



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS DE GOVERNADOR VALADARES
DEPARTAMENTO DE FARMÁCIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Lorayne da Silva Melo Moreira

**Leites UHT A2 comercializados no Brasil: caracterização físico-química e elétrica,
comportamento reológico e perfil de ácidos graxos**

Governador Valadares – MG

2024

**Leites UHT A2 comercializados no Brasil: caracterização físico-química e elétrica,
comportamento reológico e perfil de ácidos graxos**

Lorayne da Silva Melo Moreira

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Faculdade de Farmácia da
Universidade Federal de Juiz de Fora –
Campus GV, como requisito à obtenção
de menção da disciplina e conclusão de
curso.

Orientador: Milton de Jesus Filho
Coorientadora: Andréa Alves Simiqueli

Governador Valadares – MG

2024

**Leites UHT A2 comercializados no Brasil: caracterização físico-química e elétrica,
comportamento reológico e perfil de ácidos graxos**

Lorayne da Silva Melo Moreira¹, Lohanne Francino dos Santos¹, Leila Silva e Castro¹, Wesley William Gonçalves Nascimento¹, Manoela Meira Balzan², Roger Wagner², Andréa Alves Simiqueli¹, Milton de Jesus Filho^{1*}

¹Departamento de Farmácia, Instituto de Ciências da Vida, Universidade Federal de Juiz de Fora, 35010-177, Governador Valadares, MG, Brasil

²Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

*Autor correspondente: milton.filho@ufjf.br (Milton de Jesus Filho)

Resumo

O Leite UHT A2 é uma alternativa de consumo para os consumidores que apresentam desconforto digestivo ao ingerir produtos lácteos. Esse leite processado, oriundo de vacas com genótipo A2A2, não promove a formação de betacasomorfina-7 (BCM-7) durante o processo de digestão. Contudo, pouco se sabe sobre a sua composição abrangente, a exemplo dos parâmetros físico-químicos e elétricos. Nesse sentido, este estudo teve como intuito investigar possíveis diferenças físico-químicas e químicas entre o leite UHT com o genótipo de β -caseína A2 e o leite que não apresenta a certificação A2, oriundos de marcas comercializadas no mercado brasileiro. Para isso, foram avaliados os parâmetros físico-químicos, comportamento reológico, impedância elétrica e composição de ácidos graxos. Os resultados indicaram que o leite A2 apresentou maior densidade, teor de gordura, de proteínas e de sólidos totais, comparado ao leite UHT sem certificação A2. Além disso, obteve maior módulo de impedância elétrica e menor admitância para a faixa de frequência analisada (1 kHz a 5 MHz). As amostras de leite UHT apresentaram um comportamento de fluido newtoniano, em ambas as temperaturas analisadas (10 e 25 °C). Além disso, o tipo de leite UHT (com e sem a certificação A2) não influenciou significativamente na viscosidade absoluta das amostras ($p > 0,05$), em ambas as marcas comerciais e temperaturas. Em geral, os leites apresentaram a mesma composição de ácidos graxos, sendo o C16:0 o composto majoritário (33,23 – 34,93%). Porém, o C12:0 e o C18:1 *cis*-7 foram mais abundantes no leite A2. Nesse sentido, os métodos analíticos empregados neste estudo foram capazes de identificar diferenças entre macromoléculas e compostos da fração lipídica nas amostras investigadas. Sugere-se que estes analitos podem ser utilizados como possíveis marcadores de identidade, a fim de avaliar a autenticidade do leite de vaca UHT que possuem na sua composição somente beta-caseína do genótipo A2.

Palavras-chave: β -caseína A2; processamento de leite; tratamento térmico; composição do leite; impedância elétrica.

1. Introdução

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a produção de leite no Brasil em 2021 foi de 35.305.047 litros. No primeiro trimestre de 2023, o mercado brasileiro adquiriu 5.883.069 mil litros de leite cru e industrializado (IBGE, 2023), demonstrando uma evolução significativa anualmente, tanto na produção quanto no consumo de leite.

A Associação Brasileira da Indústria de Leite Longa Vida indica que o leite bovino representa 75% do leite consumido mundialmente (ABLV, 2022). Dentre as formas de consumo deste alimento pela população brasileira, o leite UHT (Ultra Alta Temperatura) tem sido o produto de destaque quando comparado com o leite pasteurizado, devido a sua maior vida de prateleira (ABLV, 2016). Segundo a legislação brasileira, o leite UHT é definido como o leite homogeneizado que foi submetido, durante 2 a 4 segundos, a uma temperatura entre 130 °C e 150 °C, mediante um processo térmico de fluxo contínuo, sendo imediatamente resfriado a uma temperatura inferior a 32 °C e envasado sob condições assépticas em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas (BRASIL, 2017; BRASIL, 1997).

O leite possui em sua composição uma fonte rica de proteínas, carboidratos, ácidos graxos, vitaminas e minerais (Andiç et al., 2021; Fox et al., 2017; Fernández et al., 2015). Dada a importância nutricional deste alimento, a ingestão de leite é introduzida na alimentação durante todas as fases da vida, uma vez que contribui para as necessidades nutricionais e energéticas diárias, além de auxiliar no desenvolvimento e manutenção óssea, devido a presença significativa de cálcio (Kaplan et al., 2022; Gatica et al., 2017).

A principal proteína do leite bovino é a caseína, representando 80% da fração proteica presente nesta matriz alimentar (Huang et al., 2022; Andiç et al., 2021; Nguyen et al., 2018). Esta proteína é composta das porções α S1, α S2, β e kappa-caseína. A β -caseína é a segunda porção mais abundante desta molécula, possui doze variantes, incluindo A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2 e I (Dantas et al., 2023; Giribaldi et al., 2022; Kaplan et al., 2022). Em vacas leiteiras, as variantes A1 e A2 são as mais comuns e conseqüentemente, os leites e seus derivados comercializados mundialmente são oriundos de animais com genótipos A1A1, A1A2 e A2A2. Esta variação genotípica confere uma alteração na composição aminoacídica da proteína, visto que a variante β -caseína A1 possui uma histidina na posição 67, enquanto a β -caseína A2 apresenta o aminoácido prolina (Kaplan et al., 2022; Li et al. 2022; Garg et al., 2021).

Muitos estudos demonstraram que o desconforto gastrointestinal provocado pelo consumo de leite bovino está associado à produção da betacasomorfina 7 (BCM-7) (Şahin et al., 2018; He et al., 2017; Ho et al., 2014), peptídeo formado durante a digestão da β -caseína A1. Entretanto, a presença do aminoácido prolina na posição 67 na β -caseína A2 impede que ocorra a formação deste peptídeo. Durante o processo digestivo do leite A2 é produzido o peptídeo casomorfina-9 (BCM-

9), que posteriormente é decomposto facilmente em aminoácidos, diminuindo o risco de desconforto gastrointestinal (Şahin et al., 2018). Além disso, estudos comprovaram que a ingestão do leite A2 reduz o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, neurológicas e diabetes tipo 1 (Chitra, 2022; Semwal et al., 2022; Vitte et al., 2022; Gatica et al.; 2017; Jianqin et al., 2015).

A comercialização brasileira de leite UHT A2 é recente, e isto representa para os produtores e indústrias a possibilidade de agregar valor à matéria-prima e se diferenciarem no mercado. Neste contexto, estudar estes produtos que são consumidos no Brasil é de extrema importância, a fim de verificar se existem diferenças em suas características e composição química, quando comparados aos leites bovinos que possuem outros alelos de β -caseína. Atualmente, existem trabalhos disponíveis na literatura que avaliaram características físico-químicas, sensoriais e reológicas; perfil químico e aspectos tecnológicos de leite de vaca cru A2 (Bisutti et al., 2022; Jia et al., 2022; Vitte et al., 2022; Jung et al., 2017; Poulsen et al., 2013); de leites fermentados (Wang et al., 2022; Nguyen et al., 2018) e de queijos (Mendes et al., 2019) produzidos com leite A2. No entanto, há uma escassez de pesquisas científicas que investigam, de forma abrangente, o leite UHT A2. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar amostras de leites UHT A2 comercializados no Brasil, em relação aos parâmetros físico-químicos, comportamento reológico, impedância elétrica e composição de ácidos graxos, bem como compará-los com os leites UHT comumente consumidos pelos brasileiros.

2. Materiais e métodos

2.1 Reagentes e soluções padrão

Neste estudo foram utilizados os seguintes reagentes e soluções: hidróxido de sódio (Alphatec®, Brasil), sulfato de cobre (Impex, Brasil), sulfato de potássio (Alphatec, Brasil), clorofórmio, metanol, solução de sulfato de sódio (1,5%), hidróxido de potássio (0,4M), hexano (Merck, Darmstadt, Alemanha), indicador Tashirol (Vermelho de metila 0,2% + azul de metileno 0,2%, Sciavico, Brasil), fenolftaleína 1% (Êxodo® científica, Brasil), ácido bórico (Êxodo® científica, Brasil), ácido sulfúrico (Impex, Brasil), álcool isoamílico (Sciavico, Brasil), clorofórmio (Merck, Darmstadt, Alemanha) e metanol (Merck, Darmstadt, Alemanha).

