicerol, 10% (v/v) de dodecil sulfato de sódio a 10%, 2% (v/v) de β-mercaptoetanol e 4% (v/v) de Coomassie Brilliant Blue G-250 a 0,5%. Foi utilizado marcador molecular (Amersham ECL Rainbow Marker. Cod. RPN800E - Cytiva), com proteínas variando entre 12 e 225 kDa de massa molecular. A eletroforese Tricina-SDS-PAGE foi conduzida segundo Schägger e Jagow (1987), com algumas modificações. O gel de concentração foi composto por 4,9% de poliacrilamida e o gel de corrida por 12,0%. A migração eletroforética das proteínas presentes nas amostras foi realizada a 150 V, durante 120 minutos. A coloração do gel foi realizada conforme o método descrito por Neuhoff et al. (1988).

A determinação da lactose foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), com adaptações do método descrito por Euber & Brunner (1979). Inicialmente, as amostras foram submetidas à extração de lipídios de acordo com o método de Folch et al. (1956), utilizando mistura de clorofórmio:metanol (2:1, v/v) para promover a separação da fração lipídica. A mistura foi homogeneizada em vortex e, em seguida, centrifugada a 5000 rpm por 10 minutos para completa separação das fases. A fase inferior (rica em lipídios) foi descartada, e a fase superior, isenta de lipídios, foi utilizada para as análises subsequentes. O leite desengordurado foi então submetido à retirada das proteínas pela adição de solução de ácido tricloroacético (TCA) a 24% (p/v), obtendo-se uma concentração final de 6% (p/v). As amostras foram incubadas a 40 °C por 30 minutos e filtradas em papel Whatman nº 42, seguido de filtração em membrana de 0,8 µm. A separação cromatográfica foi conduzida em sistema HPLC equipado com coluna específica para carboidratos (µBondapak/Carbohydrate) e detector de índice de refração. A fase móvel foi composta por acetonitrila:água (70:30, v/v), em regime isocrático, com vazão de 2 mL min^{-1}. A quantificação da lactose foi obtida por comparação das áreas dos picos das amostras com as de soluções padrão de lactose preparadas em TCA 6% (p/v).

A extração e análise dos ácidos graxos de cadeia longa foram realizadas em duas etapas distintas. Na primeira, procedeu-se à extração dos lipídios totais segundo o método de Folch et al. (1957), utilizando uma mistura de clorofórmio:metanol (2:1, v/v). Após homogeneização das amostras em vortex, o material foi centrifugado a

5000 RPM por 10 minutos, e a fase inferior (fração lipídica) foi cuidadosamente transferida para tubos de ensaio previamente secos em estufa e pesados. Em seguida, os tubos foram submetidos a fluxo de nitrogênio gasoso (N_2) até a completa evaporação do solvente, e o resíduo lipídico obtido foi pesado para determinação da gordura total do leite. Na segunda etapa, os lipídios extraídos foram submetidos à metilação conforme descrito por Kramer et al. (1997), foram usados 5 mL de HCl metanólico a 10% (2 h a 90 °C), em seguida foram adicionados 1 mL de hexano e 10 mL de K2CO3 a 6%, e então centrifugado por 5 min a 500×*g* para separar as camadas de solvente, e por fim, foram analisados por cromatografia gasosa (GC) em coluna capilar de alta polaridade (SP-2560, 100 m × 0,25 mm × 0,2 μm), utilizando hélio como gás de arraste e detector de ionização por chama. A identificação e quantificação dos FAME foi realizada por meio de padrões de comparação de ésteres metílicos (ácido esteárico, C18:0) adquiridos por Six Sigma.

Os minerais totais do leite foram analisados por espectroscopia de fluorescência de raio x, utilizando o equipamento EDX 7000, conforme metodologia adaptada de Mullen et al. (2010). Os valores foram obtidos com base em curvas de calibração previamente validadas por espectrometria de absorção atômica.

A determinação da contagem de células somáticas (CCS) nas amostras de leite foi realizada a partir de coletas individuais, efetuadas de forma asséptica após a homogeneização do leite. As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos estéreis contendo conservante bronopol (2-bromo-2-nitropropano-1,3-diol) e mantidas sob refrigeração a 4 °C até o momento das análises.

A CCS foi determinada por meio de equipamento eletrônico automático baseado em citometria de fluxo (flow cytometry), amplamente utilizado em laboratórios de controle de qualidade do leite, permitindo a identificação e quantificação das células somáticas presentes. Os resultados foram expressos em número de células somáticas por mililitro de leite (células/mL). Para efeito de análise estatística, os valores foram transformados em logaritmo decimal [$\log_{10}$ (células/mL)] visando atender à normalidade dos resíduos e reduzir a variabilidade dos dados.

2.6 Análises estatísticas

Os dados foram avaliados quanto à normalidade dos resíduos e submetidos à análise de variância, com as médias comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se o

nível de significância de 5%. Para as variáveis do perfil de ácidos graxos, os dados também foram analisados por meio de regressão, considerando o mesmo nível de significância.

3. RESULTADOS

As concentrações de sólidos totais e contagem de células somáticas do leite das jumentas não apresentaram diferenças (P > 0,05) entre os níveis de substituição de energia digestível dos grãos pela ED proveniente do óleo de soja (Tabela 3).

Tabela 3. Médias e desvios padrão dos teores de sólidos totais, proteína total, gordura total, lactose, cinzas e contagem de células somáticas (CCS) no leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de substituição de energia digestível dos grãos pela proveniente do óleo de soja.

