



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM DEFESA SANITÁRIA  
ANIMAL – CURSO DE DOUTORADO

**ANNA KAROLINE AMARAL SOUSA GUIMARÃES**

**REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO EM LEITE  
POR ADIÇÃO DE ÁGUA**

SÃO LUÍS

2023

**ANNA KAROLINE AMARAL SOUSA GUIMARÃES**

**REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO EM LEITE  
POR ADIÇÃO DE ÁGUA**

Tese apresentada junto ao Programa de Pós-graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal (Curso de Doutorado) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), para a obtenção do título de Doutor em Defesa Sanitária Animal.

Orientadora: Profa. Dr<sup>a</sup>. Nancyleni Pinto Chaves Bezerra

Co-orientador: Prof. Dr. Danilo Cutrim Bezerra

SÃO LUÍS

2023

Guimarães, Anna Karoline Amaral Sousa.

Rede Neural Artificial para detecção de adulteração em leite por adição de água. / Anna Karoline Amaral Sousa Guimarães. – São Luís, 2023.

94 f

Tese (Programa de Pós-Graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal.) - Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

Orientadora: Profa. Dra. Nancyleni Pinto Chaves Bezerra.

Co-orientador: Prof. Dr. Danilo Cutrim Bezerra

1.Laticínios. 2.Métodos analíticos tradicionais. 3.Ultrassom. I.Título.

CDU: 637.1

**ANNA KAROLINE AMARAL SOUSA GUIMARÃES**

**REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO EM LEITE  
POR ADIÇÃO DE ÁGUA**

Tese apresentada junto ao Programa de Pós-graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal (Curso de Doutorado) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), para a obtenção do título de Doutor em Defesa Sanitária Animal.

Aprovada em: 10/07/2023

Profa. Dra. Nancyleni Pinto Chaves Bezerra  
Orientadora  
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Prof. Dr. Kleves Vieira de Almeida  
1º Examinador (Externo)  
Universidade de New Hampshire – Durham  
(EUA)

Profa. Dra Joyce Bitencourt Athayde Lopes  
2º Examinador (Externo)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
do Maranhão - IFMA

Profa. Dra Diana Valadares Pessoa  
3º Examinador (Externo)  
Universidade Estadual do Maranhão -UEMA

Profa. Dra Viviane Correa Silva Coimbra  
4º Examinador (Interno)  
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

SÃO LUÍS

2023

A minha família, Beatriz, Cristina e Bruno, por todo amor, paciência e apoio, todos os dias.

Aos meus pais, por me ensinarem que o estudo abre as portas para o mundo.

Ao príncipe por estar ao meu lado neste sonho.

**Com amor dedico!**

## AGRADECIMENTOS

“Não te mandei eu? Esforça-te, e tem bom ânimo; não te atemorizes, nem te espantes; porque Senhor teu Deus está contigo, por onde quer que andares” (Josué 1:9)

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos concedidas em minha vida e na vida da minha família, por todo amor manifestado através dos milagres que vivo.

Ao meu pai e minha mãe por tudo o que me ensinaram na vida.

Ao Bruno Guimarães por seu amor, à Beatriz e Cristina Guimarães por estarem sempre presentes nos momentos que eu mais precisei, por me apoiaram mostrando o quanto é necessário acreditar que tudo pode dar certo, amo vocês e sempre estarei aqui para tudo, por vocês.

A minha orientadora Nancyleni Bezerra, por sua amizade e carinho, por ter me ajudado a transformar um sonho em realidade. Por todo apoio e compreensão, sem a sua ajuda esse trabalho não seria possível, meu carinho e admiração pela grande profissional e amiga que és; levo em minha vida uma gratidão eterna por toda sua ajuda nesse trabalho.

A equipe executora deste trabalho: Professor Danilo Cutrim Bezerra e Marcelo de Abreu Falcão, Maria e todos da Fazenda Santo expedito, Davilly de Sousa Costa, Greiciane dos Santos de Jesus, Sara Regina Pinheiro Serra. Vocês foram essenciais para a execução deste trabalho.