Os padrões analíticos C23:0 (tricosanoato de metila), os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME), éster metílico conjugado de ácido linoléico, isômeros cis/trans de éster metílico de ácido linoléico, mistura de isômeros de éster metílico de ácido linolênico, éster metílico de ácido transvacênico e o éster metílico docosapentaenóico foram obtidos da Sigma-Aldrich (EUA).

2.2 Aquisição das amostras

As amostras de leite bovino UHT (Ultra Alta Temperatura) semidesnatado foram adquiridas em supermercados, nas cidades de Campinas, São Paulo; Rio de Janeiro, Rio de Janeiro e Governador Valadares, Minas Gerais.

Foram investigadas amostras de leite A2, que apresentam na embalagem o selo de certificação “VACAS A2A2”, selo este que assegura que as fazendas e indústrias certificadas estão aptas a produzir e comercializar leite e derivados provenientes de vacas com o genótipo A2A2. Além disso, que contempla toda a parte de procedência, rastreabilidade e pureza do leite. Com o intuito de comparação, também foram analisadas amostras de leite comumente comercializadas, oriundas de vacas com genótipo de β -caseína não identificado, podendo ser de variantes genéticas A1, A2 ou outras formas (AT). O estudo foi conduzido com três amostras de leite UHT, de duas marcas e de três lotes diferentes.

2.3 Caracterização físico-química

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com as metodologias da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2016; AOAC, 2006; AOAC, 2005). A acidez foi determinada pelo método titulométrico com NaOH (0,1 N), sendo os resultados expressos em porcentagem de ácido láctico. O pH foi obtido utilizando um pHmetro digital de bancada previamente calibrado (Mettler Toledo, modelo SevenCompact S220).

Para a determinação da densidade dos leites, utilizou-se um termolactodensímetro. A densidade aproximada e temperatura das amostras foram obtidas via leitura direta. Em seguida, foi realizada uma correção da densidade para a temperatura de 15 °C, a fim de obter o valor padronizado da densidade do leite.

O teor de água foi obtido por secagem da amostra até peso constante em estufa convencional (THOTH Linha TH.500) a 105 °C. A análise de cinzas foi realizada por incineração da amostra em mufla (ZEZIMAQ, modelo 2000C-2RP) a temperatura de 550 °C. O teor de gordura foi determinado pelo método de Gerber e de proteína foi obtido pelo método Kjeldahl, que incluem as etapas de digestão, destilação e titulação.

O Extrato Seco Total (EST) foi obtido por cálculo da diferença entre 100% dos componentes e o teor de água da amostra. O extrato seco desengordurado também foi obtido por cálculo, da diferença entre EST e gordura.

2.4 Espectroscopia de impedância elétrica

Empregou-se um analisador de impedância da marca HIOKI, modelo 3170, para a obtenção das medidas de impedância elétrica. Foi estimulado por um campo elétrico externo alternado, do tipo senoidal, com pico de 1 V para pico, em uma faixa de frequência de 1 kHz a 5 MHz. Foi adaptado ao instrumento um eletrodo de vidro composto por duas placas paralelas de platina com constante geométrica $K = 1 \text{ cm}^{-1}$. Em todo o experimento, a temperatura de 20 °C foi mantida constante.

Foram medidas as seguintes grandezas elétricas: módulo da impedância, partes real e imaginária da impedância e admitância.

2.5 Reologia

As amostras de leite foram submetidas a testes reológicos estacionários (viscosimetria), em função da taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}/s^{-1}$), variando de 10 a $1000 s^{-1}$, a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando um Reômetro Híbrido Dinâmico (DHR1; T.A. Instruments®), com geometria de cilindros concêntricos (aço padrão DIN), acoplado a um cilindro Peltier para controle de temperatura. Foi avaliado o comportamento reológico das amostras em duas temperaturas, pois são as condições em que o leite é comumente consumido no Brasil.

Adicionalmente, experimentos de temperatura foram realizados em modo estacionário, de 5 a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, a $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantendo constante a taxa de cisalhamento ($1000 s^{-1}$), a fim de avaliar possíveis alterações na viscosidade das amostras, ao serem submetidas a condições extremas de temperatura.

2.6 Perfil de ácidos graxos

Os lipídios das amostras de leite foram extraídos de acordo com a metodologia de Bligh e Dyer (1959) com modificações, por meio da utilização de 5 mL de leite e da adição dos seguintes solventes de extração: clorofórmio (8 mL), metanol (16 mL) e água ($1,4\text{ mL}$). Em seguida, as amostras foram homogeneizadas em agitador orbital por 30 min . Após, foram adicionados 8 mL de clorofórmio e 8 mL de solução de sulfato de sódio ($1,5\%$) e agitados por mais 2 min . Os extratos foram centrifugados e a fração orgânica (clorofórmica) foi reservada para análise do conteúdo lipídico. Conforme Hartman e Lago (1973), cerca de 20 mg de lipídios foram submetidos ao procedimento de metilação após secagem dos extratos com bomba de vácuo a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os lipídios foram derivatizados em Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos (FAMES) pela adição de 1 mL de KOH ($0,4\text{ M}$) em metanol e submetidos a banho-maria em ponto de ebulição por 10 min . Em seguida, após resfriamento, foi adicionado 3 mL de H_2SO_4 (1 M) em metanol, e submetidos novamente ao banho-maria por 10 min .

Os FAMES foram particionados com hexano (2 mL) e analisados em cromatógrafo gasoso equipado com detector de ionização de chama (GC/FID, Star CX 3400, Varian, Palo Alto, Estados Unidos). $1\text{ }\mu\text{L}$ de cada extrato foi injetado em modo split ($1:20$) a $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. O hidrogênio foi utilizado como gás de arraste a pressão constante de 25 psi . Os analitos foram separados em coluna capilar HP-88 ($100\text{ m} \times 0,25\text{ mm d.i.}$; $0,20\text{ }\mu\text{m}$ de espessura de filme; Bellefonte, EUA). A temperatura inicial da coluna foi de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ permanecendo por 2 min e aumentando até $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, a uma taxa de $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantendo por 10 min . Em seguida, aumentando para $210\text{ }^{\circ}\text{C}$, a uma taxa de $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantendo por 5 min , e finalmente até $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, aumentando $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantendo por 5 min .

em isotérmico.

A identificação dos ácidos graxos foi realizada comparando os tempos de retenção experimentais com padrões de FAME Mix 37 (P/N 47885-U), éster metílico conjugado de ácido linoléico (P/N O5632), isômeros *cis/trans* de éster metílico de ácido linoléico (P/N 47791), mistura de isômeros de éster metílico de ácido linolênico (P/N 47792), éster metílico de ácido transvacênico (P/N 46905-U) e éster metílico docosapentaenóico (P/N 47563-U), todos oriundos da Sigma-Aldrich (EUA). Os resultados foram expressos em porcentagem da área total dos cromatogramas, levando em consideração o fator de correção da cadeia de carbono do FID e o fator de conversão éster em ácido, conforme descrito por Visentainer (2012).

2.7 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Os dados de caracterização físico-química e composição de ácidos graxos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) ($\alpha=5\%$), utilizando o software Sisvar, versão 5.6. Os gráficos obtidos na análise de impedância elétrica e comportamento reológico foram gerados a partir do software OriginPro 9.0.0-(64 bits) SR2 b87.

3. Resultados e discussões

3.1 Propriedades físico-químicas

A Tabela 1 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade e composição de leites UHT semidesnatados de marcas comercializadas no Brasil. Os resultados obtidos estão em conformidade com as informações apresentadas nos rótulos dos produtos avaliados (dados não apresentados) e com os parâmetros mínimos de qualidade exigidos pela Portaria N° 370/1997 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Estudos demonstraram que alguns fatores podem influenciar nas propriedades físico-químicas do leite, como as variantes de β -caseína, condições de armazenamento, fases de lactação do animal, tratamento térmico empregado e o tipo de dieta do animal (De Vitte et al., 2022; Li et al., 2021; Fan et al., 2020; Martins et al., 2008; Couvreur et al., 2006). Dentre as variáveis avaliadas, somente o pH e a acidez dos leites com diferentes tipos de β -caseína e de diferentes marcas não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$). O valor médio do pH e acidez das amostras, considerando as duas marcas, foi de 6,79 e 0,15% de ácido láctico, respectivamente. Neves et al. (2021) analisaram amostras de leite UHT semidesnatado provenientes de vacas sem a certificação do tipo de β -caseína, de 4 marcas comercializadas no mercado brasileiro. A acidez variou de 0,14 a 0,16% de ácido láctico, estes valores corroboram com os encontrados neste trabalho. Por outro lado, Da Silva et al. (2016) também investigaram leites UHT semidesnatado e os valores de acidez (média de 0,20% de ácido láctico) foram superiores e de pH (média de 6,37) inferiores, aos encontrados

neste estudo.

Observou-se para todas as marcas e ao considerar o valor médio das duas marcas, que o leite A2 apresentou maior densidade, teor de gordura, de proteínas e de sólidos totais. Entretanto, estas mesmas amostras obtiveram menores concentrações de cinzas e sólidos não gordurosos. Os valores relatados nos estudos de Neves et al. (2021), Da Silva et al. (2016) e Zancan (2012) estão de acordo com os obtidos neste trabalho.