Variáveis ***(g.100^{-1} g de leite)***	**Tratamentos**				**P valor**
	0%	**10%**	**20%**	**30%**	
Sólidos totais	6,592 ± 1,264	6,120 ± 1,194	7,084 ± 1,555	7,508 ± 0,478	0,4011
Gordura total	0,175 ± 0,076	0,265 ± 0,167	0,283 ± 0,125	0,180 ± 0,112	0,2510
Proteína total	1,895 ± 0,080	1,989 ± 0,127	1,873 ± 0,316	1,857 ± 0,139	0,7934
Lactose	6,776 ± 0,461	7,002 ± 0,323	7,545 ± 0,473	7,242 ± 0,236	0,1583
Cinzas	0,014 ± 0,003	0,015 ± 0,004	0,019 ± 0,001	0,016 ± 0,001	0,1952
CCS *(10^3.Cel/mL)*	4,000 ± 0,816	5,250 ± 1,707	7,666 ± 2,081	6,000 ± 2,943	0,1797

De modo semelhante, a concentração de gordura total também não apresentou diferença (P > 0,05) entre os níveis de substituição da energia digestível dos grãos pela energia do óleo de soja. No entanto, com relação ao perfil de ácidos graxos saturados e insaturados do leite asinino, a inclusão crescente de óleo de soja na dieta das jumentas promoveu elevação de 644% nas concentrações de ácido linoleico (C18:2), 548% nos teores de ácidos graxos insaturados (INS) e de 750% dos ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), além de aumento na razão INS:SAT e redução do índice de aterogenicidade (IA) (Tabela 4 e Figura 2).

Tabela 4. Médias ± desvio padrão dos ácidos graxos saturados e insaturados (g 100^{-1} g de gordura) do leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de óleo de soja na dieta, com valores de P para ANOVA e regressão linear.

Ácidos graxos	Tratamentos				P valor	
	0%	10%	20%	30%	ANOVA	Regressão linear
C12:0	1,008 ± 1,021	1,350 ± 0,972	1,380 ± 0,978	1,540 ± 0,559	0,8584	0,4422
C14:0	0,6426 ± 0,693	0,889 ± 0,641	0,929 ± 0,776	0,932 ± 0,343	0,8991	0,5372
C16:0	1,565 ± 1,542	1,987 ± 1,529	2,951 ± 2,914	2,890 ± 0,591	0,6471	0,2378
C18:0	0,130 ± 0,118	0,144 ± 0,108	0,138 ± 0,116	0,240 ± 0,105	0,5180	0,2326
C18:1	1,352 ± 1,036	2,618 ± 1,877	3,606 ± 3,276	4,962 ± 0,289	0,0901	0,0157
C18:2	$1,034^{b}$ ± 0,718	$3,509^{ab}$ ± 2,543	$4,944^{ab}$ ± 3,376	$7,681^{a}$ ± 1,626	0,0091	0,0013
C18:3	0,164 ± 0,123	0,668 ± 0,502	1,011 ± 1,160	1,317 ± 0,644	0,1600	0,0320
SAT[1]	3,347 ± 3,332	4,371 ± 3,208	5,400 ± 4,785	5,603 ± 1,566	0,7666	0,3208
INS[2]	$2,5519^{b}$ ± 1,855	$6,796^{ab}$ ± 4,911	$9,562^{ab}$ ± 7,809	$13,961^{a}$ ± 1,680	0,0255	0,0039
INS:SAT	$0,9585^{b}$ ± 0,388	$1,5823^{ab}$ ± 0,057	$1,845^{ab}$ ± 0,126	$2,6384^{a}$ ± 0,808	0,0055	0,0008
AGPI[3]	$1,1992^{b}$ ± 0,827	$4,1779^{ab}$ ± 3,034	$5,9556^{ab}$ ± 4,535	$8,9988^{a}$ ± 1,786	0,0137	0,0020
IA[4]	$1,7768^{a}$ ± 0,670	$0,9914^{ab}$ ± 0,076	$0,8192^{b}$ ± 0,144	$0,5849^{b}$ ± 0,159	0,0071	0,0015

Letras distintas nas linhas indicam diferença entre os tratamentos pelo teste de Tukey (P<0,05);
[1]Total saturados
[2]Total insaturados
[3]Ácido graxo poli-insaturados
[4]Índice de aterogenicidade = (C12:0 + (4 * C14:0) + C16:0)/ Soma de ácidos insaturados