As minhas amigas Margarida Prazeres e Rosiane Barros pelo companheirismo e amizade, seus exemplos foram fundamentais em minha jornada acadêmica e profissional.

A Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, especialmente ao Programa de Pós-graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal por permitir de forma tão calorosa e receptiva o meu retorno como pós-graduanda em Defesa Sanitária Animal.

Ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Defesa Sanitária Animal por possibilitar esse enorme aprendizado e experiência. Aos meus caros colegas de turma que me permitiram conviver e aprender com eles durante esta jornada.

Muito Obrigada!

“Dulcius ex asperis”

Mais doce após as dificuldades...

## RESUMO

Para o controle da qualidade do leite, análises são realizadas por amostragem, com o emprego de métodos laboratoriais que demandam tempo, apresentam por vezes custo elevado e em determinadas situações, o emprego de reagentes perigosos/tóxicos. Métodos analíticos oficiais de rotina e de detecção de fraudes podem não serem totalmente eficazes no diagnóstico de irregularidades no leite, sendo necessárias análises complementares. Nesse sentido, o objetivo principal do trabalho foi desenvolver uma rede neural artificial (RNA) para detectar adulteração no leite cru por adição de água e como objetivo secundário, comparar metodologias oficiais e a espectroscopia por ultrassom para a avaliação das características físico-químicas do leite. Para isso, foram utilizadas 125 amostras de leite cru. Destas, 25 foram coletadas em frascos de vidro borosilicato com capacidade de um litro para realização dos métodos oficiais (MO) e a comparação com a espectroscopia de ultrassom (US) para a determinação dos teores de gordura e proteína, densidade, índice crioscópico, sólidos totais (ST) e sólidos não gordurosos (SNG). Já, as 100 amostras restantes foram acondicionadas em tubos tipo Falcon com capacidade de 200 mL e utilizadas para elaboração da RNA, com a adulteração de 20% (n=20) dessas amostras por adição de valores percentuais crescentes de água destilada (1%, 5%, 10% e 20%), o que resultou em 80 amostras adulteradas e 80 amostras não adulteradas, avaliadas unicamente por espectroscopia de ultrassom. Para o desenvolvimento da arquitetura da RNA, as 160 amostras de leite foram distribuídas aleatoriamente em três subgrupos: (i) treinamento (60%); (ii) validação (20%); e, (iii) teste (20%). Os valores das variáveis foram normalizados entre 0 e 1. Para determinar a configuração da RNA foi utilizado o *software* SNN® e testadas as RNAs do tipo *Radial-Basis Function* (RBF) e *Multilayer perceptron* (MLP). Como resultados do estudo, tem-se que as densidades médias e os teores médios de proteína determinados pelo US e pelos MO não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ). Os teores médios de gordura e os valores médios do índice crioscópico, ST e SNG, obtidos pelo US e pelos MO foram diferentes ( $P = 0,026$ ,  $P = 0,040$ ,  $P < 0,001$ ,  $P = 0,014$ , respectivamente), as correlações obtidas na análise desses parâmetros foram positivas ( $R = 0,470$ ,  $R = 0,118$ ,  $R = 0,087$  e  $R = 0,315$ , respectivamente) e as acurácias dos métodos foram de 0,180, 0,058, 0,155 e 0,075, respectivamente. Para a classificação das amostras de leite, a melhor rede foi a que apresentou menor número de erros de classificação, menor diferença entre os erros de classificação nos subgrupos (treinamento, validação e teste), e menor número de neurônios na camada oculta. A melhor rede de classificação foi a rede neural RBF que apresentou 10 neurônios na camada de entrada, 40 neurônios na camada oculta e dois na camada de saída, resultando em 95,37% de amostras adulteradas classificadas corretamente. Conclui-se que a US é uma técnica rápida e os resultados obtidos correlacionam-se àqueles das análises oficiais. As RNAs apresentam grande potencial de uso como ferramenta de avaliação de adulterações de leite com adição de água. Logo, o desenvolvimento de sistemas automáticos, não invasivos, de baixo custo e inteligentes, poderiam desempenhar um papel decisivo no diagnóstico de fraudes em alimentos e na tomada decisão quanto ao julgamento e destino dos produtos adulterados. Mas, para a confiabilidade dos resultados se faz necessário dados balanceados e suficientes para treinamento do modelo a ser testado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Laticínios. Métodos analíticos tradicionais. Ultrassom. Inteligência artificial.