Não houve diferença do teor de água entre as amostras da marca 2. As médias oscilaram de 88,89 a 89,90%, valores superiores aos encontrados no trabalho de Da Silva et al. (2016) (87,55%).

3.2 Caracterização elétrica

A Espectroscopia de Impedância Elétrica (EIS) é uma técnica muito útil para caracterizar o comportamento elétrico de materiais (iônicos, semicondutores e até dielétricos), como os líquidos (Chinaglia et al., 2008). Essa técnica consiste na análise da amostra através da aplicação de um estímulo elétrico externo medindo a resposta do sistema. As grandezas elétricas derivam da mobilidade das espécies iônicas em solução, que depende de diversos fatores relacionados ao material (Lima et al., 2022). EIS tem sido amplamente utilizada para caracterização de amostras e para aplicações na indústria de alimentos, especialmente em estudos de leite e derivados lácteos (Meira et al., 2023; Lopes et al., 2018).

Na Figura 1 são apresentados os espectros de caracterização elétrica de leites UHT semidesnatados de diferentes marcas. Estas amostras foram provenientes de vacas somente com genótipo A2 e comumente comercializadas, oriundas de vacas com genótipo de β -caseína não identificado, podendo ser de variantes genéticas A1, A2 ou as outras formas. Os dados obtidos demonstraram que os espectros de impedância elétrica (módulo, parte real e imaginária) e de admitância em função da frequência, apresentam perfis diferentes dependendo do tipo de amostra de leite que se difere quanto à β -caseína em sua composição. Foi observado que a marca não teve influência sobre o comportamento elétrico das amostras.

Pode-se observar nos espectros B, E e H da Figura 1, que os valores do módulo da impedância variam em função da frequência. Eles tendem a um platô para baixas frequências e a zero para altas frequências. O módulo da impedância elétrica reduz ao passo que a frequência aumenta, devido a uma redução no número de íons que conseguem se alinhar. Este fenômeno é responsável pela diminuição no número de cargas em movimento e conseqüentemente, ocorre uma redução na energia dissipada e armazenada no sistema e no sinal medido pelo módulo de impedância (De Lima et al., 2022).

A partir da análise da parte real da impedância (Figura 1-A, D e G), é possível determinar na região do espectro de baixa frequência, valores de resistência aproximadamente entre 200 a 250

ohm. Esse valor é considerado baixo, se comparado a água, por exemplo, pois o leite possui uma elevada concentração de íons livres, tornando-o um eletrólito condutor (De Lima et al., 2022; Mabrook e Petty., 2003). Observa-se nos espectros da parte real uma queda apenas para altas frequências (> 1 MHz). Isto ocorre, uma vez que o leite apresenta um perfil capacitivo baixo e ser predominantemente resistivo em todo o espectro, devido a sua baixa viscosidade e alta concentração de portadores de carga (De Lima et al., 2022).

No tocante a parte imaginária (Figura 1-A, D e G), mostra um comportamento semelhante a de um circuito misto, porém, com os valores observados bem próximos de zero, com o pico posicionado apenas a altas frequências (>1MHz). A presença significativa de íons livres no leite justifica este comportamento, reforçando o perfil predominantemente resistivo do material, com baixos efeitos capacitivos e conseqüentemente de armazenamento de carga (De Lima et al., 2022).

A admitância elétrica é caracterizada como o inverso da impedância elétrica (De Lima et al., 2022). Dessa forma, nas Figuras 1-C, F e I, foi possível observar que a admitância apresenta uplatô para a maioria da faixa de frequência e tende ao infinito para altíssimas frequências (>1MHz).

No presente estudo foram investigadas amostras de leite UHT, que possuem em sua composição estabilizantes (citrato de sódio, monofosfato de sódio, difosfato de sódio e trifosfato de sódio), conforme permitido pela Portaria nº 370, de 04 de Setembro de 1997 do MAPA, o que possivelmente pode ter influenciado na resistência elétrica das amostras, por liberarem íons livres quando dissociados, aumentando assim a sua concentração. De Lima et al. (2022) avaliaram a caracterização elétrica de leite cru e observaram valores de resistência (500 ohms) maiores devido a isso, porém, comportamentos análogos, aos encontrados neste trabalho.

Comparando os espectros das amostras de leite analisadas, observa-se que o leite A2 apresentou maior impedância (módulo, partes real e imaginária) e menor admitância para as duas marcas, quando comparado ao leite sem a certificação A2 (Figura 1). Segundo Meira et al.(2023) e Grossi e Ricco (2017), as propriedades elétricas dos alimentos estão diretamente associadas com a composição do produto. Além disso, Mabrook e Petty (2003) e Grossi et al. (2012) verificaram que o teor de gordura e a estrutura da proteína afetam a impedância elétrica do leite. Para as duas marcas estudadas, o leite A2 apresentou maior teor de gordura e de proteínas e menor teor de cinzas (Tabela 1). Estes resultados obtidos corroboram com os encontrados por Grossi e Ricco (2017), que também observaram que o módulo da impedância elétrica de produtos lácteos aumenta com o acréscimo do teor de gordura, devido ao volume que os glóbulos de gordura ocupam no meio condutor, reduzindo a locomobilidade dos íons (Meira et al., 2023).

Em relação à composição da caseína, vale mencionar que a fração β -caseína é composta por 209 aminoácidos, sendo que as variantes A1 e A2 se diferem apenas em relação a um aminoácido da cadeia peptídica. A variante A1 na posição 67 possui uma histidina, enquanto a variante A2

contém uma prolina (Gatica e Alomar, 2017). Sugere-se que um dos fatores que colaboram para que o leite A2 apresente uma maior impedância e menor admitância, é devida a prolina ser classificada como um aminoácido apolar, ou seja, não possui carga elétrica livre e conseqüentemente, este tipo de leite exibe menor efeito de condução de carga. Por outro lado, a histidina, classificada como aminoácido básico, contém densidade elétrica, contribuindo para maior dissipação de carga no leite sem a certificação A2.

Por fim, as amostras de leite UHT sem a certificação A2 apresentaram maiores teores de cinzas (Figura 1), que estão inteiramente relacionados com os níveis de minerais presentes nas amostras (Cecchi, 2007). Segundo Mabrook e Petty (2003); sódio, potássio e cloreto são os principais responsáveis pela condutividade elétrica de leite, o que contribuiu de forma significativa para que estas amostras apresentassem menor impedância.

3.3 Comportamento reológico

A viscosidade é um parâmetro que influencia na qualidade e identidade do leite. O comportamento reológico do leite está relacionado com as propriedades físico-químicas dos glóbulos de gordura e proteínas. Estes constituintes são os mais afetados em relação aos processos térmicos e operações mecânicas, que conseqüentemente, afetam o seu perfil reológico (Vélez-Ruiz et al., 2009).

Na Figura 2 é apresentado o comportamento reológico das amostras de leite UHT A2 e AT (sem a certificação A2) de duas marcas comerciais. Pode-se observar nos reogramas, Figura 2A, que todas as amostras tenderam ao comportamento de fluido newtoniano, em ambas as temperaturas avaliadas (10 °C e 25 °C). Isso pode ser explicado pela relação praticamente linear entre a taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento, bem como pela tensão inicial de escoamento próximo a zero, o que resulta em um valor de viscosidade absoluta (μ) para cada tipo de leite UHT, marca e temperatura (Figura 2B). O modelo newtoniano que descreveu o comportamento reológico das amostras apresentou o coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,940$), indicando um bom ajuste do modelo.

Ainda na Figura 2A e 2B, foi possível constatar que o tipo de leite UHT (A2 e AT) não influenciou significamente na viscosidade absoluta das amostras ($p > 0,05$), em ambas as marcas comerciais e temperaturas de ensaio. Apresentando valores médios de μ iguais a 0,006 Pa.s, 0,004 Pa.s, 0,006 Pa.s e 0,005 Pa.s, para as marcas 1 e 2, mensurados a 25 °C e 10 °C, respectivamente. Isto indica que a composição aminoacídica da β -caseína das variantes A1 e A2 (ou demais variantes), não influenciou na corrente de fluxo das amostras de leite, resultando na mesma viscosidade para os leites UHT A2 e AT (sem certificação A2).

Zhao et al. (2023) avaliaram leite desnatado com adição de acetato de zinco com concentrações

de 0 e 20 mmol, a 20 °C. Ao aplicarem taxas de cisalhamento inferiores ($0,1$ e 50 s^{-1}), observaram o mesmo comportamento reológico obtido nas amostras de leite deste trabalho. Em contrapartida, em concentrações superiores a 22,5 mmol, o comportamento do fluido se tornou não newtoniano (pseudoplástico). Li et al. (2018) analisaram amostras de leite integral e desnatado, empregando uma taxa de cisalhamento de $0,01 \text{ s}^{-1}$ e 100 s^{-1} , o comportamento reológico dos leites corrobora com o relatado neste trabalho.

