



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

MARIA FERNANDA CARVALHO DUARTE

**CLASSIFICAÇÃO DO LEITE PARA PRODUÇÃO DE QUEIJOS UTILIZANDO
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

PAU DOS FERROS - RN

2025

MARIA FERNANDA CARVALHO DUARTE

**CLASSIFICAÇÃO DO LEITE PARA PRODUÇÃO DE QUEIJOS UTILIZANDO
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Computação.

Orientador: Cecilio de Souza Martins, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS - RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D812c Duarte, Maria Fernanda Carvalho.
Classificação do leite para produção de queijos
utilizando inteligência artificial / Maria
Fernanda Carvalho Duarte. - 2025.
34 f. : il.

Orientador: Cecílio de Souza Martins.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de
Computação, 2025.

1. Qualidade do leite. 2. Produção de queijos.
3. Inteligência artificial. 4. Perceptron. 5.
Classificação do leite. I. Martins, Cecílio de
Souza, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA FERNANDA CARVALHO DUARTE

**CLASSIFICAÇÃO DO LEITE PARA PRODUÇÃO DE QUEIJOS UTILIZANDO
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Computação.

Defendida em: 19 /12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Cecilio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima, Profª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Huliane Medeiros da Silva, Profª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

A cadeia produtiva do leite possui elevada relevância econômica e social no Brasil, sendo fundamental para o abastecimento interno e para o desenvolvimento regional, especialmente entre pequenos e médios produtores. A qualidade da matéria-prima é determinante para o rendimento industrial e para as características tecnológicas dos derivados lácteos, em especial dos queijos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a produção de leite no Brasil, avaliar os principais parâmetros físico-químicos de qualidade do leite e investigar o potencial da aplicação de técnicas de Inteligência Artificial na classificação da matéria-prima para a produção de diferentes tipos de queijo. Para isso, foi construído um banco de dados a partir de aproximadamente 1100 amostras de leite coletadas em uma propriedade rural localizada no município de Iracema-CE, utilizando-se um analisador eletrônico de leite. Os parâmetros analisados incluíram teor de gordura, proteína, lactose, extrato seco desengordurado, densidade e ponto crioscópico, os quais foram comparados aos padrões estabelecidos pela legislação vigente. Adicionalmente, foi implementado um algoritmo de classificação baseado no Perceptron, treinado com os parâmetros físico-químicos do leite, com o objetivo de classificar as amostras quanto à sua adequação para a produção dos queijos coalho, cheddar, parmesão e gorgonzola. Os resultados indicaram que, de modo geral, o leite analisado apresentou conformidade com os padrões legais, embora com variabilidade significativa entre as amostras. O modelo de Inteligência Artificial apresentou taxa de acerto de aproximadamente 85%, demonstrando potencial como ferramenta de apoio à tomada de decisão, especialmente em sistemas produtivos de menor escala. Conclui-se que a integração entre o controle de qualidade do leite e técnicas de Inteligência Artificial pode contribuir para a melhoria da eficiência produtiva, redução de perdas industriais e padronização da produção de queijos.

Palavras-chave: qualidade do leite; produção de queijos; inteligência artificial; perceptron; classificação do leite.

ABSTRACT

The dairy production chain plays a significant economic and social role in Brazil, contributing to domestic supply and regional development, particularly among small and medium-scale producers. The quality of raw milk is a key factor influencing industrial yield and the technological characteristics of dairy products, especially cheese. In this context, this study aimed to analyze milk production in Brazil, evaluate the main physicochemical quality parameters of milk, and investigate the potential application of Artificial Intelligence techniques for classifying raw milk intended for different types of cheese production. A database was developed using approximately 1,100 milk samples collected from a rural property located in the municipality of Iracema, Ceará State, Brazil, using an electronic milk analyzer. The analyzed parameters included fat content, protein, lactose, solids-not-fat, density, and freezing point, which were compared with the standards established by current legislation. Additionally, a Perceptron-based classification algorithm was implemented and trained using the physicochemical parameters of milk to classify samples according to their suitability for producing coalho, cheddar, parmesan, and gorgonzola cheeses. The results indicated that most milk samples met the legal quality standards, although significant variability was observed among them. The Artificial Intelligence model achieved an accuracy rate of approximately 85%, demonstrating its potential as a decision-support tool, particularly for small-scale production systems. It is concluded that integrating milk quality control with Artificial Intelligence techniques can contribute to improved production efficiency, reduced industrial losses, and greater standardization in cheese manufacturing.

Keywords: milk quality; cheese production; artificial intelligence; perceptron; milk classification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Produção de Leite por Região	16
Figura 2	–	Produção de leite no Brasil	17
Figura 3	–	Destinação do leite inspecionado no Brasil entre 2010 e 2023.....	23
Figura 4	–	Analisador de leite Master Mini AK510.....	37
Figura 5	–	Amostras coletadas através do equipamento Analisador Master Mini.....	46
Figura 6	–	Resultado do algoritmo perceptron com amostras reais.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel	Bacharel
Dr	Doutor
Esp	Especialista
GE	Gestão do Conhecimento
GI	Gestão da Informação
IES	Instituição de Ensino Superior
Me	Mestre
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PG&C	Perspectivas em Gestão & Conhecimento
SBGC	Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento
LINA	Leite Instável não Ácido
CCS	Contagem de Células Somáticas
CBT	Contagem bacteriana total
ESD	Extrato seco desengordurado
ABIQ	Associação Brasileira da Indústria de Queijos
IA	Inteligência Artificial
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

LISTA DE SÍMBOLOS

@	Arroba
©	Copyright
®	Marca registrada
%	Porcentagem
\$	Cifrão

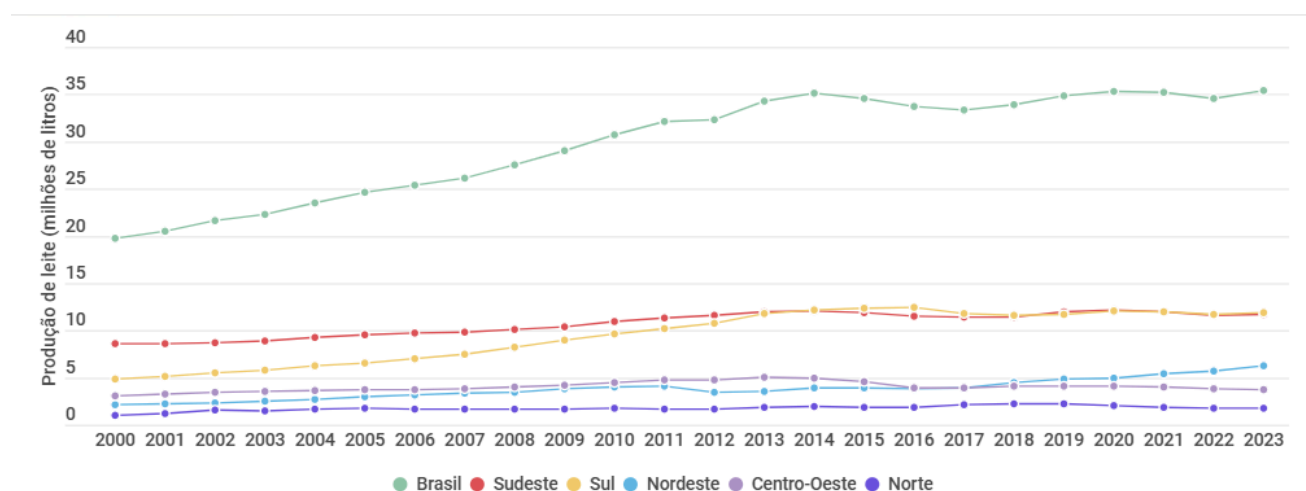
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo geral	21
2.2	Objetivos específicos	21
3	ESTADO DA ARTE.....	22
4	REFERENCIAL TEÓRICO	24
4.1	Setor lácteo no brasil.....	24
4.2	Parâmetros de qualidade do leite.....	25
4.3	O fenômeno do leite instável não ácido	26
4.4	Produção de queijos no brasil e fatores determinantes	27
4.5	Relação entre qualidade do leite e rendimento dos queijos.....	28
4.6	Tipos de queijo e suas características tecnológicas e de composição.....	29
4.7	Inteligência artificial	30
5	METODOLOGIA	33
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
7	TRABALHOS FUTUROS.....	38
9	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A produção de leite no Brasil possui elevada relevância econômica e social, configurando-se como uma das principais atividades do setor agropecuário. Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (Brasil, 2025), o Brasil está entre os maiores produtores de leite do mundo. Em 2023, a produção nacional alcançou 35,37 bilhões de litros, representando crescimento de 2,38% em relação ao ano anterior. Embora a maior concentração produtiva esteja nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul, o Nordeste também desempenha papel significativo, com destaque para Pernambuco (3,77%), Bahia (3,58%) e Ceará (3,21%) da produção total brasileira. Esses números reforçam a importância da pecuária leiteira para o abastecimento interno e o fortalecimento econômico nacional. A Figura 1 apresenta a distribuição da produção de leite entre as diferentes regiões brasileiras.