## ABSTRACT

To control the quality of the milk, analyzes are carried out by sampling, using laboratory methods that demand time, are sometimes costly and, in certain situations, use dangerous/toxic reagents. Official routine analytical and fraud detection methods may not be fully effective in diagnosing milk irregularities, requiring additional analysis. In this sense, the main objective of the work was to develop an artificial neural network (ANN) to detect adulteration in raw milk by adding water and as a secondary objective, to compare official methodologies and ultrasound spectroscopy for the evaluation of the physicochemical characteristics of milk. For this, 125 samples of raw milk were used. Of these, 25 were collected in borosilicate glass bottles with a capacity of one liter to carry out the official methods (OM) and compare them with ultrasound spectroscopy (US) for the determination of fat and protein contents, density, cryoscopic index, solids total (ST) and non-fat solids (SNG). The remaining 100 samples were placed in Falcon-type tubes with a capacity of 200 mL and used to prepare the RNA, with adulteration of 20% (n=20) of these samples by adding increasing percentages of distilled water (1%, 5%, 10% and 20%), which resulted in 80 adulterated samples and 80 unadulterated samples, evaluated solely by ultrasound spectroscopy. For the development of the ANN architecture, the 160 milk samples were randomly distributed into three subgroups: (i) training (60%); (ii) validation (20%); and, (iii) test (20%). The values of the variables were normalized between 0 and 1. To determine the ANN configuration, the SNN® software was used and the Radial-Basis Function (RBF) and Multilayer perceptron (MLP) ANNs were tested. As a result of the study, the average densities and average protein contents determined by US and MO did not differ from each other ( $P > 0.05$ ). The mean fat contents and the mean values of the cryoscopic index, ST and SNG, obtained by US and MO were different ( $P = 0.026$ ,  $P = 0.040$ ,  $P < 0.001$ ,  $P = 0.014$ , respectively), the correlations obtained in the analysis of these parameters were positive ( $R = 0.470$ ,  $R = 0.118$ ,  $R = 0.087$  and  $R = 0.315$ , respectively) and the accuracies of the methods were 0.180, 0.058, 0.155 and 0.075, respectively. For the classification of milk samples, the best network was the one that presented the lowest number of classification errors, the lowest difference between the classification errors in the subgroups (training, validation and testing), and the lowest number of neurons in the hidden layer. The best classification network was the RBF neural network that presented 10 neurons in the input layer, 40 neurons in the hidden layer and two in the output layer, resulting in 95.37% of adulterated samples classified correctly. It is concluded that US is a fast technique and the results obtained are correlated with those of the official analyses. The ANNs have great potential to be used as a tool for evaluating adulterations of milk with the addition of water. Therefore, the development of automatic, non-invasive, low-cost and intelligent systems could play a decisive role in the diagnosis of food fraud and in decision-making regarding the judgment and destination of adulterated products. But, for the reliability of the results, it is necessary balanced and sufficient data for training the model to be tested.