Na Figura 2C, pode-se observar o efeito da temperatura sob a viscosidade das amostras. Nota-se que a viscosidade dos leites variou de forma não expressiva, aproximadamente de 0,007 Pa.s a 0,005 Pa.s, quando as amostras foram submetidas a uma rampa de temperatura variando de 5 °C a 80 °C. Esse efeito já era esperado, pois o leite é um fluido não polimérico e homogêneo. Logo, o aumento da temperatura não influencia de forma muito pronunciada em sua viscosidade (Shiroma, 2012).

3.4 Composição de ácidos graxos

Estudos têm sido realizados com o intuito de correlacionar características genéticas do animal e o teor de gordura do leite (Samoré et al., 2012). No entanto, poucas pesquisas investigaram a relação entre os genótipos da β -caseína e a composição da fração de gordura do leite (De Vitte et al., 2022). Na Tabela 2 é apresentada a composição de ácidos graxos das amostras de leite UHT semidesnatado com a certificação A2 e sem a certificação A2. Em geral, foram identificados 32 compostos, que incluem 16 ácidos graxos saturados, 8 ácidos graxos monoinsaturados e 8 ácidos graxos poli-insaturados. Dentre eles, 5 são de cadeia curta, 7 de cadeia média e 20 de cadeia longa.

O leite é composto de alto teor de ácidos graxos saturados e baixa concentração de ácidos graxos poli-insaturados (De Vitte et al., 2022; Perna et al., 2016; George et al., 2009). Estas informações corroboram com os resultados obtidos neste trabalho, uma vez que os níveis dos ácidos graxos saturados constituem mais de 60% do total presente nas amostras, enquanto no máximo 5% da abundância dos ácidos graxos são poli-insaturados. Os ácidos graxos insaturados estão bem estabelecidos como compostos benéficos à saúde (Nguyen et al., 2024). Porém, estudos que relacionaram os ácidos graxos saturados e saúde apresentam resultados divergentes. Pesquisas demonstraram que o C16:0, C14:0 e C12:0 estão associados a um aumento nas concentrações plasmáticas de colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL), levando a um aumento potencial no risco de doenças cardiovasculares (Wang et al., 2022; Teng et al., 2017). Em contrapartida, outros estudos demonstraram que os mesmos compostos aumentam a concentração plasmática de colesterol de lipoproteína de alta densidade (HDL) (O'Donnell-Megaró et al., 2011) e, portanto, concluem que estes compostos não contribuem ao risco aterogênico (Mensink et al., 2003).

Em todas as amostras, os analitos mais abundantes foram o ácido palmítico (C16:0), ácido oleico (C18:1 *cis*-9) e ácido esteárico (C18:0), representando aproximadamente de 33-35%; 22-24% e 12-15% de abundância, respectivamente, enquanto o γ -C18:3; CLAS c12, t10; C20:1; C20:2 n6; C21:0, C22:0, C23:0 e C24:0 foram os minoritários. Os achados deste estudo estão em consonância com dos estudos de Martini et al. (2023), que avaliaram ácidos graxos bioativos em diferentes tipos de leite de vaca integral. As amostras também apresentaram maiores concentrações, com teores semelhantes, para o ácido palmítico (34,69 - 39,31 %) e ácido oleico (19,97 %). Entretanto, valores inferiores foram encontrados para o ácido esteárico (7,12 - 8,46 %). Cappozzo et al. (2015) analisaram amostras de leite UHT em diferentes tempos de tratamento (1,7 e 14 dias). Os compostos mais abundantes obtiveram concentrações de 32,14 - 33,04 % (ácido palmítico); 22,96 - 23,61% (ácido oleico) e 11,00 - 11,81 % (ácido esteárico).

Em relação à marca 1, os ácidos graxos C10:0; C12:0; C14:1; C15:0; C16:0; C16:1; C17:1; C18:0; C18:1 *trans*-11; C18:1 *cis*-7; C18:2; γ - C18:3; CLAS c9,t11; CLAS c12, t10; C20:0 e C20:4 n6 se diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre as duas amostras de leite. Por outro lado, os leites da marca 2, tiveram diferenças significativas ($p < 0,05$) para os compostos C11:0; C12:0; C15:0; C16:0; C18:1 *trans*-9; C18:1 *cis*-7; γ - C18:3; CLAS c9, t11; CLAS c12, t10; C20:1; C20:4 n6; C21:0; C22:0; C20:1, C23:0 e C24:0. Pode-se observar para ambas as marcas, que a maioria dos compostos que se diferiram entre as amostras são ácidos graxos de cadeia média e longa, e entre os insaturados, prevaleceram os monoinsaturados. Além disso, os ácidos graxos C23:0 e C24:0 não foram identificados no leite A2 da marca 1 e o C18:1 *trans*-9, no leite A2 da marca 2. No leite sem a certificação A2 da marca 1, não foi identificado o γ - C18:3. Em relação aos valores médios (considerando as marcas 1 e 2), foi verificado que os compostos que não se diferenciaram estatisticamente ($p > 0,05$) foram o C18:1 *trans*-9 α -C18:3 e o C20:1. Ademais, foi constatada maior abundância de todos os ácidos graxos de cadeia curta no leite A2. O ácidoláurico (C12:0) e o isômero ácido oleico (C18:1 *cis*-7) foram mais abundantes em todas as amostras de leite A2.

Na pesquisa científica de De Vitte et al. (2022) foram avaliadas amostras de leite de vaca cru com diferentes genótipos de β -caseína (A1A1, A1A2 e A2A2). Alguns resultados corroboram com os encontrados no presente estudo. Os autores também observaram diferenças significativas entre os ácidos graxos de cadeia média e longa, e entre os ácidos graxos monoinsaturados quanto às amostras investigadas. No leite A2A2, encontraram-se maiores teores dos ácidos graxos monoinsaturados; ácido palmitoleico, ácido heptadecanóico e ácido elaídico e do total dos ácidos graxos poli-insaturados em relação aos leites A1A2 e A1A1. Por outro lado, o leite A2A2 apresentou menor concentração total de ácidos graxos saturados em comparação com os leites dos outros genótipos.

Ainda na Tabela 2 é possível observar os valores de n-3, n-6 e a proporção de n-6/n-3. Os

valores obtidos para a razão n-6/n-3 variaram de 3,66 a 7,82. Não foi possível observar uma relação entre n-6/n-3 e os genótipos de beta caseína do leite. Martini et al. (2023) obtiveram, em geral, valores para o leite de vaca cru de 3,68 e pasteurizado de 3,65. A razão desequilibrada n-6:n-3 em favor dos ácidos graxos poli-insaturados n-6 é extremamente pró-trombótica e pró-inflamatória, o que contribui para a ocorrência da aterosclerose, obesidade e diabetes (Mukhametov et al., 2022). Estudos demonstraram que uma proporção elevada de n-6 para n-3 está relacionada ao agravamento da inflamação, a exemplo da inflamação cerebral (Balić et al., 2020; Hsieh et al., 2020). Como o ômega-3 e o ômega-6 competirão na membrana celular, é muito importante equilibrar adequadamente a proporção desses compostos para estimular o estado anti-inflamatório (Mukhametov et al., 2022).

Em todas as amostras avaliadas, foram identificados dois ácidos graxos conjugados: ácido linoleico conjugado-c9, t11 (CLAS c9, t11) e ácido linoleico conjugado-c12, t10 (CLAS c12, t10), sendo o primeiro em maior concentração. O leite A2 de todas as marcas apresentou menor abundância dos dois compostos em relação ao leite sem certificação do tipo de β -caseína. Estudos demonstraram que esses compostos têm atividade anticarcinogênese, antiaterosclerótica, antidiabética e anti-inflamatória, além de contribuírem na redução da gordura corporal (Badawy et al., 2023; Dipasquale et al., 2018; Dilzer et al., 2012).

4. Conclusão

A variante genética da beta-caseína presente nos leites comerciais do tipo UHT, de diferentes marcas brasileiras, conferiu diferença na caracterização físico-química e elétrica. Porém, apresentaram comportamento reológico semelhante. Todas as amostras de leite A2 apresentaram maior densidade relativa, teor de gordura, de proteínas e de sólidos totais, e menores concentrações de cinzas e sólidos não gordurosos. A espectroscopia de impedância elétrica, método analítico promissor de aplicação em alimentos, foi capaz de discriminar o leite A2 das outras amostras investigadas. Embora os leites com genótipos da β -caseína A2 e aqueles sem a certificação A2 possuem o mesmo comportamento elétrico, o leite A2 apresentou maior impedância (módulo, partes real e imaginária) e menor admitância. Quanto ao comportamento reológico, as amostras foram classificadas como fluidos newtonianos e o tipo de genótipo de β -caseína não influenciou na viscosidade das amostras de leite UHT a 10 °C e 25 °C. O leite UHT é rico em ácido palmítico, seguido de ácido oleico e esteárico. Em geral, todas as amostras possuem o mesmo perfil de ácidos graxos, no entanto, o ácido láurico e o isômero ácido oleico (C18:1 cis-7) foram mais abundantes no leite A2. Por outro lado, o ácido linoleico conjugado c9, t11 e c12, t10 foram os mais expressivos em leite sem a certificação A2. Nesse sentido, pode-se concluir que existem possíveis marcadores do leite A2, além da composição da β -caseína. No entanto, trabalhos futuros são necessários

empregando maior número de amostras e outros métodos de análises a fim de obter mais informações acerca desse produto.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pela parceria na realização das análises.