Figura 1 - Produção de Leite por Região

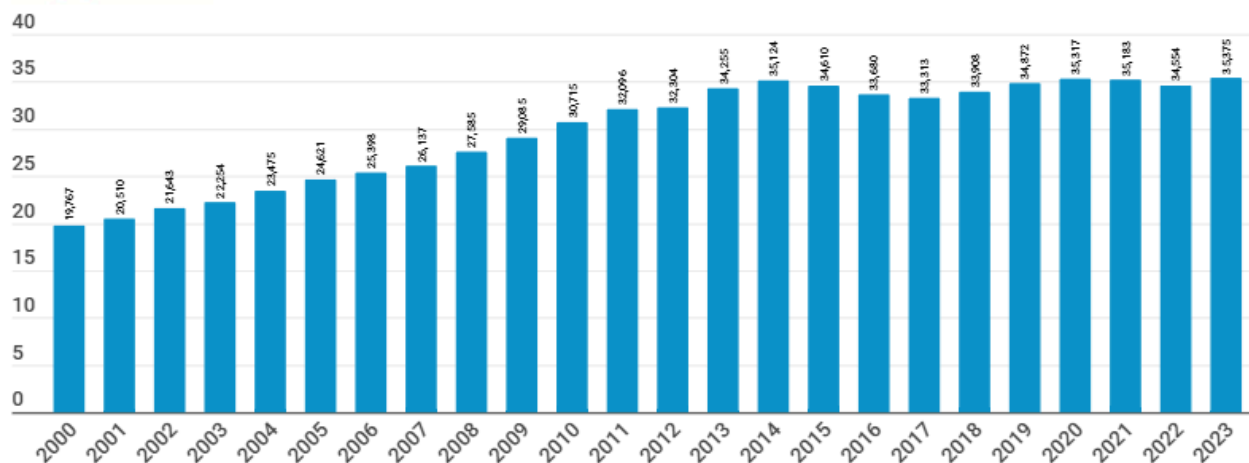


Fonte: Embrapa (2025)

De acordo com a Figura 1, a região Nordeste ocupa a terceira posição no cenário nacional, demonstrando sua relevância crescente dentro da cadeia produtiva. Mesmo não sendo a maior produtora, a região tem exibido avanços significativos, impulsionados por melhorias tecnológicas, expansão de sistemas produtivos mais eficientes e políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural. O Brasil (2025) ressalta que o Brasil ocupa a terceira posição global na produção de leite, distribuída em mais de 1 milhão de propriedades e presente em cerca de 98% dos municípios brasileiros. Projeções da Secretaria de Política Agrícola indicam que, até 2030, permanecerão competitivos os produtores que investirem em

tecnologia, gestão e eficiência técnica. A Figura 2 apresenta a evolução da produção nacional entre 2000 e 2023.

Figura 2 - Produção de leite no Brasil - volume total de leite de 2000 a 2023 (bilhões de litros)



Fonte: Embrapa (2025)

Baseado na Figura 2, no período de 2000 a 2023 a produção de leite no Brasil apresentou uma tendência de crescimento e consolidação bastante significativa. Esses resultados reforçam não apenas a importância econômica da atividade, mas também a necessidade de aprimorar os processos produtivos, especialmente entre pequenos e médios produtores, que representam a maior parcela da cadeia leiteira no país e frequentemente enfrentam dificuldades relacionadas à infraestrutura, capacitação técnica e acesso a tecnologias (Brasil, 2025). Nesse contexto, torna-se evidente que o aumento da produção deve ser acompanhado por estratégias eficazes de controle e melhoria da qualidade do leite, de modo a garantir a sustentabilidade da atividade e a competitividade dos produtos no mercado.

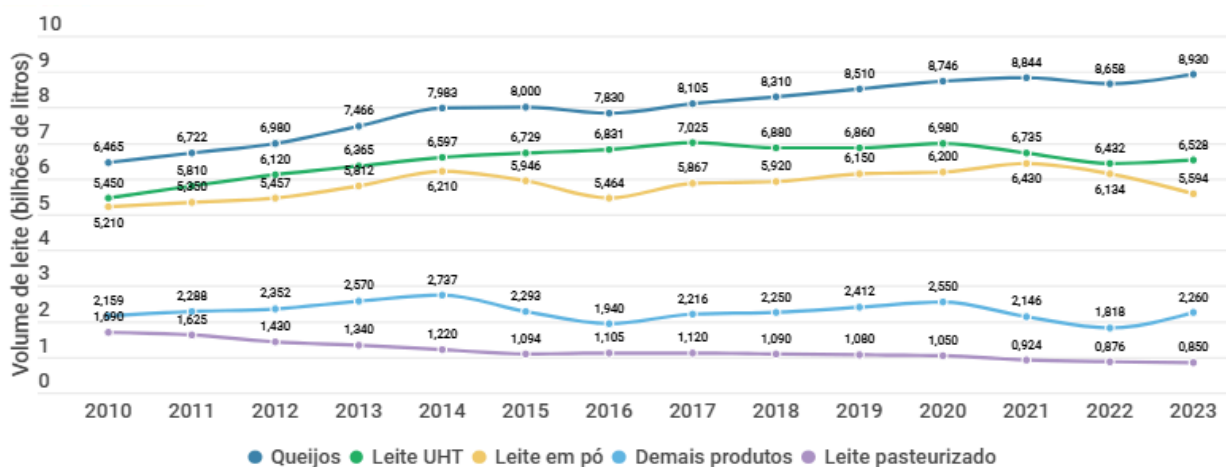
A qualidade do leite é um eixo central da cadeia produtiva e, em diversos países, têm recebido atenção especial devido à sua influência direta na saúde pública, no rendimento industrial e nas características sensoriais dos derivados lácteos. Em geral, o controle de qualidade do leite é realizado por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como contagem de células somáticas (CCS), contagem bacteriana total (CBT) e teores de gordura, lactose e proteína, os quais refletem tanto as condições sanitárias do rebanho quanto o manejo nutricional e tecnológico adotado na propriedade (Santos; Fonseca, 2020).