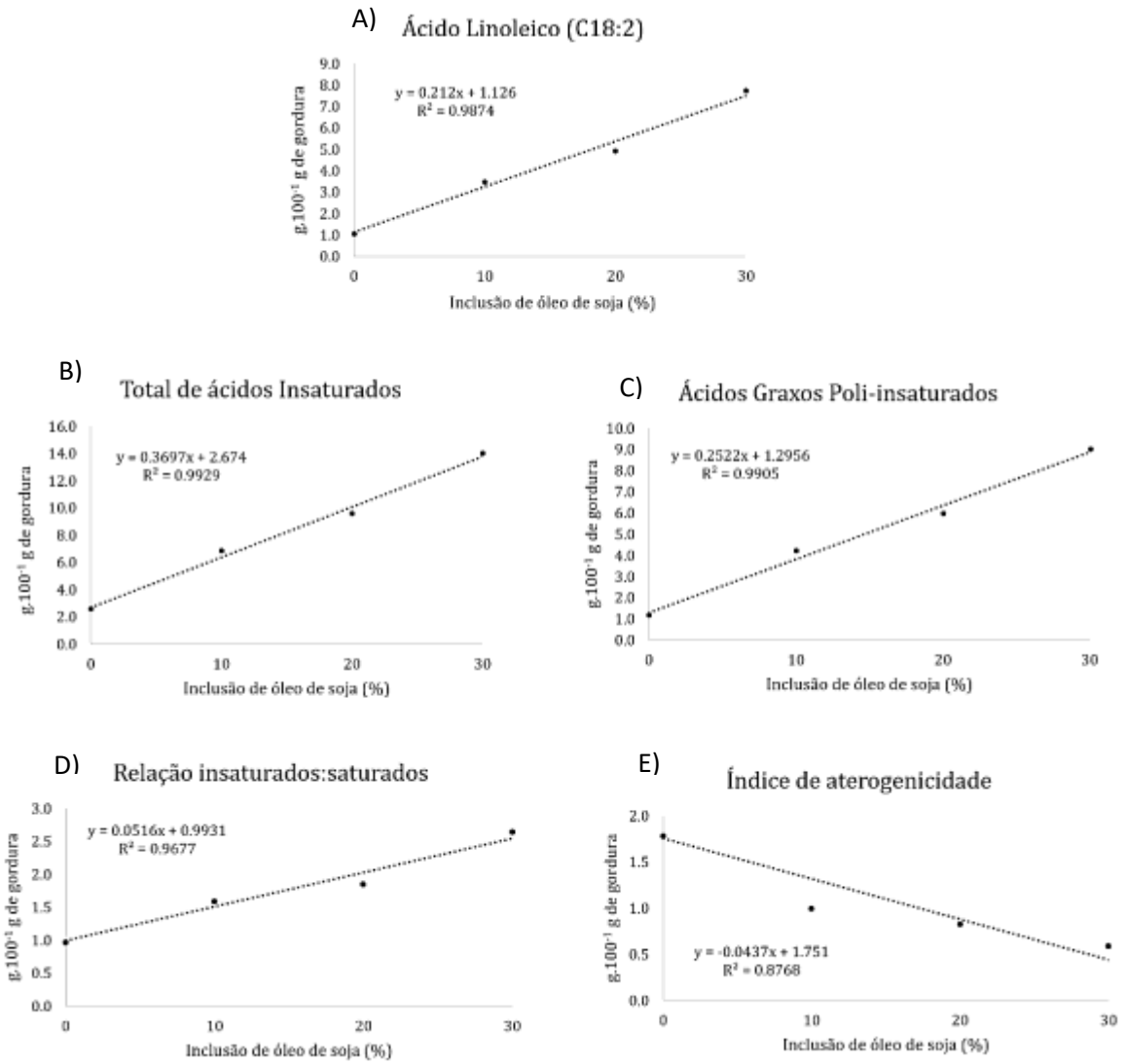

Figura 2. A) Concentração de ácido linoleico (C18:2); B) Total de [ácidos insaturados; C) Ácidos graxos poli-insatrados; D) Relação insaturados:saturados; E) Índice de aterogenicidade do leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de óleo de soja na dieta.

Não houve diferença na concentração de proteína total e de lactose entre os tratamentos (P > 0,05) (Tabela 3). Ao avaliar as frações proteicas do leite asinino por eletroforese, observou-se que não houve diferença visual entre o perfil proteico através do gel eletroforético diante dos tratamentos. No entanto, pode-se notar a presença de bandas correspondentes às principais proteínas do leite de jumenta descritas na literatura, com destaque para as caseínas e β-lactoglobulinas (Figura 3).

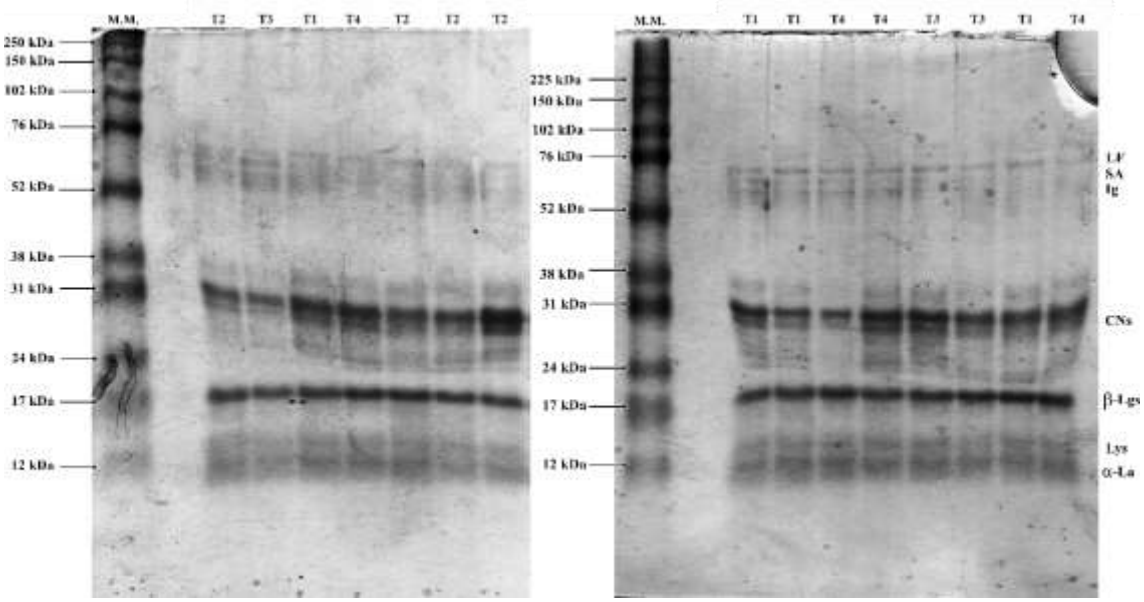

Figura *3*. Tricina-SDS-PAGE das proteínas do leite de jumentas alimentadas com dietas contendo 0% a 30% de substituição de energia do concentrado por óleo de soja nas amostras dos diferentes tratamentos; M.M.: marcador molecular (kDa). Lactoferrina (~75 kDa), albumina sérica (~67 kDa), imunoglobulinas (~60 kDa), caseínas (~21–35 kDa), β-lactoglobulina (~18 kDa), lisozima (~15 kDa) e α-lactalbumina (~14 kDa).