6. Referências bibliográficas

ABLV. (2022). Associação Brasileira da Indústria de Leite Longa Vida. Relatório Anual.

ABLV. (2016). Associação Brasileira da Indústria do Leite Longa Vida (ABLV). ABLV aponta crescimento do setor leiteiro.

ANDIÇ, Seval., AYZAZ, Rozelin Münevver., ŞEHRIBAN, O. Ğ. U. Z. (2021). A1 milk and beta-casomorphin-7. Food and Health, v. 7, n. 2, p. 128-137.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (2016). Official Methods of Analysis, 18th edition. Washington, USA.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (2006). Official Methods of Analysis, 18th edition. Washington, USA.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (2005). Official Methods of Analysis, 18th edition. Washington, USA.

Badawy, S., Liu, Y., Guo, M., Liu, Z., Xie, C., Marawan, M. A., Ares, I., Lopez-Torres, B., Martínez, M., Maximiliano, J.E., Martínez-Larrañaga, M.R., Anadón, A. & Martínez, M. A. et al. (2023). Conjugated linoleic acid (CLA) as a functional food: Is it beneficial or not?. Food Research International, p. 113158.

Balić, A., Vlašić, D., Žužul, K., Marinović, B., & Bukvić Mokos, Z. (2020). Omega-3 versus omega-6 polyunsaturated fatty acids in the prevention and treatment of inflammatory skin diseases. International Journal of Molecular Sciences, 21(3), 741.

Bisutti, V., Pegolo, S., Giannuzzi, D., Mota, L. F. M., Vanzin, A., Toscano, A., Trevisi, E., Marsan, P.A., Brasca, M., & Cecchinato, A (2022). The β -casein (CSN2) A2 allelic variant alters milk protein profile and slightly worsens coagulation properties in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v. 105, n. 5, p. 3794-3809.

Bligh, E. G.; Dyer, W. J. (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37 (8), 911-917.

Brasil. (2017). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Decreto nº 9.013 de 29/03/2017.

Brasil. (1997). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Portaria nº 370 de 04/09/1997.

Cappozzo, Jack C.; Koutchma, Tatiana; Barnes, Gail. (2015). Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies. *Journal of Dairy Science*, v. 98, n. 8, p. 5068-5079.

Cecchi, H. M. (2007). *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. Editora da UNICAMP.

Chinaglia, D. L., Gozzi, G., Alfaro, R. A. M., & Hessel, R. (2008). Espectroscopia de impedância no laboratório de ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30, 4504-1.

Chitra, P. (2022). Bovine milk: A1 and A2 beta casein milk proteins and their impact on human health: a review. *Agricultural Reviews*, 43(3), 374-378.

Couvreur, S., Hurtaud, C., Lopez, C., Delaby, L., & Peyraud, J. L. (2006). The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet, milk fatty acid composition, and butter properties. *Journal of dairy science*, v. 89, n. 6, p. 1956-1969.

Dantas, A., Kumar, H., Prudencio, E. S., de Avila Junior, L. B., Orellana-Palma, P., Dosoky, N. S., Nepovimova, E., Kuča, K., Cruz-Martins, N., Verma, R., Manicham, S., Valko, M., Kumar, D. An approach on detection, quantification, technological properties, and trends market of A2 cow milk. (2023). *Food Research International*, p. 112690.

De Vitte, K., Kerziene, S., Klementavičiūtė, J., De Vitte, M., Mišeikienė, R., Kudlinskienė, I.,

Čepaitė, J., Dilbiene, V., Stankevičius, R. & Stankevičius, R. (2022). Relationship of β -casein genotypes (A1A1, A1A2 and A2A2) to the physicochemical composition and sensory characteristics of cows' milk. *Journal of Applied Animal Research*, v. 50, n. 1, p. 161-166.

Dipasquale, D., Basiricò, L., Morera, P., Primi, R., Tröscher, A., & Bernabucci, U. (2018). Anti-inflammatory effects of conjugated linoleic acid isomers and essential fatty acids in bovine mammary epithelial cells. *Animal*, v. 12, n. 10, p. 2108-2114.

Dilzer, Allison; Park, Yeonhwa. (2012). Implication of conjugated linoleic acid (CLA) in human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 52, n. 6, p. 488-513.

Da Silva, Priscila Ferreira; Bianchessi, Anna Lucia Vieira; De Freitas, Bheatriz Silva Morais. (2016). Análises microbiológicas e físico-químicas de leites pasteurizados e UHT, comercializados na cidade de Rio Verde. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Rio Verde.

Fan, Y., Han, Z., Lu, X., Zhang, H., Arbab, A. A. I., Loo, J. J., Yang, Y., & Yang, Z. (2020). Identification of milk fat metabolism-related pathways of the bovine mammary gland during mid and late lactation and functional verification of the ACSL4 gene. *Genes*, v. 11, n. 11, p. 1357.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. (2017). *Fundamentals of cheese science*. Boston, MA, USA: Springer.

Fernández Fernández, E., Martínez Hernández, J. A., Martínez Suárez, V., Moreno Villares, J. M., Collado Yurrita, L. R., Hernández Cabria, M., & Morán Rey, F. J. (2015). Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutrición hospitalaria*, v. 31, n. 1, p. 92-101.

Ferreira, E. E., Brandão, P. R. G., Klein, B., & Peres, A. E. C. (2005). Reologia de suspensões minerais: uma revisão. *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 58, n. 1, p. 83-87.

Garg, L., Chauhan, G., & Kumar, K. (2021). A-glucosidase and α -amylase inhibitory properties of A1 and A2 cow milk casein hydrolysate. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(02), 2210-2217.

Gatica, C.; Alomar, D. (2017). Variantes genéticas de beta caseína bovina: Implicancia en la producción, características tecnológicas de la leche y la salud humana. *Agro sur*, v. 45, n. 3, p. 29-

George J, Struthers AD. (2009). Role of urate, xanthine oxidase and the effects of allopurinol in vascular oxidative stress. *Vasc Health Risk Manag.* 5 (1):265–272.

Giribaldi, M., Lamberti, C., Cirrincione, S., Giuffrida, M. G., & Cavallarin, L. (2022). A2 milk and BCM-7 peptide as emerging parameters of milk quality. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, p.842375.

Grossi, M., Lanzoni, M., Lazzarini, R., & Riccò, B. (2012). Automatic ice-cream characterization by impedance measurements for optimal machine setting. *Measurement*, v. 45, n. 7, p. 1747-1754.

Grossi, Marco; Riccò, Bruno. (2017). Electrical impedance spectroscopy (EIS) for biological analysis and food characterization: A review. *Journal of sensors and sensor systems*, v. 6, n. 2, p. 303-325.

Hartman, L., Lago, R.C. (1973). Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab Pract* 22, 475–476.

Hsieh, M., Hsu, W., Wang, J., Wang, Y., Hu, H., Chang, W., Chen, C., Wu, D., Kuo, F., & Su, W. (2020). Nutritional and dietary strategy in the clinical care of inflammatory bowel disease. *Journal of the Formosan Medical Association*, 119(12), 1742-1749.

Huang, J., Zhang, L., Lan, H., & Zhou, P (2022). How to adjust α -lactalbumin and β -casein ratio in milk protein formula to give a similar digestion pattern to human milk?. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 110, p. 104536.

Ho, S., Woodford, K., Kukuljan, S., & Pal, S. (2014). Comparative effects of A1 versus A2 beta-casein on gastrointestinal measures: a blinded randomised cross-over pilot study. *European journal of clinical nutrition*, v. 68, n. 9, p. 994-1000.

He, M., Sun, J., Jiang, Z. Q., & Yang, Y. X. (2017). Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: a multicentre, randomised controlled study. *Nutrition journal*, v. 16, p. 1-12.

IBGE.Brasília, DF, (2023).<https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>.

Jia, W., Du, A., Fan, Z., & Shi, L. (2022). Novel top-down high-resolution mass spectrometry- based metabolomics and lipidomics reveal molecular change mechanism in A2 milk after CSN2 gene mutation. *Food Chemistry*, v. 391, p. 133270.

Jianqin, S., Leiming, X., Lu, X., Yelland, G. W., Ni, J., & Clarke, A. J. (2015). Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutrition journal*, v. 15, p. 1-16.

Jung, T. H., Hwang, H. J., Yun, S. S., Lee, W. J., Kim, J. W., Ahn, J. Y., Jeon, W.M. & Han, K. S. (2017). Hypoallergenic and Physicochemical Properties of the A2 β -Casein Fraction of Goat Milk. *Korean journal for food science of animal resources*, v. 37, n. 6, p. 940.

Kaplan, M., Baydemir, B., Günar, B. B., Arslan, A., Duman, H., & Karav, S. (2022). Benefits of A2 milk for sports nutrition, health and performance. *Frontiers in Nutrition*, v. 9, p. 935344.