De acordo com a Instrução Normativa n.º 07 do Brasil (2017), o leite destinado ao processamento industrial deve apresentar índices de composição mínima de 3,0% de gordura, 2,9% de proteína e 8,4% de extrato seco desengordurado (ESD). Pesquisas divulgadas pela

Redvet (2017) destacam que fatores etiológicos associados ao manejo inadequado, falhas de higiene, problemas sanitários e alterações fisiológicas podem comprometer esses parâmetros, resultando no chamado Leite Instável Não Ácido (LINA). Esse fenômeno caracteriza-se pela instabilidade da caseína, prejudicando diretamente o processamento industrial e reduzindo o rendimento de derivados.

O LINA está frequentemente relacionado à mastite subclínica, estresse térmico, deficiências nutricionais e práticas inadequadas de ordenha, sendo considerado um dos maiores desafios da indústria láctea. A cadeia produtiva do leite no Brasil apresenta grande relevância econômica e social, movimentando diferentes segmentos da indústria de alimentos. A análise da destinação do leite inspecionado revela tendências importantes de consumo e transformação. A Figura 3 apresenta a distribuição do volume de leite destinado aos principais derivados lácteos entre 2010 e 2023, destacando a predominância do leite UHT, seguido pelos queijos e pelo leite pasteurizado.

Figura 3 – Destinação do leite inspecionado no Brasil entre 2010 e 2023.



Fonte: ABLV, Cileite-Embrapa (2025).

De acordo com a Figura 3, nos últimos anos os queijos se consolidaram como um dos principais produtos derivados do leite no país, apresentando crescimento contínuo ao longo da série histórica. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Queijos (ABIQ), a produção nacional cresceu 8,5% entre 2017 e 2023, enquanto o consumo aumentou 9,3%. Atualmente, os queijos estão presentes em aproximadamente 90% dos lares brasileiros, reforçando sua importância econômica, social e cultural. A Embrapa (2025) destaca que esse segmento agrega valor ao leite, impulsiona o desenvolvimento agroindustrial e fortalece as economias regionais.

O panorama nacional é marcado por uma grande diversidade, com a produção de queijos tradicionais e industrializados. Entre os tipos mais consumidos e produzidos no Brasil, destacam-se a Muçarela, o Prato e o Minas Padrão, sendo a Muçarela responsável pela maior parcela do volume. Essa variedade de produtos apresenta composições nutricionais distintas, influenciadas pela tecnologia de fabricação. Por exemplo, queijos como o Parmesão tendem a ter teores de proteína mais elevados e menor umidade, enquanto alguns tipos de Muçarela ou Queijo Minas Frescal podem apresentar maior teor de gordura ou umidade, respectivamente, impactando diretamente o valor nutritivo e o rendimento industrial do leite utilizado como matéria-prima (Furtado, 2014).

O desempenho industrial na produção de queijos está diretamente condicionado à qualidade da matéria-prima. Parâmetros como composição físico-química, estabilidade proteica e carga microbiana influenciam características como rendimento, textura, durabilidade e sabor. O não atendimento aos padrões mínimos de qualidade pode comprometer a padronização do produto final e reduzir sua aceitação no mercado consumidor, além de elevar perdas industriais (Embrapa gado de leite, 2020).

Adicionalmente, a cadeia leiteira enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade ambiental, ao uso eficiente de recursos naturais e ao bem-estar animal. Boas práticas ambientais e sanitárias impactam diretamente a qualidade do leite e a percepção do consumidor moderno, que tem se mostrado mais exigente quanto a sistemas produtivos éticos, sustentáveis e transparentes. Grande parte da produção brasileira é realizada por pequenos e médios produtores, reforçando a necessidade de tecnologias acessíveis que auxiliem no controle de qualidade e gestão do sistema produtivo (Embrapa, 2023).

Nesse cenário, as tecnologias digitais e a Inteligência Artificial (IA) surgem como ferramentas promissoras para aprimorar a análise e a classificação da qualidade do leite, especialmente no apoio à tomada de decisão e ao monitoramento de parâmetros produtivos e sanitários. De acordo com a EMBRAPA Gado de Leite (2020), o uso de técnicas computacionais avançadas permite identificar padrões, prever desvios na composição do leite e detectar anomalias associadas a enfermidades, como a mastite. A IA pode ser compreendida como um conjunto de métodos computacionais capazes de aprender a partir de dados, sendo o aprendizado de máquina supervisionado uma das abordagens mais utilizadas para tarefas de classificação. Neste trabalho, adota-se o algoritmo Perceptron, um modelo fundamental de rede neural artificial, aplicado à classificação de amostras de leite com base em parâmetros físico-químicos e laboratoriais. A implementação do algoritmo é realizada na linguagem Python, amplamente empregada em aplicações de ciência de dados e inteligência artificial.

De modo geral, essa abordagem contribui para a redução de perdas, o aumento da eficiência produtiva e a padronização da qualidade dos derivados lácteos, evidenciando o potencial da IA como ferramenta de apoio ao controle de qualidade e à gestão no setor lácteo (Fonseca; Santos, 2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Classificar o leite com base em índices de qualidade físico-químicos e técnicas de Inteligência Artificial, visando à destinação adequada da matéria-prima para a produção de queijos, com maior eficiência e padronização do processo produtivo.

2.2 Objetivos específicos

- Coletar amostras de leite de pequenos produtores e elaborar um banco de dados para análise.;
- Revisar a literatura sobre a influência da qualidade do leite na produção e no rendimento de queijos;
- Identificar os principais parâmetros de qualidade do leite que influenciam diretamente nas características físico-químicas e sensoriais dos queijos;
- Descrever as metodologias tradicionais de avaliação da qualidade do leite utilizadas no setor queijeiro;
- Avaliar aplicações de Inteligência Artificial na classificação do leite e seu potencial para otimizar a produção de queijos;
- Propor diretrizes ou perspectivas para o uso da IA como ferramenta de apoio à tomada de decisão na indústria de queijos.

3 ESTADO DA ARTE

Diversos estudos abordam os índices de qualidade do leite, evidenciando a relevância de parâmetros como a contagem de células somáticas (CCS), a contagem bacteriana total (CBT) e os teores de sólidos. Esses indicadores permitem avaliar não apenas a saúde do rebanho, mas também a higiene do processo de ordenha e as condições de armazenamento da matéria-prima.

Macedo et al. (2018) demonstraram que a CCS elevada compromete a composição do leite e está associada a piores indicadores higiênicos, como maior CBT em tanques de leite coletivos. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2016), que avaliaram vacas da raça Girolando no Rio Grande do Norte e observaram que níveis elevados de CCS afetam diretamente a composição do leite, principalmente nos teores de lactose e sólidos não gordurosos.

No contexto dos sistemas de produção, Tinini et al. (2018) destacaram que o manejo da ordenha, a infraestrutura das instalações e o tipo de sistema produtivo (convencional ou agroecológico) têm forte impacto na CCS e na CBT, evidenciando a importância de boas práticas de manejo para a qualidade final do leite. Da mesma forma, Olivo et al. (2005) compararam propriedades convencionais e agroecológicas no Rio Grande do Sul e verificaram diferenças significativas na composição do leite e na CCS, além de forte influência sazonal.

Além disso, estudos recentes têm buscado otimizar o monitoramento da qualidade por meio de metodologias rápidas. Monte et al. (2021) testaram métodos alternativos para avaliação da CCS em leite cru refrigerado de produtores individuais no Piauí, demonstrando que ferramentas rápidas podem ser eficazes no monitoramento em campo, reduzindo custos e agilizando a tomada de decisão.