**KEY-WORDS:** Dairy. Traditional analytical methods. Ultrasound. Artificial intelligence.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b>	Composição e requisitos físico-químicos do leite cru refrigerado.....	52
<b>Tabela 2.</b>	Valores da acidez Dornic (°D) de 25 amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão.....	53
<b>Tabela 3.</b>	Valores de densidade relativa (g/mL) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão .....	54
<b>Tabela 4.</b>	Valores de índice criscoscópico (° H) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão.....	55
<b>Tabela 5.</b>	Teor de gordura (g/mL) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão.....	56
<b>Tabela 6.</b>	Teor de proteína (g/mL) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão.....	56

### CAPÍTULO IV

<b>Tabela 1.</b>	Means (X), standard deviations (s) and correlation coefficients (R) of physicochemical parameters of all 25 raw milk samples analyzed through official methods (OM) and ultrasound spectroscopy (US), and descriptive levels of paired sample t tests ( $P^1$ ) and linear correlations ( $P^2$ ).....	69
------------------	--	----

### CAPÍTULO V

<b>Tabela 1.</b>	Resumo de pesquisas que versam sobre a utilização de redes neurais artificiais para a detecção da adulteração em alimentos.....	80
<b>Tabela 2.</b>	Valores mínimos, máximos, médias (X) e desvios-padrão (s) dos parâmetros físico-químicos de 160 amostras de leite utilizadas para configurar a arquitetura de rede neural artificial.....	85
<b>Tabela 3.</b>	Redes neurais artificiais testadas para detecção de adulteração em amostras de leite (n= 160) com menores erros quadráticos médios (EQMs) para os dados de validação.....	86
<b>Tabela 4.</b>	Erros de classificação para uma rede neural artificial de função de base radial, com 10 neurônios na camada de entrada e 40 neurônios na camada oculta.....	87

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO III

- Figura 1.** Localização geográfica do município de Bacabeira, estado do Maranhão ..... 50
- Figura 2.** Amostras de leite cru referigerado ácidas no teste do alizarol: cor com variação de marrom ao amarelo e com presença de coágulos fortes (pontos esbranquiçados)..... 53

### CAPÍTULO IV

- Figura 1.** Scatter diagram of fat content between the official methodology (OM) and ultrasound spectroscopy (US) representing the regression line and the coefficient of determination..... 70
- Figura 2.** Scatter diagram of defatted dry extract between the official methodology (OM) and ultrasound spectroscopy (US) representing the regression line and the coefficient of determination..... 72

### CAPÍTULO V

- Figura 1.** Fases executadas para o desenvolvimento de uma rede neural artificial para detecção de adulteração em leite com adição de água..... 83
- Figura 2.** Estrutura de uma rede neural de função de base radial, com 10 neurônios na camada de entrada e 40 neurônios na camada oculta desenvolvida para detecção de adulteração em leite com adição de água..... 87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AGED-MA</b>	Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão
<b>ATER</b>	Assistência Técnica e Extensão rural
<b>CCS</b>	Contagem de Células Somáticas
<b>CEEUA</b>	Comissão de Ética e Experimentação Animal
<b>CMT</b>	California Mastites Test
<b>DL</b>	Deep Learning
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>ESD</b>	Extrato Seco Desengordurado
<b>EST</b>	Extrato Seco Total
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IC</b>	Índice Crioscópico
<b>IA</b>	Inteligência Artificial
<b>IN</b>	Instrução Normativa
<b>IDHM</b>	Índice de Desenvolvimento Humano
<b>LINA</b>	Leite Instável Não Ácido
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MLP</b>	Multi-Layer Perceptron
<b>MO</b>	Método Oficial
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>PCFL</b>	Programa Nacional de Combate à Fraude no Leite
<b>PNQL</b>	Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite
<b>POA</b>	Produtos de Origem Animal
<b>RBF</b>	Radial-Basis Function
<b>RNA</b>	Rede Neural Artificial
<b>RNB</b>	Rede Neural Biológica
<b>RBQL</b>	Rede Brasileira de Laboratórios de Controle de Qualidade de leite
<b>RISPOA</b>	Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal
<b>SNG</b>	Sólidos não gordurosos
<b>ST</b>	Sólidos Totais
<b>SVM</b>	Support Vector Machine
<b>UEMA</b>	Universidade Estadual do Maranhão
<b>US</b>	Ultrassom