Também não houve diferença entre os tratamentos para a concentração de cinzas (P > 0,05) (Tabela 3). Entretanto, com relação à composição mineral do leite (Tabela 5), os níveis crescentes de óleo de soja na dieta das fêmeas asininas resultaram em redução nas concentrações de sódio (P = 0,0076) e cloro (P = 0,0001), sendo os menores valores registrados no tratamento com 30% de inclusão de óleo de soja. Já o fósforo apresentou aumento de 1,2% (P = 0,0463) (Figura 4). As proporções dos demais minerais analisados não foram influenciados pelas manobras nutricionais.

Tabela 5. Proporção de minerais (%) no leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de substituição de energia do concentrado por óleo de soja na dieta.

Minerais (%)	TRATAMENTOS				P VALOR
	0%	10%	20%	30%	
Ca	46,24 ± 6,39	48,77 ± 4,81	51,04 ± 5,10	52,16 ± 5,12	0,1807
K	23,07 ± 4,90	22,38 ± 4,14	21,08 ± 1,04	21,79 ± 2,68	0,8672
Na	$11,92^{A}$ ± 1,10	$10,65^{AB}$ ± 0,96	$10,15^{B}$ ± 0,80	$10,14^{B}$ ± 1,02	0,0076
P	$5,33^{B}$ ± 0,80	$6,08^{AB}$ ± 0,66	$6,45^{AB}$ ± 0,55	$6,53^{A}$ ± 0,35	0,0463
Cl	$8,56^{A}$ ± 0,99	$6,88^{B}$ ± 1,13	$7,21^{B}$ ± 0,53	$6,41^{B}$ ± 0,43	0,0001
S	2,99 ± 0,99	3,22 ± 0,68	3,58 ± 0,09	3,51 ± 0,22	0,2640
Mg	1,04 ± 0,05	0,98 ± 0,10	1,02 ± 0,14	0,96 ± 0,12	0,6489

Cu	0,22 ± 0,04	0,25 ± 0,03	0,24 ± 0,06	0,23 ± 0,03	0,8797
Zn	0,14 ± 0,06	0,19 ± 0,06	0,18 ± 0,06	0,20 ± 0,04	0,4920
Fe	0,14 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,16 ± 0,05	0,15 ± 0,02	0,4179
Br	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,052 ± 0,01	0,05 ± 0,02	0,7880
Outros	0,40 ± 0,25	0,41 ± 0,31	0,48 ± 0,38	0,41 ± 0,23	0,9719

Letras distintas nas linhas indicam diferença entre os tratamentos pelo teste de Tukey (P<0,05); Ca = cálcio; K = potássio; Na = sódio; P = fósforo; Cl = cloro; S = enxofre; Mg = magnésio; Cu = cobre; Zn = zinco; Fe = ferro; Br = bromo. "Outros" refere-se à soma de minerais traço não quantificados individualmente.

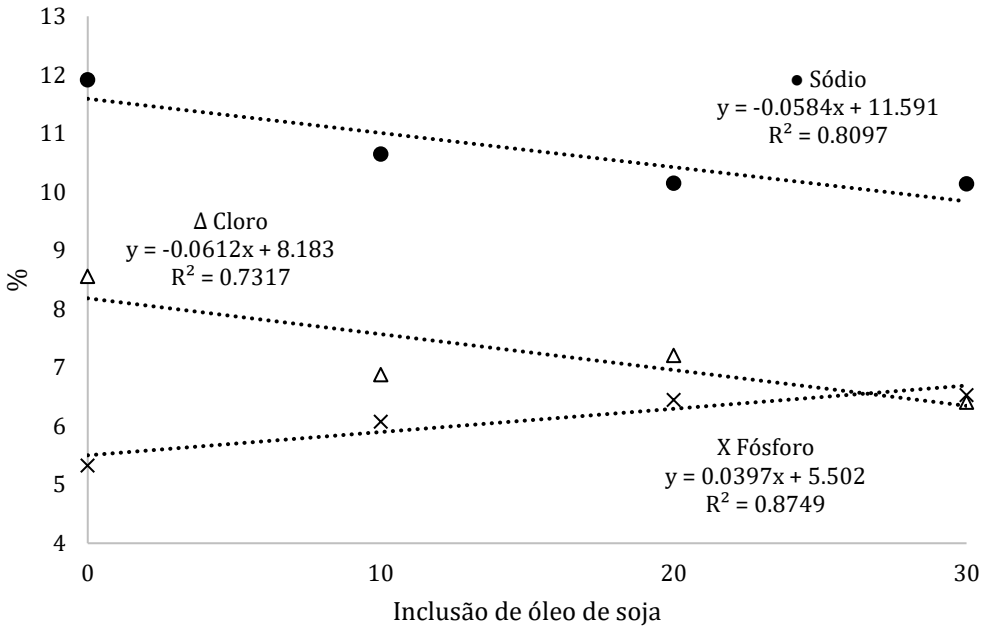

Figura 4. Proporção dos minerais sódio, cloro e potássio no leite de fêmeas asininas submetidas a níveis crescentes de óleo de soja na dieta.

4. DISCUSSÃO

Os valores observados para sólidos totais no leite das jumentas (6,12 a 7,50 g·100 g^{-1}) estão dentro do intervalo previamente descrito para o leite asinino (5,5 a 10 g·100 g^{-1}) (Malacarne et al., 2019). A semelhança desses valores entre os tratamentos é coerente, uma vez que, independentemente do tratamento, todos os animais receberam as mesmas proporções de alimento volumoso e concentrado (60:40), sendo as quatro dietas avaliadas isoproteicas e isoenergéticas.