Nos últimos anos, observa-se também um avanço expressivo no uso de tecnologias aplicadas à análise de qualidade, especialmente a Inteligência Artificial (IA). Algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais têm sido empregados para identificar padrões em grandes volumes de dados, permitindo a classificação do leite de acordo com diferentes níveis de qualidade. Essa abordagem amplia a eficiência do controle de qualidade, auxilia produtores e indústrias na tomada de decisões estratégicas e potencializa ganhos de produtividade e competitividade.

Apesar dos avanços observados, ainda há espaço para expandir o uso da IA na classificação da qualidade do leite, especialmente na definição da destinação mais adequada de cada amostra para a produção de queijo. É nesse contexto que se insere o presente estudo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentam-se os principais conceitos, marcos teóricos e contribuições científicas que fundamentam a análise desenvolvida neste trabalho. O referencial teórico reúne definições, teorias e estudos que sustentam a compreensão sobre a produção de leite, seus parâmetros de qualidade, a fabricação de derivados como o queijo e o uso de tecnologias modernas, incluindo ferramentas de Inteligência Artificial aplicadas ao setor leiteiro.

4.1 Setor Lácteo no Brasil

A pecuária leiteira desempenha um papel de grande relevância no cenário econômico e social brasileiro, contribuindo significativamente para a geração de renda e emprego no meio rural. Conforme discutido por Barros et al. (2021), a evolução do setor leiteiro tem ocorrido em função de melhorias genéticas, maior adoção de tecnologias de manejo, avanços nutricionais e crescente profissionalização da cadeia produtiva. Esses fatores, somados à expansão do acesso à informação e à modernização das práticas produtivas, têm favorecido o aumento da eficiência e da competitividade do setor.

Adicionalmente, políticas públicas e regulamentações específicas voltadas para a qualidade do leite têm desempenhado papel fundamental no aprimoramento da atividade leiteira no país. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2018), a implementação de normas técnicas, programas de monitoramento e sistemas de controle busca promover maior padronização, segurança e qualidade na produção, atendendo às exigências do mercado nacional e internacional. Normativas como a Instrução Normativa nº 76 e nº 77 (Brasil, 2018) reforçam critérios relacionados à refrigeração, coleta, transporte e limites microbiológicos, impactando significativamente as práticas adotadas na cadeia produtiva.

Além disso, a produção de leite no Brasil apresenta grande heterogeneidade regional, refletindo diferenças estruturais, tecnológicas e socioeconômicas nas diversas áreas do país. Como evidenciado em levantamentos recentes, regiões como o Sul e o Sudeste possuem maior tecnificação e produtividade, enquanto o Nordeste destaca-se pelo papel social da atividade, sendo uma das principais fontes de renda para pequenos e médios produtores. Apesar das limitações climáticas, iniciativas de incentivo à bacia leiteira, políticas estaduais e a adoção de tecnologias adaptadas ao semiárido têm promovido crescimento gradual do setor (Silva; Santos, 2020).

No estado do Ceará, especificamente onde foram coletados os dados utilizados neste estudo, destaca-se a implantação de iniciativas voltadas para o aprimoramento genético dos

rebanhos. Entre elas, o Projeto de Fertilização in Vitro (FIV) Ceará representa um marco importante na modernização da pecuária leiteira estadual ao incorporar a tecnologia FIV como estratégia para acelerar o ganho genético e aumentar a produtividade. Em seus primeiros 11 meses, a iniciativa conduzida pelo Sistema FAEC/Senar/Sindicatos Rurais já contabilizava 756 prenhez confirmadas, com taxa de aproveitamento de 42%, índice considerado satisfatório para protocolos de reprodução assistida (Porto, 2025).

A FIV baseia-se na coleta de oócitos de fêmeas geneticamente superiores, seguida pela fertilização em laboratório e posterior transferência de embriões para fêmeas receptoras. Esse processo possibilita que matrizes de alto valor genético produzam múltiplos descendentes em curto intervalo, reduzindo o tempo entre gerações e acelerando o progresso genético dos rebanhos (Viana; Santos, 2018). Assim, projetos como o FIV Ceará fortalecem a base produtiva regional, expandindo o potencial competitivo dos produtores locais e contribuindo para a sustentabilidade econômica da atividade.

4.2 Parâmetros de Qualidade do Leite

A qualidade do leite é um fator determinante para a competitividade da pecuária leiteira, influenciando diretamente o rendimento industrial, a segurança dos alimentos e o valor pago ao produtor. De acordo com Cunha et al. (2020), os parâmetros de qualidade podem ser agrupados em três categorias principais: físico-químicos, microbiológicos e sanitários. Esses parâmetros servem como indicadores da saúde do rebanho, das condições higiênicas da ordenha, do manejo nutricional e da eficiência dos sistemas de refrigeração e transporte.

Os indicadores físico-químicos como gordura, proteína, lactose, sólidos totais e crioscopia refletem o potencial nutricional e tecnológico do leite, sendo essenciais para a produção de derivados lácteos, como queijos, manteiga e iogurtes. Segundo Ferreira e Gomes (2019), alterações nesses índices podem estar associadas a fatores como estado fisiológico da vaca, tipo de alimentação e ocorrência de mastite subclínica.

Entre os parâmetros microbiológicos, destaca-se a Contagem Bacteriana Total (CBT), que avalia a carga de microrganismos presentes no leite. Valores elevados indicam falhas de higienização, inadequação da ordenha ou refrigeração deficiente. A Contagem de Células Somáticas (CCS), por sua vez, constitui um dos mais importantes indicadores de sanidade do úbere, sendo usada para diagnosticar mastite. De acordo com Machado et al. (2020), níveis elevados de CCS comprometem o rendimento industrial e reduzem a vida útil dos produtos lácteos. Nesse contexto, as Instruções Normativas nº 76 e nº 77 (MAPA, 2018) estabeleceram

padrões rigorosos para CBT e CCS, além de diretrizes para coleta, armazenamento e transporte do leite cru refrigerado. Essas normas atualizaram práticas tradicionais, promovendo maior padronização da cadeia produtiva e incentivando o uso de tecnologias voltadas para a melhoria da qualidade.

Outro fator relevante é o controle de resíduos de antibióticos e contaminantes, que representam riscos à saúde pública e limitam o uso industrial do leite. Estudos recentes apontam que a adoção de boas práticas agropecuárias (BPA), associada ao monitoramento sistemático da produção, contribui significativamente para a redução de não conformidades e para o atendimento às exigências legais (Oliveira; Melo, 2021). Dessa forma, a avaliação contínua dos parâmetros de qualidade do leite é fundamental para assegurar competitividade, segurança alimentar e sustentabilidade econômica da cadeia produtiva.

4.3 O Fenômeno do Leite Instável Não Ácido

O Leite Instável Não Ácido (LINA) é um fenômeno que tem recebido destaque crescente na literatura devido ao seu impacto direto sobre a indústria de laticínios e os critérios de qualidade da matéria-prima. O LINA caracteriza-se pela instabilidade da caseína durante o teste do álcool, mesmo quando o leite apresenta acidez normal, ou seja, não possui sinais de fermentação microbiana ou deterioração ácida. No caso do LINA, observa-se uma reação de instabilidade sem a presença de acidificação, o que dificulta o diagnóstico e o manejo por parte dos produtores e indústrias Redvet (2017).