Li, S; Ye A; Singh, H. (2021). Physicochemical changes and age gelation in stored UHT milk: Seasonal variations. *International Dairy Journal*, v. 118, p. 105028.

Li, X., Spencer, G. W., Ong, L., & Gras, S. L. (2022). Beta casein proteins—A comparison between caprine and bovine milk. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 30-43.

Li, Y., Joyner, H. S., Lee, A. P., & Drake, M. A. (2018). Impact of pasteurization method and fat on milk: Relationships among rheological, tribological, and astringency behaviors. *International Dairy Journal*, v. 78, p. 28-35.

Lima, L. K. R., Santos, I. T. C., Silva, B. D. L., Anjos, V. C, Bell, M. J. V., & Nascimento, W. W. G. (2022). Electrical characterization of milk samples by Electrical Impedance Spectroscopy(EIS). *Quarks: Brazilian Electronic Journal of Physics, Chemistry and Materials Science*, 4.

Lopes, A. M., Machado, J. A. T., Ramalho, E., & Silva, V. (2018). Milk Characterization Using Electrical Impedance Spectroscopy and Fractional Models. *Food Analytical Methods*, 11, 901– 912.

Mabrook, M. F; Petty, M. C. (2003). Effect of composition on the electrical conductance of

milk. *Journal of food engineering*, v. 60, n. 3, p. 321-325.

Martini, M., Altomonte, I., Sodi, I., Vasylieva, Y., & Salari, F. (2023). Sterol, tocopherol, and bioactive fatty acid differences between conventional, high-quality, and organic cow milk. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8239-8248.

Martins, A. M. C. V., Rossi Junior, O. D., Salotti, B. M., Bürger, K. P., Cortez, A. L. L., & Cardozo, M. V. (2008). Efeito do processamento UAT (Ultra Alta Temperatura) sobre as características físico-químicas do leite. *Food Science and Technology*, v. 28, p. 295-298.

Meira, A. C. F. O., Morais, L. C., Paula, M. M. O., Pinto, S. M., & Resende, J. V. (2023). Application of electrical impedance spectroscopy for the characterisation of yoghurts. *International Dairy Journal*, 141, 105625.

Mendes, M. O., De Morais, M. F., Rodrigues, J. F. (2019). A2A2 milk: Brazilian consumers' opinions and effect on sensory characteristics of Petit Suisse and Minas cheeses. *LWT*, v. 108, p. 207-213.

Mensink, R. P., Zock, P. L., Kester, A. D. M., & Katan, M. B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: A meta-analysis of 60 controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(5), 1146–1155.

Mukhametov, A., Yerbulekova, M., Aitkhozhayeva, G., Tuyakova, G., & Dautkanova, D. (2022). Effects of ω -3 fatty acids and ratio of ω -3/ ω -6 for health promotion and disease prevention. *Food Science and Technology*, v. 42, p. e58321.

Neves, A. C.; Moreira, P. I. O.; Ribeiro, L. F. (2021). Avaliação físico-química de diferentes marcas de leite ultra high temperatura (UHT). *Revista Getec*, v. 10, n. 26.

Nguyen, D. D., Solah, V. A., Hunt, W., Daubney, S., Meek, J., Whiley, N. G., & Du, X. (2024). Fatty acid profiling of Western Australian pasteurised milk using gas chromatography-mass spectrometry. *Food Research International*, 114050.

Nguyen, H. T., Schwendel, H., Harland, D., & Day, L (2018). Differences in the yoghurt gel microstructure and physicochemical properties of bovine milk containing A1A1 and A2A2 β -casein

phenotypes. *Food Research International*, v. 112, p. 217-224.

O'Donnell-Megaró, A. M., Barbano, D. M., & Bauman, D. E. (2011). Survey of the fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 59–65.

Perna, A., Intaglietta, I., Simonetti, A., & Gambacorta, E. (2016). The influence of casein haplotype on morphometric characteristics of fat globules and fatty acid composition of milk in Italian Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v. 99, n. 4, p. 2512-2519.

Poulsen, N. A., Bertelsen, H. P., Jensen, H. B., Gustavsson, F., Glantz, M., Månsson, H. L. Andrén, A., Paulsson, M., Bendixen, C., Buitenhuis, A.J., & Larsen, L. B. (2013). The occurrence of noncoagulating milk and the association of bovine milk coagulation properties with genetic variants of the caseins in 3 Scandinavian dairy breeds. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 8, p. 4830-4842.

Samoré, A.B., Canavesi, F., Rossoni, A., Bagnato, A. (2012). Genetics of casein content in Brown Swiss and Holstein dairy cattle breeds. *Italian Journal of Animal Science*. 11(2):96–202.

Şahin, Ö., Boztepe, S., & AYTEKIN, İ. (2018). A1 and A2 bovine milk, the risk of beta-casomorphin-7 and its possible effects on human health:(II) Possible effects of beta-casomorphin-7 on human health. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32, 640-645..

Shiroma, P. H. (2012). Estudo do comportamento reológico de suspensões aquosas de bentonita e CMC: influência da concentração do NaCl. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Semwal, R., Joshi, S. K., Semwal, R. B., Sodhi, M., Upadhyaya, K., & Semwal, D. K. (2022). Effects of A1 and A2 variants of β -casein on human health—is β -casomorphin-7 really a harmful peptide in cow milk?. *Nutrire*, v. 47, n. 1, p. 8.

Teng, F., Wang, P., Yang, L., Ma, Y., & Day, L. (2017). Quantification of Fatty Acids in Human, Cow, Buffalo, Goat, Yak, and Camel Milk Using an Improved One-Step GCFID Method. *Food Analytical Methods*, 10, 2881–2891.

Vélez-Ruiz, J. F., Barbosa Cánovas, G. V., & Peleg, M. (2009). Rheological properties of selected dairy products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 37(4), 311-359.

Visentainer J. V. (2012). Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. *Quim Nova*, 19, 380-385.

Wang, F., Chen, M., Luo, R., Huang, G., Wu, X., Zheng, N., Zhang, Y., & Wang, J. (2022). Fatty acid profiles of milk from Holstein cows, Jersey cows, buffalos, yaks, humans, goats, camels, and donkeys based on gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1687–1700.

Wang, Y., Feng, K., Jin, J., Murad, M. S., Mu, G., & Wu, X (2022). Comparison on properties between normal and A2 bovine milk fermented using commercial bacteria mixed with/without two probiotics from human milk. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 216, p. 105-113.

Zancan, N. A. (2012). Composição e quantificação de ácidos graxos de leite UHT integral, desnatado, semidesnatado e em pó integral comercializados em supermercados da cidade de Campinas/SP. Tese de Doutorado.

Zhao, Shuang; OH, H. Eustina; Wong, Marie., 2023. Physicochemical and rheological properties of skim milk with different added zinc salts. *International Dairy Journal*, v. 140, p. 105584.

Tabela 1. Caracterização físico-química de leites UHT semidesnatados de diferentes marcas comerciais.

Parâmetros	Marca 1		Marca 2		Marcas 1 e 2*	
	Leite A2	Leite AT	Leite A2	Leite AT	Leite A2	Leite AT
pH	6,79 ± 0,02 ^a	6,80 ± 0,02 ^a	6,80 ± 0,02 ^a	6,77 ± 0,00 ^a	6,80 ± 0,02 ^a	6,78 ± 0,02 ^a
Acidez titulável (% ácido láctico)	0,15 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,00 ^a	0,15 ± 0,00 ^a
Densidade relativa a 15 °C (g/L)	1,035 ± 0,00 ^a	1,033 ± 0,00 ^b	1,034 ± 0,00 ^a	1,032 ± 0,00 ^b	1,034 ± 0,00 ^a	1,033 ± 0,00 ^b
Umidade (%)	88,89 ± 0,04 ^b	89,82 ± 0,02 ^a	89,27 ± 0,56 ^a	89,90 ± 0,08 ^a	88,93 ± 0,41 ^b	89,84 ± 0,07 ^a
Cinzas (%)	0,79 ± 0,00 ^b	0,82 ± 0,00 ^a	0,77 ± 0,00 ^b	0,84 ± 0,02 ^a	0,77 ± 0,02 ^b	0,83 ± 0,02 ^a
Gordura (%)	2,03 ± 0,15 ^a	1,00 ± 0,06 ^b	2,20 ± 0,10 ^a	1,03 ± 0,06 ^b	2,20 ± 0,15 ^a	1,00 ± 0,06 ^b
Proteínas (%)	3,76 ± 0,11 ^a	3,50 ± 0,08 ^b	3,53 ± 0,06 ^a	3,23 ± 0,15 ^b	3,64 ± 0,05 ^a	3,26 ± 0,05 ^b
Sólidos não gordurosos (%)	9,08 ± 0,13 ^a	9,18 ± 0,05 ^a	8,53 ± 0,60 ^b	9,07 ± 0,10 ^a	8,92 ± 0,48 ^a	9,16 ± 0,08 ^a
Sólidos totais (%)	11,11 ± 0,04 ^a	10,18 ± 0,02 ^b	10,73 ± 0,06 ^a	10,10 ± 0,08 ^b	11,07 ± 0,41 ^a	10,16 ± 0,06 ^b

Leite AT: leite comumente comercializado, oriundo de vacas com genótipo de β -caseína não identificado, podendo ser de variantes genéticas A1, A2 ou outras formas. (Média \pm desvio padrão). *Valores médios considerando o leite UHT da marca 1 e 2. Médias seguidas pela mesma letra para cada parâmetro, em relação à marca e da média geral das duas marcas, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pela ANOVA.