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO I

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
<b>1.1</b>	<b>Justificativa e Importância do Trabalho</b> .....	17
<b>1.2</b>	<b>Hipótese do Trabalho</b> .....	18
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	18
<b>1.3.1</b>	<b>Geral</b> .....	18
<b>1.3.2</b>	<b>Específicos</b> .....	18
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da Tese</b> .....	19
	<b>Referências</b> .....	20

### CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	23
<b>2.1</b>	<b>Panorama da Produção de Leite no Mundo, Brasil e no Estado do Maranhão</b> ....	23
<b>2.2</b>	<b>Composição e Qualidade Nutricional do Leite</b> .....	24
<b>2.3</b>	<b>Fraudes em Leite</b> .....	26
<b>2.4</b>	<b>Fiscalização e Legislações</b> .....	27
<b>2.4.1</b>	<b>Técnicas tradicionais para análises de parâmetros físico-químicos do leite</b> .....	28
<i>2.4.1.1</i>	<i>Acidez</i> .....	29
<i>2.4.1.2</i>	<i>Prova do alizarol</i> .....	29
<i>2.4.1.3</i>	<i>Acidez titulável</i> .....	29
<i>2.4.1.4</i>	<i>Crioscopia</i> .....	30
<i>2.4.1.5</i>	<i>Densidade</i> .....	30
<i>2.4.1.6</i>	<i>Gordura</i> .....	30
<i>2.4.1.7</i>	<i>Extrato Seco Total</i> .....	31
<i>2.4.1.8</i>	<i>Extrato Seco Desengordurado</i> .....	31
<i>2.4.1.9</i>	<i>Proteína</i> .....	31
<b>2.4.2</b>	<b>Técnicas espectroscópicas para análise dos componentes do leite</b> .....	32
<b>2.4.3</b>	<b>Inteligência Artificial</b> .....	33
<i>2.4.3.1</i>	<i>Redes neurais artificiais</i> .....	35
	<b>Referências</b> .....	38

### CAPÍTULO III

	<b>QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO LEITE CRU REFRIGERADO FORNECIDO À AGROINDÚSTRIA SOB SERVIÇO DE INSPEÇÃO ESTADUAL NO ESTADO DO MARANHÃO</b> .....	46
	<b>RESUMO</b> .....	46
	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	47
	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	49
	<b>Local de Estudo</b> .....	49
	<b>Amostragem</b> .....	50
	<b>Coleta das Amostras</b> .....	51
	<b>Análises Físico-Química</b> .....	51
	<b>Análise Estatística</b> .....	51
	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	52
	<b>CONCLUSÕES</b> .....	57
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	57

#### CAPÍTULO IV

<b>COMPARISON BETWEEN OFFICIAL METHODS AND ULTRASOUND SPECTROSCOPY USED TO DETERMINE THE PHYSICOCHEMICAL FEATURES OF RAW MILK.....</b>	<b>63</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>63</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>63</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>64</b>
<b>MATERIALS AND METHODS.....</b>	<b>66</b>
<b>Ethical Aspects.....</b>	<b>66</b>
<b>Study Site.....</b>	<b>67</b>
<b>Sampling.....</b>	<b>67</b>
<b>Laboratory Tests.....</b>	<b>67</b>
<b>Official techniques.....</b>	<b>68</b>
<b>Ultrasound spectroscopy.....</b>	<b>68</b>
<b>Data Analysis.....</b>	<b>68</b>
<b>RESULTS AND DISCUSSION.....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>73</b>
<b>ACKNOWLEDGEMENT.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>73</b>