Do ponto de vista industrial, a ocorrência de LINA representa um desafio significativo, pois leite instável compromete etapas de processamento, sobretudo a pasteurização e a produção de derivados como queijos e leite em pó. A coagulação indesejada durante o aquecimento pode gerar perdas econômicas expressivas, além de diminuir o rendimento industrial e comprometer a qualidade final dos produtos (Silva; Hernandez, 2020). Por esse motivo, indústrias e produtores têm adotado estratégias preventivas, como o ajuste nutricional do rebanho, suplementação mineral, monitoramento do estresse térmico e melhoria das práticas de manejo alimentar.

A identificação precoce do LINA exige a integração de testes laboratoriais, avaliação nutricional e acompanhamento zootécnico. Assim, compreender o fenômeno e seus mecanismos é fundamental para promover ações que garantam a estabilidade do leite, assegurando maior eficiência industrial, qualidade dos derivados e competitividade da cadeia produtiva.

4.4 Produção de Queijos no Brasil e Fatores Determinantes

A produção de queijos no Brasil ocupa posição central dentro da indústria láctea, representando um dos principais segmentos em volume produzido, diversidade de produtos e valor agregado. Segundo dados da Embrapa Gado de Leite (2022), o país figura entre os maiores produtores mundiais, com crescente expansão na variedade de queijos artesanais e industriais. A evolução do setor é impulsionada por melhorias tecnológicas, regulamentação sanitária, profissionalização das unidades produtoras e valorização dos produtos com identidade regional, como o queijo coalho, queijo Minas artesanal, queijo de manteiga e queijos maturados oriundos de produções familiares.

A qualidade do queijo depende diretamente da composição físico-química do leite, das condições higiênico-sanitárias da produção e dos processos tecnológicos adotados. De acordo com Madureira e Nascimento (2020), parâmetros como teor de gordura, proteína, sólidos totais e acidez influenciam significativamente o rendimento industrial e as características sensoriais do produto final. Entre esses, destaca-se o teor de caseína, responsável pela formação da matriz proteica do queijo e, portanto, essencial para uma boa coagulação enzimática. Leite com baixa estabilidade térmica ou com altas contagens de células somáticas compromete diretamente a formação do coágulo, resultando em baixa firmeza, rendimento reduzido e defeitos sensoriais.

Fatores microbiológicos também exercem papel determinante no processamento de queijos. A presença de microrganismos deteriorantes ou patogênicos pode comprometer a segurança e a qualidade do produto. Conforme Ferreira e Gomes (2021), contagens elevadas de bactérias psicotróficas, comuns em leite armazenado por longos períodos, podem liberar proteases termorresistentes que afetam a textura, o sabor e a durabilidade do queijo. Assim, a adoção de boas práticas agropecuárias, manejo adequado da ordenha e refrigeração eficiente são essenciais para garantir matéria-prima adequada à produção.

Além disso, o setor de queijos no Brasil tem sido influenciado por tendências de consumo que valorizam produtos artesanais, com origem controlada e práticas sustentáveis de produção. A regulamentação de queijos artesanais, como a Lei nº 13.680/2018 e normativas complementares, permitiu ampliar a comercialização interestadual desses produtos, estimulando o crescimento de pequenos e médios empreendimentos rurais. Estudos recentes apontam que o fortalecimento da produção artesanal não só agrega valor econômico, mas também contribui para a preservação de tradições culturais e para o desenvolvimento regional (Oliveira; Sena, 2023).

4.5 Relação Entre Qualidade do Leite e Rendimento de Queijos

A literatura científica demonstra que a qualidade do leite é um fator essencial para o rendimento e a eficiência do processamento queijeiro. Alves e Gonçalves (2024) destacam que a matéria-prima determina não apenas o volume de queijo obtido, mas também a textura, o desenvolvimento de aromas e a vida de prateleira do produto, uma vez que parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sanitários influenciam todas as etapas da fabricação, da coagulação à maturação.

Do ponto de vista da composição do queijo, componentes como gordura, proteína, lactose e minerais exercem uma forte influência no comportamento tecnológico do leite. Dentre as proteínas, uma delas em especial a caseína na qual variações no teor desse componente e nos níveis de cálcio iônico, por exemplo, alteram o tempo de gelificação e a firmeza do coágulo. Segundo os autores, os leites com uma menor concentração deste componente ou com desequilíbrios minerais tendem a formar coágulos menos firmes, aumentando a perda de sólidos no soro e, conseqüentemente, reduzindo o rendimento industrial (Alves; Gonçalves, 2024).

Outro ponto relevante mencionado no artigo é o impacto da cadeia fria e do manejo higiênico durante a ordenha. A falha nesses procedimentos favorece o crescimento de micro-organismos psicotróficos capazes de produzir proteases e lipases termoestáveis, enzimas que resistem à pasteurização e prejudicam etapas fundamentais do processamento, como a dessoragem e a maturação. Sua atuação pode gerar perdas sensoriais e tecnológicas significativas, reduzindo a eficiência produtiva (Alves; Gonçalves, 2024).

Nesse sentido, Alves e Gonçalves (2024) reforçam que a otimização do rendimento queijeiro depende de intervenções realizadas desde a produção primária, incluindo boas práticas de ordenha, controle sanitário dos animais, manutenção da cadeia fria e atendimento às exigências das Instruções Normativas 76 e 77/2018 do MAPA. Assim, a qualidade do leite configura-se como elemento central para a competitividade e a sustentabilidade da indústria e das queijarias artesanais.

4.6 Tipos de Queijos e suas Características Tecnológicas e de Composição

A grande variedade de queijos consumidos no Brasil decorre da diversidade de processos tecnológicos empregados em sua fabricação, bem como das diferentes características físico-químicas da matéria-prima utilizada. De acordo com o site Queijos no Brasil, fatores como o tipo de coagulação, o teor de umidade, o tempo de maturação e as características estruturais da massa — que pode apresentar textura elástica, firme ou granulosa

— influenciam diretamente o sabor, a textura e o comportamento do queijo durante o aquecimento, além de determinar suas aplicações culinárias. Dessa forma, cada tipo de queijo desenvolve uma identidade própria, resultante da interação entre a técnica de processamento e sua composição.

Conforme descrito pelo Queijos no Brasil, o queijo coalho é um dos produtos mais tradicionais do Nordeste brasileiro, caracterizando-se por textura firme, sabor suave e elevada resistência ao calor, o que possibilita seu consumo grelhado ou assado. Seu processo de fabricação envolve coagulação predominantemente enzimática e curta maturação, originando um produto fresco e de alta umidade. Para a obtenção de melhor desempenho tecnológico, recomenda-se que o leite utilizado apresente teor de gordura entre 3,0 e 3,2% e acidez entre 15 e 18 °D.

O queijo cheddar, conforme descrito pelo Queijos no Brasil, é originário do Reino Unido e amplamente difundido internacionalmente. Apresenta massa firme, textura compacta e sabor que pode variar de suave a intenso, de acordo com o tempo de maturação. Sua principal particularidade tecnológica é o processo conhecido como *cheddaring*, no qual a massa é cortada, empilhada e virada repetidamente, favorecendo a expulsão do soro e a uniformização da estrutura. Esse procedimento resulta em um queijo de baixa umidade, alta densidade e boa capacidade de fatiamento. A maturação, que pode variar de alguns meses a mais de um ano, intensifica o sabor e reduz significativamente o teor de lactose. Para esse tipo de queijo, o teor ideal de gordura do leite situa-se entre 3,3 e 3,4%.

O site Queijos no Brasil classifica o queijo parmesão como pertencente à categoria dos queijos de massa dura e maturação prolongada, apresentando textura granulada, sabor intenso e baixa umidade. Durante o longo período de maturação, ocorrem de forma acentuada os processos de proteólise e lipólise, responsáveis pelo desenvolvimento do aroma característico e pela quase total ausência de lactose no produto final, uma vez que esse carboidrato é metabolizado pelas bactérias lácticas. Para um melhor resultado tecnológico, o leite destinado à produção desse queijo deve apresentar teor de gordura entre 2,6 e 2,8% e acidez entre 17 e 18 °D.