Segundo Chilliard et al. (2007), avaliando vacas leiteiras, dietas com maiores proporções de concentrado tendem a elevar a produção total de leite em função do maior aporte energético, porém podem reduzir o teor de gordura e modificar o perfil lipídico, com diminuição dos ácidos graxos poli-insaturados e aumento dos

saturados. Essa informação pode ser corroborada pela análise comparativa da concentração de gordura no leite das jumentas deste estudo em relação aos valores reportados por Dias et al. (2025), ambos envolvendo o ecótipo Nordestino. No presente estudo, utilizando uma proporção entre alimento volumoso e concentrado de 60:40, respectivamente, registrou-se concentração média de gordura de 0,226 g·100 g^{-1}. Já no estudo de Dias et al. (2025), no qual as jumentas consumiram dieta com maior proporção de alimento volumoso em relação ao concentrado, resultando em menor aporte energético, a concentração média de gordura no leite foi de 0,520 g·100 g^{-1}.

Os ácidos graxos saturados (AGS) são formados por cadeias de carbono sem duplas ligações e se apresentam em estado sólido à temperatura ambiente. No presente estudo, os teores de C12:0 (ácido láurico), C14:0 (ácido mirístico), C16:0 (ácido palmítico) e o total de saturados (3,34 a 5,60 g·100 g^{-1}) mantiveram-se inalterados diante da substituição progressiva da energia do concentrado por óleo de soja ($P > 0,05$), evidenciando a estabilidade da fração saturada frente às variações dietéticas.

A baixa proporção desses ácidos graxos constitui uma característica nutricionalmente relevante. Essa condição torna-se ainda mais evidente quando comparada ao leite bovino, no qual o C16:0 (ácido palmítico) é predominante. A menor participação de ácidos graxos saturados reduz o potencial aterogênico da fração lipídica (Malacarne et al., 2019; Salari et al., 2019). Esses ácidos estimulam a síntese hepática de colesterol e diminuem a atividade dos receptores de lipoproteína de baixa densidade (LDL), o que aumenta a circulação de partículas mais aterogênicas.

Por outro lado, quando a fração lipídica contém menos saturados e mais ácidos graxos insaturados, há maior fluidez das membranas, melhor captação hepática de LDL e menor suscetibilidade à oxidação dessas partículas — etapa central na formação de placas ateroscleróticas. Dessa forma, a modulação do perfil lipídico em favor dos insaturados contribui para um metabolismo lipoproteico mais eficiente e menos propenso ao desenvolvimento de aterosclerose (Salari et al., 2019).

Com relação aos ácidos graxos insaturados (MUFA e PUFA), o perfil lipídico do leite de jumenta foi beneficiado pela inclusão de óleo de soja na dieta, resultando em maior proporção desses lipídios em comparação aos saturados. A predominância de

C18:1 (ácido oleico) e C18:2 (ácido linoleico), já relatada na literatura, atribui ao leite propriedades funcionais relevantes, como melhor qualidade nutricional e potencial efeito cardioprotetor (Martini et al., 2020; Garhwal et al., 2023).

O organismo humano não é capaz de sintetizar todos os lipídios necessários, tornando imprescindível a obtenção desses ácidos graxos pela dieta. A qualidade desses lipídios é determinante para a homeostase lipídica, com destaque para os poli-insaturados das famílias n-6 e n-3, reconhecidos como essenciais.

O ácido α-linolênico (C18:3 n-3), pertencente à série n-3, é considerado um nutriente funcional devido aos seus múltiplos efeitos fisiológicos, como a redução do risco de doenças cardiovasculares, a modulação dos processos inflamatórios, o auxílio na diminuição do colesterol total e a prevenção de doenças metabólicas, como o diabetes (Vaz et al., 2014). Já o ácido linoleico (C18:2 n-6), presente em abundância na dieta humana, é fundamental para o funcionamento celular, sendo indispensável em todas as fases da vida (Marangoni et al., 2020).

Esses ácidos graxos atuam na estrutura das membranas celulares, aumentando sua fluidez, pois suas duplas ligações impedem o empacotamento rígido característico dos saturados. Essa maior fluidez melhora o desempenho de receptores e transportadores, favorecendo a captação hepática de LDL e a regulação do metabolismo lipídico. Assim, exercem efeitos de sinalização anti-inflamatória, promovem a saúde cardiovascular e oferecem suporte à função cerebral, sendo, por isso, recomendados na prevenção secundária de doenças cardiovasculares, principalmente em grupos mais suscetíveis (Callegari et al., 2023).

A inclusão de óleo de soja na dieta aumentou progressivamente a proporção de ácidos graxos insaturados, o que se refletiu na elevação da relação insaturados:saturados (INS:SAT) e reforçou a qualidade nutricional da fração lipídica. Resultados semelhantes já foram observados por Malacarne et al. (2019) e Kaskous & Pfaffl (2022), evidenciando que a predominância de insaturados é uma característica intrínseca do leite asinino que pode ser intensificada por estratégias dietéticas adequadas.

No que se refere especificamente aos ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), o leite de jumenta pode ser enriquecido com a inclusão de óleo de soja, o que aumenta a proporção desses lipídios. Os PUFA apresentam reconhecida ação benéfica sobre processos inflamatórios e metabólicos, sendo essenciais para o desenvolvimento

neurológico infantil. Eles atuam como precursores de mediadores anti-inflamatórios e reduzem o estresse oxidativo, contribuindo para a menor formação de LDL oxidada. Assim, a presença de PUFA na fração lipídica favorece maior funcionalidade das membranas celulares e um ambiente metabólico menos propenso à inflamação (Khan et al., 2024). Esse potencial de modulação do perfil lipídico, através da relação entre os ácidos graxos, reforça a importância de dietas formuladas para melhorar a qualidade nutricional do leite asinino.