#### CAPÍTULO V

<b>REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO EM LEITE CRU POR ADIÇÃO DE ÁGUA.....</b>	<b>78</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>78</b>
<b>Estado de Arte.....</b>	<b>78</b>
<b>Procedimentos.....</b>	<b>76</b>
<b>Amostras de Leite: obtenção e preparo das análises.....</b>	<b>82</b>
<b>Conjunto de Dados Físico-químicos.....</b>	<b>82</b>
<b>Fases do Experimento.....</b>	<b>82</b>
<b>Preparação de Dados, Treinamento, Validação e Teste.....</b>	<b>83</b>
<b>Apresentação da Rede Neural Desenvolvida.....</b>	<b>85</b>
<b>Conclusões.....</b>	<b>88</b>
<b>Referências.....</b>	<b>88</b>

#### CAPÍTULO VI

<b>6</b>	<b>Considerações Finais.....</b>	<b>92</b>
----------	----------------------------------	-----------

# ***CAPÍTULO I: Introdução Geral***

---

---

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Fraude em alimentos é um assunto de grande relevância para a credibilidade de empresas do setor alimentício, para a saúde pública e segurança dos consumidores e por isso, foi incluída nas normas de qualidade e segurança de alimentos atuais. Apesar da inclusão recente em referências da área, a fraude alimentar é uma prática antiga. Behmer (1987) citado por Ströher (2020) define fraude<sup>1</sup> como “a adição ou subtração parcial ou total de qualquer substância na composição de um determinado produto”.

Segundo a *Food Safety System Certification* (FSSC 22000), fraude em alimentos é um termo coletivo que “abrange a substituição intencional, adição, adulteração ou falsificação de alimentos, ingredientes alimentícios, embalagens alimentícias, rotulagem, informações sobre produtos ou declarações falsas/ enganosas feitas sobre um produto, visando ganho econômico e que podem causar impacto à saúde do consumidor”.

Nas unidades de beneficiamento de leite e derivados, as principais fraudes do leite são o desnate, adição de água, alcalinos, conservantes, reconstituintes, soro de leite e mistura de leite de diferentes espécies animais (ABRANTES; CAMPÊLO; SILVA, 2014).

Os prejuízos resultantes de fraudes no leite *in natura* são representados na indústria de laticínios por redução do valor nutricional, diminuição do rendimento, alteração da qualidade dos produtos beneficiados (queijos, bebidas lácteas etc.) e risco aos consumidores pela presença de substâncias, entre elas, antimicrobianos, reconstituintes de densidade e neutralizante de acidez que podem resultar em danos à saúde da população (BRASIL, 2006; CORTEZ *et al.*, 2010).

A adição de água com o objetivo de aumentar o volume do produto é a fraude mais comum na indústria de lácteos. Essa prática reduz a qualidade nutricional e, conseqüentemente, se converte em prejuízos à saúde, além da competitividade desleal e, sobretudo, a falta de comprometimento com a produção de um alimento em conformidade com o exigido por órgãos reguladores (BARBIERI; ARAÚJO, 2013).

Por ser uma prática recorrente no Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), com objetivo de reduzir e/ou evitar as fraudes, instituiu o Programa Nacional de Combate à Fraude no Leite (PCFL). E, desde o ano de 2007 contempla ações fiscalizatórias focadas na realização de coletas oficiais de amostras de leite UHT (*ultra high temperature*), pasteurizado ou em pó e na verificação de indícios de fraude na matéria-prima.

---

<sup>1</sup>Também conhecido por falsificação ou adulteração.

Os parâmetros oficiais utilizados para o controle de qualidade do leite cru refrigerado incluem teores mínimo de gordura, proteína total, lactose anidra, sólidos não gordurosos (SNG), sólidos totais (ST), acidez titulável, estabilidade ao alizarol, densidade relativa a 15 °C e índice crioscópico (BRASIL, 2018). A crioscopia é a técnica laboratorial utilizada para detectar fraude por adição de água (SANTOS; FONSECA, 2007). O índice crioscópico representa um importante atributo qualitativo do leite “*in natura*” e um dos critérios de autenticidade do leite para consumo humano (TRONCO, 1997).