O queijo gorgonzola é um queijo de origem italiana classificado como queijo azul, devido à presença de veios azul-esverdeados formados pelo desenvolvimento do fungo *Penicillium roqueforti*. Como descrito em Queijos no Brasil, trata-se de um queijo de massa macia a semimacia, obtido por coagulação enzimática e submetido à perfuração da massa durante a maturação, procedimento essencial para a entrada de oxigênio e o crescimento do fungo. O processo de maturação promove intensa proteólise e lipólise, responsáveis pelo

sabor marcante, aroma intenso e textura cremosa característica. Para a obtenção de um produto com essas propriedades, o leite utilizado deve apresentar teor de gordura na faixa de 3,9 a 4,0%.

4.7 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) refere-se ao conjunto de técnicas computacionais capazes de simular processos cognitivos humanos, como aprendizado, reconhecimento de padrões e tomada de decisão. Segundo Russell e Norvig (2021), sistemas baseados em IA utilizam algoritmos capazes de analisar grandes volumes de dados, identificar relações complexas e produzir respostas adaptativas, tornando-se ferramentas estratégicas em diversos setores produtivos, incluindo a indústria de alimentos.

No âmbito da IA e do aprendizado de máquina, destaca-se o algoritmo *Perceptron*, um dos modelos mais simples e fundamentais de redes neurais artificiais. Proposto inicialmente por Rosenblatt (1958), o *Perceptron* consiste em um classificador linear supervisionado, capaz de aprender a separar dados pertencentes a diferentes classes por meio do ajuste iterativo de pesos associados às variáveis de entrada. O funcionamento do *Perceptron* baseia-se na combinação linear das entradas, ponderadas por seus respectivos pesos, seguida da aplicação de uma função de ativação, geralmente do tipo degrau. Durante o processo de treinamento, os pesos são ajustados de acordo com o erro entre a saída prevista pelo modelo e a saída desejada, permitindo que o algoritmo aprenda gradualmente uma fronteira de decisão que separa as classes analisadas (Haykin, 2009).

Para o cálculo das Ativações e dos ajustes de pesos, o algoritmo calcula uma pontuação de ativação para cada classe com base no produto escalar entre os atributos do leite e os pesos das classes. Essa pontuação é dada pela fórmula:

$$s_c = w_c \cdot x \quad (1)$$

em que: s_c é a ativação para a classe C, x é o vetor de características de uma amostra de leite e w_c são os pesos associados à classe C. A classe com a maior pontuação é escolhida como a classe prevista.

Durante o treinamento, os pesos das classes eram ajustados de acordo com a seguinte regra de atualização:

$$w_{errado}^{novo} = w_{errado}^{antigo} - \eta x \quad (2)$$

$$w_{errado}^{novo} = w_{correto}^{antigo} + \eta x \quad (3)$$

Esses ajustes são fundamentais para que o modelo aprenda a separar corretamente as amostras de leite conforme os diferentes tipos de queijo. E a taxa de aprendizado (η).

No contexto da classificação de dados, o *Perceptron* é amplamente utilizado em problemas linearmente separáveis. Um exemplo clássico é o conjunto de dados Iris, introduzido por Fisher (1936), amplamente empregado para validação de algoritmos de classificação supervisionada. De forma análoga, esse algoritmo pode ser aplicado a problemas de classificação no setor alimentício, incluindo a seleção e diferenciação de tipos de queijo a partir de parâmetros físico-químicos da matéria-prima.

Nesse sentido, o *Perceptron* pode ser utilizado como ferramenta de apoio à decisão para selecionar o tipo de queijo mais adequado — coalho, cheddar, parmesão ou gorgonzola — com base nas características do leite, como teor de gordura, proteína, lactose e acidez. Ao receber esses parâmetros como variáveis de entrada, o algoritmo pode ser treinado para reconhecer padrões associados às exigências tecnológicas específicas de cada tipo de queijo, aprendendo a classificar a matéria-prima conforme sua aptidão produtiva.

Por exemplo, leites com maior teor de gordura podem ser mais adequados à produção de queijos de massa macia ou com maior desenvolvimento de lipólise, como o gorgonzola, enquanto leites com menor teor de umidade e composição mais estável pode favorecer a produção de queijos de massa dura e maturação prolongada, como o parmesão. Já o queijo coalho e o cheddar apresentam exigências intermediárias, relacionadas principalmente à resistência térmica e ao teor de gordura do leite. Dessa forma, o *Perceptron* atua como um classificador que associa combinações de atributos do leite aos tipos de queijo correspondentes.

Embora o *Perceptron* apresente limitações em problemas não linearmente separáveis, sua simplicidade, baixo custo computacional e facilidade de implementação o tornam adequado para aplicações iniciais de classificação e triagem. Além disso, o algoritmo contribui para a padronização do processo decisório e para a redução de perdas industriais, podendo servir como base para modelos mais avançados, como redes neurais multicamadas, em sistemas de apoio à decisão na indústria láctea (Bishop, 2006). Dessa forma, o algoritmo *Perceptron* implementado na linguagem de programação *python*, destaca-se como uma

ferramenta relevante no contexto da Inteligência Artificial aplicada ao setor lácteo, possibilitando a integração entre dados de qualidade do leite e decisões tecnológicas relacionadas à fabricação de diferentes tipos de queijo.

5 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho foi estruturada em etapas principais, compreendendo: pesquisa bibliográfica, coleta e organização dos dados, análise dos parâmetros de qualidade do leite, avaliação de parâmetros relacionados à produção de queijos e aplicação de técnicas de Inteligência Artificial para a classificação da matéria-prima.

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico em bases de dados acadêmicas, documentos técnicos, relatórios governamentais e publicações de instituições de referência, como o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Associação Brasileira da Indústria de Queijos (ABIQ), além de periódicos científicos nacionais e internacionais. Essa etapa teve como objetivo contextualizar a relevância econômica e social da cadeia leiteira no Brasil, com ênfase na região Nordeste, bem como identificar os principais parâmetros físico-químicos e tecnológicos utilizados na avaliação da qualidade do leite e de seus derivados.

Com a conclusão da pesquisa bibliográfica, procedeu-se à construção de um banco de dados próprio, elaborado a partir de informações reais coletadas em uma propriedade rural localizada no município de Iracema, no estado do Ceará. A escolha da propriedade foi motivada pela facilidade de acesso aos dados, pela disponibilidade para a realização das medições e por apresentar características produtivas compatíveis com a realidade de pequenos e médios produtores da região, conferindo representatividade ao conjunto de informações analisadas.

Para a coleta dos dados, foi utilizado o analisador de leite Master Mini AK510, equipamento amplamente empregado no setor lácteo para a avaliação da qualidade do leite, conforme apresentado na Figura 4. O equipamento foi configurado para realizar comunicação direta com um computador por meio de interface serial RS232, utilizando o software Master Data Bank, possibilitando o armazenamento automático das medições em planilhas eletrônicas.

Figura 4 – Analisador de leite Master Mini AK510.



Fonte: akso.com.br (2025)

As variáveis registradas incluíram data e hora da coleta, teor de gordura, proteína, lactose, extrato seco desengordurado, densidade, teor de sais, ponto crioscópico e volume estimado de água adicionada. Ao longo do período experimental, foram obtidas aproximadamente 1.100 amostras de leite, distribuídas ao longo de cerca de 40 dias de coleta, realizadas em dois turnos de ordenha.