Tabela 2. Composição de ácidos graxos de leites UHT semidesnatados de diferentes marcas comerciais.

Ácido graxo	Marca 1		Marca 2		Marcas 1 e 2*	
	Leite A2	Leite AT	Leite A2	Leite AT	Leite A2	Leite AT
Ácido butírico (C4:0)	0,88 ± 0,15 ^a	0,77 ± 0,02 ^a	0,81 ± 0,08 ^a	0,84 ± 0,03 ^a	0,85 ± 0,11 ^a	0,81 ± 0,03 ^b
Ácido capróico (C6:0)	0,79 ± 0,10 ^a	0,68 ± 0,01 ^a	0,76 ± 0,07 ^a	0,76 ± 0,03 ^a	0,78 ± 0,08 ^a	0,72 ± 0,02 ^b
Ácido caprílico (C8:0)	0,64 ± 0,06 ^a	0,54 ± 0,01 ^a	0,62 ± 0,04 ^a	0,62 ± 0,02 ^a	0,63 ± 0,05 ^a	0,58 ± 0,02 ^b
Ácido cáprico (C10:0)	1,81 ± 0,12 ^a	1,43 ± 0,01 ^b	1,89 ± 0,10 ^a	1,76 ± 0,04 ^a	1,85 ± 0,11 ^a	1,60 ± 0,03 ^b
Ácido undecanóico (C11:0)	0,11 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,02 ^a	0,12 ± 0,01 ^a	0,09 ± 0,03 ^b	0,12 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,03 ^b
Ácido láurico (C12:0)	2,57 ± 0,10 ^a	2,21 ± 0,02 ^b	2,77 ± 0,11 ^a	2,52 ± 0,03 ^b	2,67 ± 0,10 ^a	2,37 ± 0,03 ^b
Ácido tridecanóico (C13:0)	0,12 ± 0,00 ^a	0,12 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,01 ^b
Ácido mirístico (C14:0)	9,87 ± 0,17 ^a	9,96 ± 0,05 ^a	10,46 ± 0,29 ^a	9,88 ± 0,04 ^a	10,17 ± 0,23 ^a	9,92 ± 0,05 ^b
Ácido miristoleico (C14:1)	0,67 ± 0,02 ^b	0,99 ± 0,00 ^a	0,73 ± 0,03 ^a	0,69 ± 0,01 ^a	0,70 ± 0,02 ^b	0,84 ± 0,01 ^a
Ácido pentadecanóico (C15:0)	1,02 ± 0,01 ^b	1,32 ± 0,02 ^a	1,27 ± 0,03 ^a	1,08 ± 0,01 ^b	1,15 ± 0,02 ^b	1,20 ± 0,02 ^a
Ácido palmítico (C16:0)	33,29 ± 0,26 ^b	34,93 ± 0,04 ^a	34,50 ± 0,43 ^a	33,23 ± 0,52 ^b	33,90 ± 0,34 ^b	34,08 ± 0,28 ^a
Ácido palmitoleico (C16:1)	2,19 ± 0,02 ^b	2,99 ± 0,01 ^a	2,38 ± 0,02 ^a	2,35 ± 0,06 ^a	2,29 ± 0,02 ^b	2,67 ± 0,04 ^a
Ácido heptadecanóico (C17:1)	0,57 ± 0,01 ^b	0,79 ± 0,01 ^a	0,60 ± 0,01 ^a	0,61 ± 0,01 ^a	0,59 ± 0,01 ^b	0,70 ± 0,01 ^a
Ácido esteárico (C18:0)	14,54 ± 0,33 ^a	12,86 ± 0,06 ^b	13,15 ± 0,38 ^a	13,46 ± 0,54 ^a	13,85 ± 0,35 ^a	13,16 ± 0,3 ^b
Ácido elaidico (C18:1 <i>trans</i> -9)	0,46 ± 0,07 ^a	0,47 ± 0,07 ^a	n.d	0,45 ± 0,05	0,46 ± 0,07 ^a	0,46 ± 0,06 ^a
Ácido vacênico (C18:1 <i>trans</i> -11)	1,57 ± 0,07 ^b	2,32 ± 0,06 ^a	2,52 ± 0,04 ^a	2,49 ± 0,09 ^a	2,05 ± 0,05 ^b	2,41 ± 0,08 ^a
Ácido oleico (C18:1 <i>cis</i> -9)	23,35 ± 0,20 ^a	23,52 ± 0,07 ^a	22,21 ± 0,39 ^a	23,41 ± 0,46 ^a	22,78 ± 0,30 ^b	23,47 ± 0,27 ^a
Isômero ácido oleico (C18:1 <i>cis</i> -7)	0,63 ± 0,00 ^a	0,52 ± 0,01 ^b	0,73 ± 0,02 ^a	0,64 ± 0,01 ^b	0,68 ± 0,00 ^a	0,58 ± 0,01 ^b
Ácido linoleico (C18:2)	3,44 ± 0,04 ^a	1,50 ± 0,03 ^b	2,83 ± 0,09 ^a	3,28 ± 0,23 ^a	3,14 ± 0,07 ^a	2,39 ± 0,13 ^b
Ácido γ – linolênico (γ – C18:3)	0,01 ± 0,00	n.d	0,02 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,00 ^b
Ácido α – linolênico (α – C18:3)	0,38 ± 0,00 ^a	0,39 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,03 ^a	0,35 ± 0,09 ^a	0,37 ± 0,02 ^a	0,37 ± 0,05 ^a
Ácido linoleico conjugado-c9, t11 (CLAS c9, t11)	0,26 ± 0,02 ^b	0,58 ± 0,01 ^a	0,25 ± 0,00 ^b	0,38 ± 0,01 ^a	0,26 ± 0,01 ^b	0,48 ± 0,01 ^a
Ácido linoleico conjugado-c12, t10 (CLAS c12, t10)	0,09 ± 0,01 ^b	0,16 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,01 ^b	0,11 ± 0,00 ^a	0,10 ± 0,01 ^b	0,14 ± 0,01 ^a
Ácido araquídico (C20:0)	0,16 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,01 ^b	0,16 ± 0,01 ^a	0,18 ± 0,01 ^a	0,16 ± 0,01 ^a	0,13 ± 0,01 ^b

Ácido eicosenóico (C20:1)	0,03 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,00 ^a	0,04 ± 0,01 ^a
Ácido dihomoma α linolênico (C20:3 <i>cis</i> n3,6,9)	0,13 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,00 ^a	0,11 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,00 ^a	0,12 ± 0,01 ^b	0,08 ± 0,00 ^a
Ácido eicosadienóico (C20:2 n6)	0,06 ± 0,00 ^a	0,07 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,00 ^a
Ácido araquidênico (C20:4 n6)	0,17 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,01 ^b	0,13 ± 0,00 ^b	0,15 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,12 ± 0,01 ^b
Ácido heneicosanóico (C21:0)	0,01 ± 0,00 ^a	0,03 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a
Ácido beênico (C22:0)	0,03 ± 0,00 ^a	0,08 ± 0,00 ^a	0,05 ± 0,00 ^b	0,06 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,00 ^b	0,07 ± 0,01 ^a
Ácido tricosenóico (C23:0)	n.d	0,04 ± 0,00	0,02 ± 0,00 ^b	0,03 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,00 ^b	0,04 ± 0,00 ^a
Ácido lignocérico (C24:0)	n.d	0,05 ± 0,01	0,02 ± 0,01 ^b	0,03 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,01 ^b	0,04 ± 0,01 ^a
ΣAGS	65,84	65,20	66,78	64,69	66,37	64,97
ΣAGMI	29,47	31,64	29,21	30,68	29,59	31,17
ΣAGPI	4,54	2,84	3,84	4,46	4,22	3,68
ΣAGCC	4,23	3,52	4,20	4,07	4,23	3,81
ΣAGCM	49,73	52,52	52,27	49,87	51,02	51,20
ΣAGCL	45,89	43,64	43,36	45,89	44,93	44,81
n-3	0,51	0,45	0,46	0,45	0,49	0,45
n-6	3,68	1,65	3,03	3,52	3,37	2,61
n-6/n-3	7,21	3,66	6,59	7,82	6,88	5,80

Leite AT: leite comumente comercializado, oriundo de vacas com genótipo de β-caseína não identificado, podendo ser de variantes genéticas A1, A2 ou outras formas. Dados expressos em % (Média ± desvio padrão). *Valores médios considerando o leite UHT da marca 1 e 2. Médias seguidas pela mesma letra para cada ácido graxo, em relação a cada marca e da média geral das duas marcas, não diferem estatisticamente ($p > 0,05$) pela ANOVA. AGS: Ácidos Graxos Saturados; AGMI: Ácidos Graxos Monoinsaturados; AGPI: Ácidos Graxos Poli-insaturados; AGCC: Ácidos Graxos de Cadeia Curta (C₄-C₁₁); AGCM: Ácidos Graxos de Cadeia Média (C₁₂-C₁₆); AGCL: Ácidos Graxos de Cadeia Longa (C₁₇-C₂₄); n-3: ΣÁcido α – linolênico (α – C18:3), Ácido dihomoma α linolênico (C20:3 *cis* n3,6,9); n-6: Σ Ácido linoleico (C18:2), Ácido γ – linolênico (γ – C18:3), Ácido eicosadienóico (C20:2 n6), Ácido araquidênico (C20:4 n6); n.d: Não detectado.