A redução do índice de aterogenicidade (IA) obtida com a inclusão progressiva de óleo de soja na dieta demonstra a eficácia da modulação da qualidade da gordura do leite, uma vez que valores menores desse índice indicam menor potencial para o desenvolvimento de aterosclerose. Esse achado confirma observações anteriores de Martini et al. (2020) e Salari et al. (2019), que apontam o leite asinino como fonte de lipídios com baixo risco aterogênico. Para o consumidor humano, o leite das jumentas suplementadas com óleo de soja apresenta perfil mais saudável, com menor teor de gordura saturada e maior presença de antioxidantes naturais, podendo ser utilizado como alimento funcional.

Em relação à proteína do leite, a semelhança nos valores desse parâmetro entre os tratamentos pode ser explicada por fatores fisiológicos intrínsecos à espécie, como a menor proporção de caseína e os limites da síntese proteica láctea, além do fato de que as quatro dietas foram formuladas para serem isoproteicas (Chilliard et al., 2020).

Essa limitação da síntese proteica ocorre quando a glândula mamária não consegue mais aumentar a produção de proteínas do leite, mesmo havendo nutrientes disponíveis. Ela é determinada pela capacidade metabólica das células mamárias, pela disponibilidade de aminoácidos essenciais, pela energia necessária à síntese e pela regulação hormonal. Quando um desses fatores se torna limitante, a produção de caseína e outras proteínas do leite atinge seu máximo fisiológico (Khan et al., 2024).

A análise das frações proteicas através da eletroforese, demonstrou que as proteínas do soro, como imunoglobulinas, lactoferrina e albumina sérica, foram detectadas em baixa intensidade na região superior do gel eletroforético, refletindo suas concentrações naturalmente reduzidas no leite de jumenta, o que dificulta sua detecção (Bidasolo et al., 2012). Essa baixa concentração de proteínas do soro, aliada

ao perfil de caseínas, confere ao leite asinino elevado potencial digestivo e reduzido poder alergênico, tornando-o adequado para consumo humano, inclusive por lactentes ou indivíduos sensíveis à proteína do leite bovino.

Quanto à caseína, identificada neste estudo como uma das principais proteínas do leite asinino, segundo Khan et al. (2024), as micelas apresentam estrutura menos compacta, menor grau de fosforilação e baixa afinidade por íons cálcio. Tais características favorecem a digestibilidade e reduzem a resistência enzimática durante a hidrólise gastrointestinal.

As frações de caseína apresentaram múltiplas bandas na eletroforese, algumas próximas e outras mais distantes, evidenciando heterogeneidade estrutural e diferentes níveis de fosforilação e glicosilação. Essas variações podem influenciar a liberação de cálcio e fósforo durante a digestão e ampliar a funcionalidade nutricional do leite. Dessa forma, o perfil proteico observado não apenas caracteriza o leite asinino, mas também destaca potenciais benefícios à saúde humana, como suporte imunológico, maior digestibilidade e presença de proteínas bioativas com ação antimicrobiana e antioxidante.

De acordo com Bidasolo et al. (2012), a β-lactoglobulina é a proteína do soro mais abundante no leite de jumenta, fato evidenciado no presente estudo pela intensidade de sua banda no gel de eletroforese. Outras proteínas de baixa massa molecular detectadas na região inferior incluem α-lactalbumina e lisozima.

A maior concentração de lisozima no leite asinino, quando comparado ao de outras espécies de animais de produção, confere notável atividade antibacteriana, explicando a baixa contagem bacteriana observada nesse tipo de leite. Além disso, a lisozima apresenta propriedades funcionais adicionais, como efeitos antiproliferativos e antitumorais (Vincenzetti et al., 2008). Sua ação ocorre pelo rompimento da parede celular bacteriana, liberando peptidoglicano e promovendo a ativação do sistema imunológico, o que contribui para a regulação da imunidade, sendo também classificada como uma substância naturalmente distribuída que participa da estimulação imunológica do organismo, auxilia na produção de anticorpos contra diversos antígenos e aumenta a resistência a infecções (Sahoo et al., 2012). Essa enzima também integra mecanismos de defesa mais amplos, associando-se à atividade de macrófagos e imunoglobulinas, potencializando a resposta imunológica (Gong, 2014). Isso reforça o potencial do leite de jumenta não

apenas como alimento de alta digestibilidade e hipoalergênico, mas também como fonte de componentes bioativos que podem contribuir para a saúde intestinal, imunológica e geral do consumidor humano.

Quanto às concentrações de lactose observadas no leite das jumentas (6,77 a 7,54 g·100 g^{-1}), seus valores são mais altos que os de outras espécies de animais de produção, o que está em consonância com a fisiologia da espécie, já que esse açúcar representa a principal fonte de energia para o potro nas primeiras semanas de vida. Além disso, maiores concentrações de lactose aproximam o perfil de carboidratos do leite asinino ao do leite humano, favorecendo sua digestibilidade e aceitação sensorial (Malacarne et al., 2019; Garhwal et al., 2023).

Essa relevância nutricional da lactose se confirma também pelas suas funções biológicas, pois estimula a osteogênese e favorece a absorção intestinal de cálcio e fósforo, promovendo o acúmulo mineral na matriz óssea e contribuindo para a prevenção da osteoporose. Além disso, induz o crescimento de bactérias probióticas e inibe o desenvolvimento de microrganismos deteriorantes no trato digestivo; atua ainda na biossíntese de glicolipídios, componentes estruturais essenciais do sistema nervoso central, com papel relevante na formação e manutenção dos tecidos neurais (Malissiova et al., 2016; Li; Liu; Guo, 2018).

Em relação aos únicos minerais, cujas concentrações variaram conforme a substituição de energia dos grãos por óleo de soja — fósforo, sódio e cloro —, Malacarte et al. (2019) relataram que o leite asinino possui elevado teor de potássio, sendo este o mineral mais abundante, seguido de cálcio, sódio e fósforo. O fósforo, por sua vez, tende a apresentar variações ao longo da lactação e em função da dieta (Fantuz et al., 2020).