Parte das amostras foi submetida à adulteração controlada por adição de água, com o objetivo de avaliar o comportamento dos parâmetros físico-químicos frente a desvios intencionais de qualidade. Do total de amostras analisadas, estas foram organizadas em quatro grupos de análise, conforme a aptidão tecnológica para diferentes tipos de queijo: 350 amostras destinadas ao queijo Coalho, 300 ao queijo Cheddar, 250 ao queijo Parmesão e 200 ao queijo Gorgonzola, totalizando as 1.100 amostras avaliadas.

Após a consolidação do banco de dados, os valores obtidos foram organizados e preparados para análise estatística e comparação com os padrões estabelecidos pela legislação vigente, especialmente as Instruções Normativas nº 76 e nº 77 do Brasil (2018).

Na etapa final da metodologia, foi explorado o uso de técnicas de Inteligência Artificial para a classificação da matéria-prima. Para isso, implementou-se um algoritmo de aprendizado supervisionado inspirado no modelo Perceptron multi classe, utilizando parâmetros físico-químicos do leite como variáveis de entrada. O algoritmo foi desenvolvido na linguagem Python e treinado para classificar as amostras conforme sua aptidão para a produção de diferentes tipos de queijo, servindo como ferramenta de apoio à tomada de decisão no setor lácteo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do banco de dados consolidado, composto por aproximadamente 1100 amostras de leite, foi possível realizar uma análise detalhada dos principais parâmetros físico-químicos da matéria-prima. A Figura 5 apresenta a distribuição das amostras analisadas ao longo do período de coleta, permitindo visualizar a abrangência e a variabilidade dos dados utilizados nas análises subsequentes.

Figura 5: Amostras coletadas através do equipamento Analisador Master Mini.

Data	Gordura (%)	Proteína (%)	Lactose (%)	Extrato Seco Desengordurado (%)	Densidade (g/cm ³)	Sais (%)	Crioscopia (°H)	Água adicionada (%)
2025-03-08	3,946	3,228	4,645	8,233	1,032	0,618	-0,532	1,31
2025-03-08	3,935	3,284	5,061	8,156	1,033	0,776	-0,546	2,38
2025-03-08	3,72	2,925	4,674	8,006	1,033	0,717	-0,544	0
2025-03-08	3,563	3,027	4,814	8,679	1,031	0,824	-0,539	0
2025-03-08	3,842	2,86	4,805	8,825	1,029	0,813	-0,551	0
2025-03-08	4,386	3,307	4,951	8,693	1,028	0,842	-0,553	0
2025-03-08	4,458	3,139	5,113	8,286	1,028	0,71	-0,545	0
2025-03-08	3,301	3,165	5,059	8,034	1,034	0,605	-0,531	0
2025-03-08	3,732	3,02	5,161	8,927	1,033	0,841	-0,547	0
2025-03-08	3,375	2,802	4,954	8,792	1,033	0,635	-0,544	0
2025-03-08	3,561	2,941	4,655	8,947	1,032	0,668	-0,533	0
2025-03-08	4,175	3,183	4,913	8,278	1,03	0,733	-0,539	0
2025-03-08	3,561	3,144	4,603	8,657	1,031	0,77	-0,54	0
2025-03-08	4,455	3,341	4,607	8,422	1,028	0,744	-0,531	0
2025-03-08	3,557	3,438	5,027	8,987	1,032	0,841	-0,537	0
2025-03-08	4,005	2,815	5,116	8,953	1,034	0,723	-0,534	0

Fonte: Autoria própria (2025).

Os resultados indicaram que, de modo geral, os teores de gordura, proteína, lactose e extrato seco desengordurado apresentaram valores compatíveis com aqueles exigidos pelas Instruções Normativas nº 76 e nº 77 do Brasil (2018), evidenciando condições adequadas de manejo, alimentação e controle sanitário do rebanho. Entretanto, observou-se variabilidade entre as amostras analisadas, especialmente nos teores de gordura e proteína, parâmetros diretamente relacionados ao rendimento industrial e à aptidão tecnológica do leite para a produção de diferentes tipos de queijo. Essa variabilidade reforça a necessidade de sistemas de classificação que auxiliem na destinação mais eficiente da matéria-prima, conforme discutido por Alves e Gonçalves (2024).

A comparação entre os parâmetros físico-químicos do leite e as exigências tecnológicas dos queijos analisados — coalho, cheddar, parmesão e gorgonzola — evidenciou que determinadas amostras apresentaram maior adequação para tipos específicos de queijo. Com as amostras divididas em: 350 amostras destinadas ao queijo Coalho, 300 ao queijo Cheddar, 250 ao queijo Parmesão e 200 ao queijo Gorgonzola. Leites com maiores teores de gordura mostraram-se mais compatíveis com a produção de queijos de massa macia e maior desenvolvimento de lipólise, como o gorgonzola, enquanto amostras com maior teor protéico

e menor umidade apresentaram melhor aptidão para queijos de massa dura e maturação prolongada, como o parmesão. Esses resultados estão em consonância com Fox et al. (2017) e Walstra et al. (2006).

No que se refere à aplicação da Inteligência Artificial, foi utilizado um algoritmo de classificação baseado no modelo Perceptron multiclasse. Os resultados obtidos após as etapas de treinamento e validação são apresentados na Figura 6, a qual evidencia a capacidade do algoritmo em classificar as amostras de leite de acordo com o tipo de queijo mais adequado à sua composição físico-química. Na Figura 6, as amostras são representadas sequencialmente pelos parâmetros teor de gordura, proteína, lactose e acidez, que constituem as variáveis de entrada do modelo e refletem as principais características tecnológicas da matéria-prima analisada.