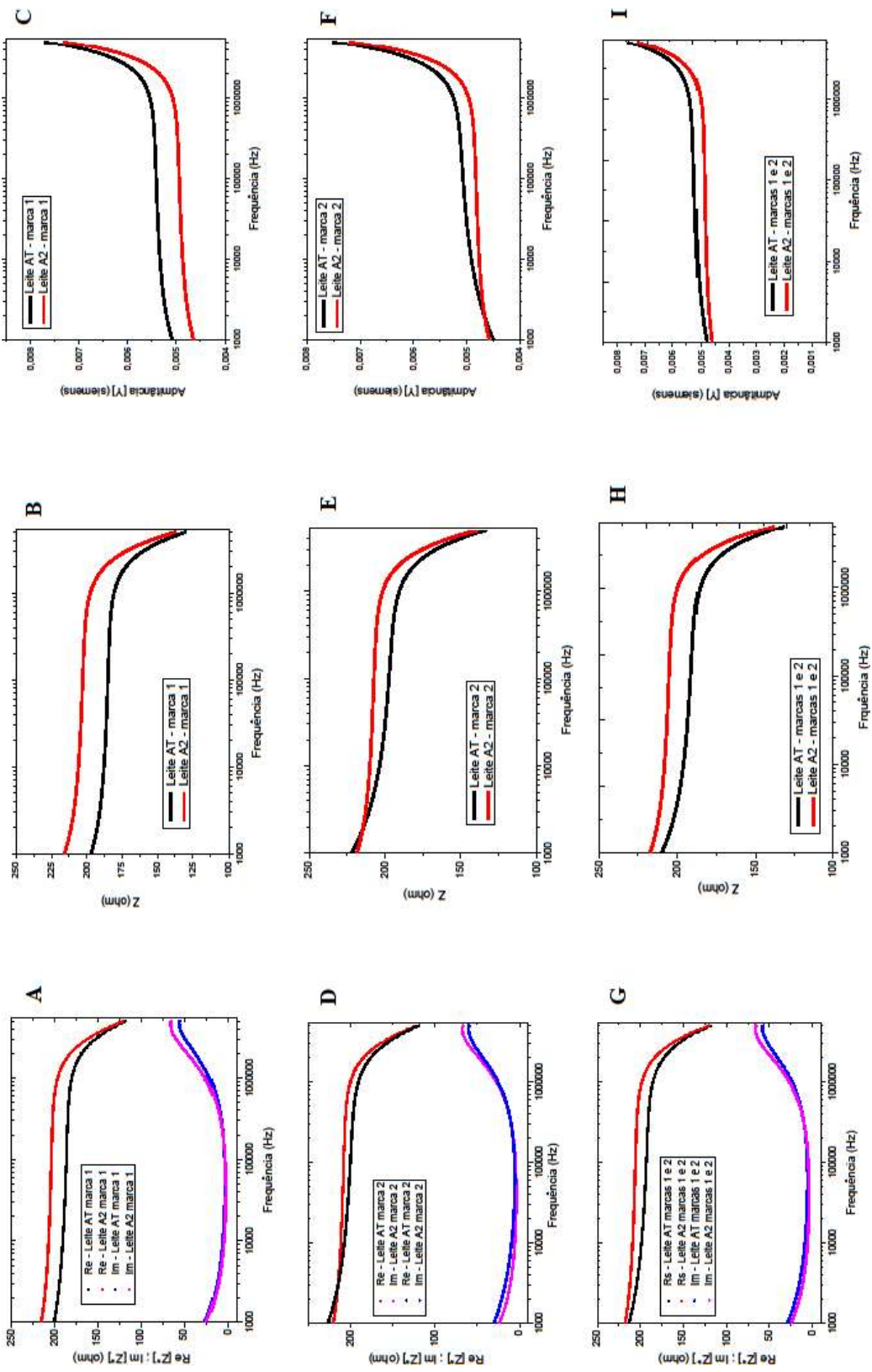


Figura 1. Caracterização elétrica de leites UHT semidesnatados. A) Espectro da parte real e imaginária da impedância – marca 1, B) Espectro do módulo da impedância – marca 1, C) Espectro da Admitância – marca 1, D) Espectro da parte real e imaginária da impedância – marca 2, E) Espectro do módulo da impedância – marca 2, F) Espectro da Admitância – marca 2, G) Espectro da parte real e imaginária da impedância – média da marca 1 e 2, H) Espectro do módulo da impedância – média da marca 1 e 2, I) Espectro da Admitância – média da marca 1 e 2, em função da frequência. Leite AT: leite comumente comercializado, oriundo de vacas com genótipo de β -caseína não identificado, podendo ser de variantes genéticas A1, A2 ou outras formas.

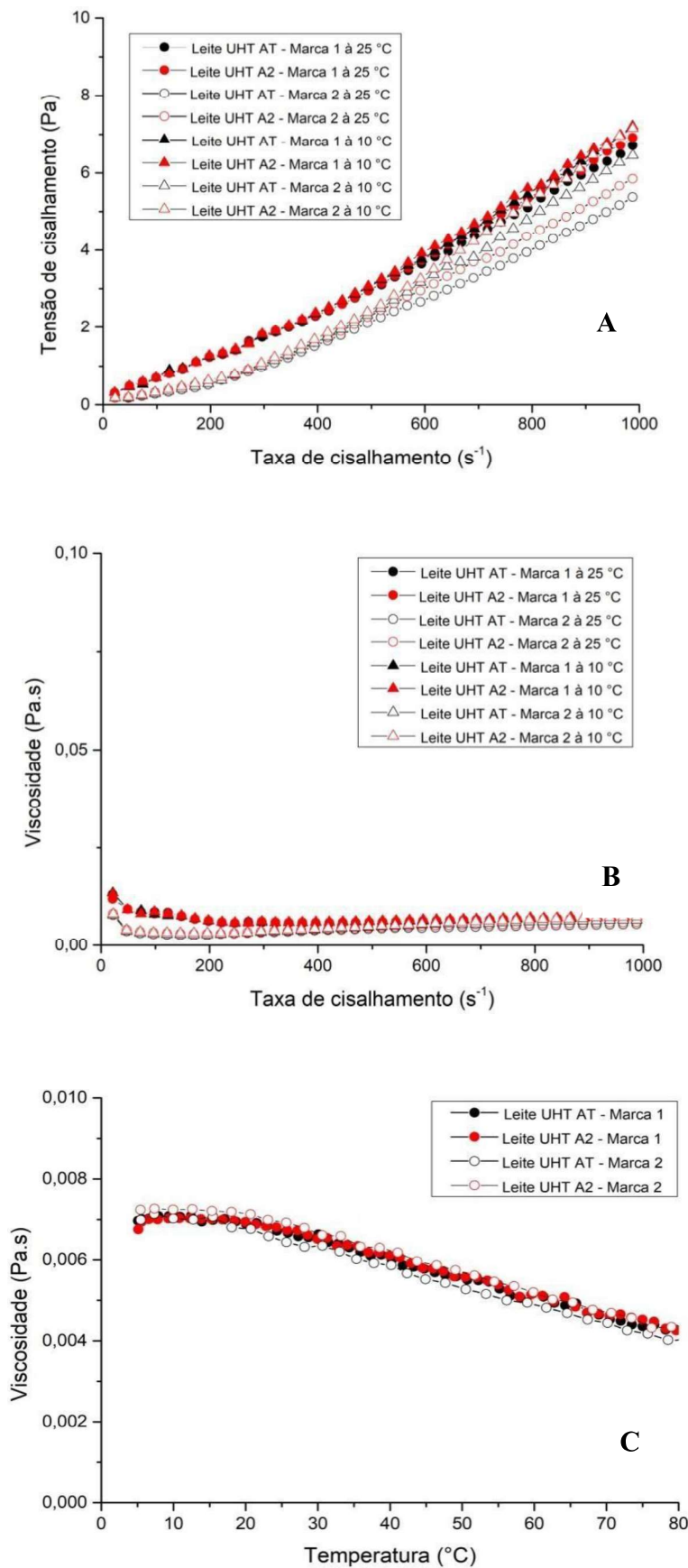


Figura 2. Comportamento reológico de amostras de leites UHT semidesnatados. Relação entre A) Taxa de cisalhamento e Tensão de cisalhamento, B) Taxa de cisalhamento e Viscosidade e C) Temperatura e Viscosidade. Leite AT: leite comumente comercializado, oriundo de vacas com genótipo de β -caseína não identificado, podendo ser de variantes genéticas A1, A2 ou outras formas.