Neste estudo, observou-se aumento progressivo na concentração de fósforo no leite asinino à medida que parte da energia proveniente dos grãos foi substituída por óleo de soja (basal, 10%, 20% e 30%). Essa elevação deve estar associada à necessidade de incrementar a inclusão de farelo de trigo nas dietas, ingrediente reconhecidamente rico nesse mineral. Da dieta basal para a formulação com 30% de substituição, houve acréscimo de 23% no teor de fósforo da dieta, valor que se refletiu de forma muito semelhante na composição láctea, com aumento de 22,5% na concentração de fósforo no leite. Tal correspondência evidencia a alta disponibilidade do fósforo presente no farelo de trigo e sua efetiva absorção

sistêmica pelas jumentas, resultando em maior excreção pela glândula mamária. Dessa forma, a composição mineral encontrada mostra-se coerente com o perfil nutricional do ingrediente utilizado, confirmando que a modulação dietética impacta diretamente a secreção láctea desse mineral (Salahi et al., 2025).

Em relação à redução nas concentrações de sódio no leite asinino da dieta basal para a formulação com 30% de substituição, embora não tenha sido determinada a concentração de sódio nas dietas experimentais, o que impossibilita confirmar essa relação de forma direta, é plausível considerar que variações na composição alimentar possam ter influenciado os mecanismos fisiológicos de retenção e excreção desse mineral. Pesquisas anteriores já indicam que o teor de sódio no leite de jumentas pode ser modulado por fatores nutricionais e de manejo (Xu et al., 2025), o que reforça a hipótese de que a alteração dietética tenha contribuído para os menores valores observados. Ainda assim, a ausência de dados analíticos sobre o sódio nas dietas limita a possibilidade de estabelecer uma associação concreta entre a formulação alimentar e a composição mineral do leite.

Embora o cloro seja menos reportado como dado principal em estudos de composição mineral, sua participação no balanço eletrolítico do leite é fundamental. Fantuz et al. (2020) destacam que esse elemento está presente majoritariamente na fração aquosa e pode variar conforme a dieta, o consumo de sal e os mecanismos de excreção. Assim, a diminuição simultânea de cloro e sódio, da dieta controle para a com 30% de substituição, sugere que as condições experimentais ou a modulação dietética tenham influenciado a absorção e a secreção mamária desses minerais, refletindo diretamente em suas concentrações lácteas.

Do ponto de vista nutricional humano, a redução concomitante de sódio e cloro no leite asinino pode ser considerada benéfica, uma vez que o excesso desses minerais na dieta está associado a distúrbios cardiovasculares e hipertensão arterial. Dessa forma, o perfil eletrolítico mais equilibrado observado neste estudo reforça o potencial do leite asinino como alternativa saudável, especialmente para consumidores com restrição ao sódio ou que buscam alimentos com composição mineral mais adequada.

A literatura descreve que o leite asinino apresenta, em geral, baixos valores de contagem de células somáticas (CCS), o que sugere boa saúde mamária, embora os limites de referência específicos ainda estejam em discussão (Malacarne et al., 2019;

Kaskous & Pfaffl, 2022). Conforme esperado, o aumento progressivo na substituição da energia proveniente do concentrado por óleo de soja na dieta não comprometeu a saúde mamária, uma vez que a CCS permaneceu dentro da faixa considerada adequada para a espécie.

5. CONCLUSÃO

A substituição da energia digestível do milho da dieta por óleo de soja eleva o perfil de ácidos graxos insaturados do leite, principalmente nas concentrações de ácido linoleico (C18:2) e poli-insaturados. Esse resultado indica que a suplementação lipídica é uma estratégia eficiente para melhorar o perfil lipídico do leite, agregando valor nutricional ao produto e potencializando seus benefícios à saúde humana, particularmente no que se refere à qualidade da gordura consumida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTOS, I. et al. Characterisation of Zamorano-Leonese Donkey Milk as an Alternative Sustainably Produced Protein Food. **Frontiers in Nutritional**, 9:872409. 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fnut.2022.87240

AOAC INTERNATIONAL. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20. ed. Rockville, MD: AOAC International, 2016.

BIDASOLO, I. B.; Ramos, M.; Gomez-Ruiz, J. A. In vitro simulated gastrointestinal digestion of donkeys' milk. Peptide characterization by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **International Dairy Journal**, v. 24, n. 2, p. 146-152, 2012. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.04.014

CARNEIRO, G. F. et al. The current situation and trend of the Donkey Industry in South America. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 106–110, 2018.

CARNEIRO, A. V. et al. Between freedom and abandonment: social representations of free-roaming donkeys in the Brazilian Northeast. **Society & Animals**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 1-20, 2021. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08927936.2021.1999607

CHIANESE, L. et al. Proteomic characterization of donkey milk "caseome". **Journal of Chromatography A**, v. 1217, p. 4834-4840, 2010. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.05.017

CHIOFALO, B. et al. Donkey milk as a nutraceutical food: antimicrobial properties. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, n. 12, p. 1571–1575, 2011. DOI: https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0162

COSENTINO, C. et al. Donkey milk functional properties: a comparison with bovine milk. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, n. 2, p. 3271, 2015. DOI: https://doi.org/10.4081/ijas.2015.3271

COSENTINO, C. et al. Nutritional and nutraceutical characteristics of donkey milk. **Journal of Food Research**, v. 2, n. 6, p. 35–44, 2013. DOI: https://doi.org/10.5539/jfr.v2n6p35

COSENTINO, C. et al. Effects of dietary supplementation with extruded linseed and oregano in autochthonous goat breeds on the fatty acid profile of milk and quality of Padraccio cheese. **American Dairy Science Association**, 104:1445–1453, 2020. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2020-18805

DERDAK, R.; SAKOUI, S.; POP, O. L.; MURESAN, C. I.; VODNAR, D. C.; ADDOUM, B.; VULTURAR, R.; CHIS, A.; SUHAROSCHI, R.; SOUKRI, A.; EL KHALFI, B. Insights on health and food applications of Equus asinus (donkey) milk bioactive proteins and peptides — an overview. **Foods**, v. 9, n. 9, p. 1302, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/foods9091302

DIAS, WESLLA DA SILVA. Produção e composição do leite de fêmeas asininas do ecótipo nordestino. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – **Universidade Federal Rural de Pernambuco**, Garanhuns, 2023.