Figura 6: Resultado do algoritmo perceptron com amostras reais.

```
Amostra [ 3.1  3.  5. 16. ] => Previsto: Coalho, Esperado: Coalho
Amostra [ 3.4  3.5 4.6 15. ] => Previsto: Cheddar, Esperado: Cheddar
Amostra [ 2.7  3.6 4.5 18. ] => Previsto: Parmesão, Esperado: Parmesão
Amostra [ 4.   2.8 4.2 19. ] => Previsto: Gorgonzola, Esperado: Gorgonzola
Taxa de acerto: 1.00
A nova amostra [ 3.2  3.1 5. 17. ] é mais adequada para: Coalho
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Apesar do bom desempenho global, observou-se que os erros de classificação ocorreram, predominantemente, em amostras cujos parâmetros físico-químicos apresentaram valores intermediários, situando-se em regiões de transição entre as exigências tecnológicas de diferentes tipos de queijo. Esse comportamento é esperado, uma vez que certos tipos de queijo, como coalho e cheddar, podem apresentar faixas parcialmente sobrepostas de gordura e proteína, dificultando a separação linear das classes.

A utilização dos parâmetros teor de gordura, proteína, lactose e acidez como variáveis de entrada mostrou-se adequada do ponto de vista tecnológico, uma vez que esses atributos exercem influência direta tanto no rendimento industrial quanto nas características sensoriais e no processo de maturação dos queijos. O desempenho alcançado pelo modelo indica que tais variáveis contêm informações suficientes para subsidiar uma classificação inicial da matéria-prima.

De forma geral, os resultados demonstram que a integração entre a análise físico-química do leite e técnicas de Inteligência Artificial contribui para a padronização da qualidade da matéria-prima, a redução de perdas industriais e a otimização da produção de

diferentes tipos de queijo, configurando-se como uma alternativa viável e de baixo custo para apoio à tomada de decisão no processamento de leite.

7 TRABALHOS FUTUROS

Embora os resultados obtidos neste trabalho sejam satisfatórios, especialmente considerando a simplicidade do modelo utilizado, diversas possibilidades de aprimoramento podem ser exploradas em estudos futuros. Uma das principais extensões consiste na aplicação de algoritmos de classificação mais complexos, como redes neurais artificiais multicamadas (MLP), máquinas de vetores de suporte (SVM) ou modelos baseados em árvores de decisão, os quais podem apresentar melhor desempenho em cenários nos quais as classes não são linearmente separáveis.

Outra possibilidade de avanço refere-se à ampliação do conjunto de variáveis de entrada do modelo, incorporando parâmetros adicionais de qualidade do leite, tais como contagem de células somáticas, condutividade elétrica, densidade e ponto crioscópico. A inclusão dessas informações pode contribuir para uma classificação mais precisa e robusta da matéria-prima, especialmente em situações de maior variabilidade produtiva ou sazonal.

Além disso, futuros trabalhos podem considerar a avaliação do desempenho do sistema em bases de dados mais extensas e diversificadas, contemplando diferentes regiões produtoras, períodos sazonais e condições de manejo. Tal abordagem permitiria validar a generalização do modelo em cenários reais mais amplos e heterogêneos.

Por fim, a integração do sistema de classificação com plataformas computacionais embarcadas ou interfaces amigáveis ao usuário, como aplicações web ou móveis, pode facilitar sua adoção por pequenos e médios produtores, ampliando o impacto prático da ferramenta no setor lácteo.

8 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu analisar de forma integrada a produção de leite no Brasil, os principais parâmetros de qualidade da matéria-prima e sua influência direta no processamento e no rendimento da produção de queijos. A partir dos dados coletados em uma propriedade rural no município de Iracema–CE, verificou-se que a qualidade físico-química do leite atende, em sua maioria, aos padrões estabelecidos pela legislação vigente, embora apresente variações relevantes que impactam sua aptidão tecnológica.

Os resultados evidenciaram que parâmetros como teor de gordura, proteína e estabilidade do leite exercem influência significativa no desempenho industrial e na escolha do tipo de queijo a ser produzido. A análise comparativa entre as características do leite e as exigências tecnológicas dos queijos coalho, cheddar, parmesão e gorgonzola reforçou a importância de uma destinação adequada da matéria-prima, visando maior rendimento, padronização e qualidade do produto final.

Nesse contexto, a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial, por meio do algoritmo Perceptron, mostrou-se eficaz como ferramenta de apoio à classificação do leite. O modelo foi capaz de identificar padrões relevantes nos dados físico-químicos e classificar as amostras de acordo com sua adequação para diferentes tipos de queijo, demonstrando potencial para auxiliar a tomada de decisão tanto em ambientes industriais quanto em propriedades de pequeno e médio porte.

Conclui-se, portanto, que a integração entre o controle de qualidade do leite e ferramentas computacionais baseadas em Inteligência Artificial contribui para a modernização da cadeia produtiva do leite, possibilitando a redução de perdas, o aumento da eficiência produtiva e a agregação de valor à matéria-prima. Os objetivos propostos neste trabalho foram plenamente alcançados, evidenciando a viabilidade técnica do uso de modelos de classificação como apoio ao processamento e à destinação tecnológica do leite.

REFERÊNCIAS

- ALVES, T. R.; GONÇALVES, M. M. **Qualidade do leite e rendimento industrial de queijos**. Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos, v. 27, n. 1, p. 1–12, 2024.
- Analizador de leite Master Mini AK510: manual técnico**. AKSO. São Leopoldo: AKSO, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE QUEIJOS. ABIQ. **Relatório anual do setor de queijos**. São Paulo: ABIQ, 2024.
- BISHOP, C. M. **Pattern recognition and machine learning**. New York: Springer, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 7, de 3 de maio de 2017**. Diário Oficial da União, Brasília, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 77, de 26 de novembro de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, 2018.
- CUNHA, R. L. et al. **Indicadores de qualidade do leite e seus impactos no rendimento industrial**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 49, p. 1–10, 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. **Anuário do leite 2025**. Brasília: Embrapa, 2025.
- EMBRAPA GADO DE LEITE. **Qualidade do leite e seus impactos na indústria de laticínios**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2020.
- EMBRAPA GADO DE LEITE. **Cenários e perspectivas do setor lácteo brasileiro**. Juiz de Fora: Embrapa, 2022.
- FERREIRA, M. A.; GOMES, J. F. **Qualidade microbiológica do leite e implicações tecnológicas**. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 74, n. 2, p. 45–56, 2019.
- FERREIRA, M. A.; GOMES, J. F. **Micro-organismos psicrotóxicos e qualidade de queijos**. Revista Brasileira de Ciência de Alimentos, v. 41, n. 3, p. 1–9, 2021.
- FISHER, R. A. **The use of multiple measurements in taxonomic problems**. Annals of Eugenics, v. 7, n. 2, p. 179–188, 1936.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAO. **Dairy production and sustainability**. Rome: FAO, 2020.
- FOX, P. F.; UNIACKE-LOWE, T.; McSWEENEY, P. L. H.; O'MAHONY, J. A. **Fundamentals of cheese science**. New York: Springer, 2017.
- GARCIA, R. et al. **Machine learning applied to dairy quality prediction**. Journal of Dairy Science, v. 104, n. 5, p. 1–12, 2021.

- HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. 3. ed. New York: Pearson, 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
- KUMAR, A.; SINGH, R. **Artificial intelligence in dairy technology**. International Journal of Dairy Technology, v. 73, n. 2, p. 245–256, 2020.
- LEITE instável não ácido (LINA). **Revista Eletrônica de Veterinária**. Málaga, 2017.
- MADUREIRA, A. R.; NASCIMENTO, J. S. **Parâmetros tecnológicos do leite na produção de queijos**. Ciência Rural, v. 50, n. 4, p. 1–9, 2020.
- OLIVEIRA, L. P.; SENA, M. A. **Valorização de queijos artesanais e desenvolvimento regional**. Revista de Economia Rural, v. 61, n. 2, p. 1–15, 2023.
- OLIVEIRA, R. A.; MELO, D. S. **Boas práticas agropecuárias e controle de resíduos no leite**. Revista Agropecuária Brasileira, v. 56, n. 7, p. 1–10, 2021.
- PORTO, A. C. **Projeto FIV Ceará e seus impactos na pecuária leiteira**. Fortaleza: Sistema FAEC/SENAR, 2025.
- ROSENBLATT, F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. **Psychological Review**, v. 65, n. 6, p. 386–408, 1958.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. 4. ed. New York: Pearson, 2021.
- SANTOS, M.; FONSECA, L. **Qualidade do leite e rendimento industrial**. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 74, n. 3, p. 150–162, 2019.
- SILVA, R.; HERNANDES, J. **Leite instável não ácido e impactos industriais**. Revista Brasileira de Ciência Veterinária, v. 27, n. 1, p. 1–8, 2020.
- SILVA, R.; SANTOS, A. **Desenvolvimento da pecuária leiteira no Nordeste brasileiro**. Revista Agropecuária Brasileira, v. 56, n. 9, p. 1–12, 2021.
- TRONCO, V. M. **Manual para controle da qualidade do leite**. 4. ed. Santa Maria: UFSM, 2013.
- WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. **Dairy science and technology**. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- ZHANG, H.; LI, P.; WANG, Y. Artificial intelligence for milk classification. **Food Engineering Reviews**, v. 14, n. 1, p. 45–60, 2022.