FANTUZ, F.; SALIMEI, E.; TODINI, L. Distribution of calcium, phosphorus, sulfur, magnesium, potassium, and sodium in major fractions of donkey milk. **Journal of Dairy Science**, 2020.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G. H. S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 226, n. 1, p. 497–509, 1957.

FOX, P. F. et al. Chemistry of milk constituents. In: _____. **Fundamentals of Cheese Science**. 3. ed. Nova York: Springer, Cap. 4, p. 71-104, 2017.

GARHWAL, R. et al. Milk from Halari donkey breed. Nutritional analysis. **Foods**, v. 12, n. 6, p. 1230, 2023

GUO, Z. J. et al. Composition, Physiochemical Properties, Nitrogen Fraction Distribution, and Amino Acid Profile of Donkey Milk. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p. 4344-4351, 2015. https://doi.org/10.3168/jds.2006-600

KASKOUS, S.; PFAFFL, M. W. Milk properties and morphological characteristics of the donkey mammary gland for development of an adopted milking machine — A review. **Dairy**, v. 3, n. 2, p. 233-247, 2022.

KHAN, M. Z. et al. Is there sufficient evidence to support the health benefits of donkey milk? **Frontiers in Nutrition**, v. 11, p. 1291613, 2024.

LIU, Y. et al. MiR-20a-5p regulates milk fat synthesis by targeting ELOVL6 in bovine mammary epithelial cells. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 90, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40104-023-00859-

LI, L.; et al. The nutritional ingredients and antioxidant activity of donkey milk. **Food Science & Nutrition**, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s10068-017-0264-2

LJUBOJEVI´C PELI´C, D. et al. Seasonal Variation in Essential Potentially Toxic Elements in Donkey Milk from Banat and Balkan Breeds in the Zasavica Nature Reserve. **Animals** 2025, *15*, 791. DOI: https://doi.org/10.3390/ani15060791

MADHUSUDAN, N. C. et al. Composition, characteristics, nutritional value and health benefits of donkey milk – A Review. **Dairy Science & Technology**, EDP Sciences/Springer, 2017. Disponível em: https://www.springer.com/journal/13594

MALACARNE, M. et al. New insights into chemical and mineral composition of donkey milk. **Foods**, v. 8, n. 10, p. 518, 2019.

MARTEMUCCI, G.; D'ALESSANDRO, A. G. Fat content, energy value and fatty acid profile of donkey milk during lactation and implications for human nutrition. **Lipids in Health and Disease**, v. 11, p. 1–14, 2012.

MARTINI, M. et al. Nutritional and Nutraceutical Quality of Donkey Milk. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 65, p. 33–37, 2018.

MARTINI, M. et al. Quality of donkey mammary secretion during the first ten days after foaling. **Animals**, v. 10, n. 1, p. 101, 2020.

MESSIAS, T. B. O. N. et al. Challenges and perspectives for exploiting donkey milk in the Brazilian Northeast. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 52, n. 3, e20210058, 2022.

MIAO, W. et al. Study on processing stability and fermentation characteristics of donkey milk. **LWT - Food Science and Technology**, v. 127, p. 109151, 2020. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109151

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of horses. 6. rev. ed. Washington, DC: **National Academies Press**, 2007.

NEUHOFF, V.; Arold, N.; Taube, D.; Ehrhardt, W. Improved staining of proteins in polyacrylamide gels including isoelectric focusing gels with clear background at nanogram sensitivity using Coomassie Brilliant Blue G-250 and R-250. **Electrophoresis**, v. 9, 255-262, 1988. https://doi.org/10.1002/elps.1150090603

PIOVESANA, S. et al. Peptidome characterization and bioactivity analysis of donkey milk. **Journal of Proteomics**, v. 119, p. 21-29, 2015.

SALARI, F. et al. Donkey milk: Composition, functional properties, and future perspectives. **Animal Science Journal**, v. 90, n. 7, p. 813–822, 2019.

SALAHI, A. et al. Wheat bran beyond a fiber source for sustainable poultry nutrition. **Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society**, v. 76, n. 4, p. 1–12, 2025.

SCHÄGGER, H.; Jagow, G. V. Tricine-sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis for the separation of proteins in the range from 1 to 100 kDa.

Analytical Biochemistry, v. 166, p. 368-379, 1987. https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90587-2

SOUROULLAS, K.; ASPRI, M.; PAPADEMAS, P. Donkey milk as a supplement in infant formula: benefits and technological challenges. **Food Research International**, v. 109, p. 416–425, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.051

VINCENZETTI, S. et al. Role of proteins and of some bioactive peptides on the nutritional quality of donkey milk and their impact on human health. **Beverages**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 34, 2017. Disponível em: https://www.mdpi.com/2306-5710/3/3/34

VINCENZETTI, S. et al. Donkey's milk protein fractions characterization. **Food Chemistry**, v. 106, n. 2, p. 640-649, 2008. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.026

XU, Q. et al. Nutritional Composition and Biological Activities of Donkey Milk. **Foods**, 2025.

ZHAO, Feng-Qi; LALONDE, Chrissy; KRAFT, Jana. Molecular aspects of milk lipid synthesis and secretion in mammary epithelial cells. **Animal Nutriomics**, v. 1, 2024, e15. DOI: https://doi.org/10.1017/anr.2024.19