Wanderley *et al.* (2013) avaliaram o comportamento dos métodos analíticos oficiais de rotina (lipídios, extrato seco desengordurado, acidez titulável, densidade relativa a 15 °C e crioscopia) e de detecção de fraudes utilizadas para leite fluido. Para os referidos pesquisadores, tais análises não foram eficazes na detecção de adulterações, sendo necessárias análises complementares de substâncias neutralizantes da acidez, conservantes e reconstituintes da densidade. Para Zhang *et al.* (2011), é necessário introduzir algum método de detecção sensível e preciso na rastreabilidade de alimentos no intuito de prevenir e verificar fraudes em produtos.

O método de espectroscopia por ultrassom representa uma alternativa para determinação da qualidade físico-química do leite, em razão da rapidez na realização da técnica e na obtenção dos resultados. A tecnologia ultrassônica foi desenvolvida a partir do princípio fundamental de que a matéria é capaz de absorver o som, atenuando-o ou alterando sua velocidade, permitindo estabelecer associação com a composição física e química (PONSANO *et al.*, 2007). Assim, é necessário investigar o potencial de uso do método de espectroscopia por ultrassom para análises dos constituintes físico-químicos do leite.

Outra alternativa para detecção de adulterações no leite são as Redes Neurais Artificiais (RNA) (VALENTE *et al.*, 2014). Por RNA, Ferneda (2006) define: “um campo da ciência da computação ligado à inteligência artificial que busca implementar modelos matemáticos que se assemelhem às estruturas neurais biológicas; apresentam capacidade de adaptar os seus parâmetros como resultado da interação com o meio externo, melhorando gradativamente o seu desempenho na solução de um determinado problema”.

As principais propriedades das RNAs estão relacionadas à capacidade de aprender por exemplos, de interpolar com base em padrões fornecidos e de selecionar propriedades específicas dentro do universo amostral (ABER; AMANI-GHADIM; MIRZAJANI, 2009; SINGH *et al.*, 2009; ELMOLLA; CHAUDHURI; ELTOUKHY, 2010; KHATAEE; ZAREI; POURHASSAN, 2010). A unidade básica para o processamento de informações é o neurônio artificial que pode receber uma ou mais entradas transformando-as em saídas (ABER; AMANI-

GHADIM; MIRZAJANI, 2009; ELMOLLA; CHAUDHURI; ELTOUKHY, 2010; KHATAEE; ZAREI; POURHASSAN, 2010).

As RNAs possuem grande potencial no auxílio de detecção de fraudes, como foi observado por Valente *et al.* (2014) que ao utilizarem esta metodologia constataram o seu potencial de aplicação na interpretação de dados de análises de rotina nos laticínios para classificação do leite em adulterado por soro de queijo e, posteriormente, confirmação do resultado por metodologia oficial.

### 1.1 Justificativa e Importância do Trabalho

O leite e os derivados lácteos, por seu elevado valor nutricional<sup>2</sup>, são indispensáveis à alimentação dos seres humanos, especialmente crianças e idosos (SILVA *et al.*, 2013). Nesse sentido, a qualidade do leite consumido em uma localidade (região, país etc.) é uma constante preocupação dos técnicos e autoridades sanitárias ligadas à área da saúde pública e inspeção e tecnologia de lácteos. Mas, é comum na industrialização do leite diversas fraudes que causam prejuízos econômicos e riscos à saúde dos consumidores, além de problemas para as indústrias, como diminuição do rendimento industrial (ROBIM *et al.*, 2012).

No ano de 2007, a Polícia Federal flagrou duas cooperativas de laticínios no estado de Minas Gerais acusadas de adicionar soro de leite, peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio ao leite longa vida integral, em uma operação que ficou conhecida como “Ouro Branco”. No início de 2013, o Ministério Público desencadeou a “Operação Leite Compensado” com o objetivo de coibir a fraude em leite cru que era realizada por um grupo de transportadores do interior do Rio Grande do Sul com adição de água e ureia (ALMEIDA, 2013). Em 2014, foi deflagrada a chamada “Operação Leite Adulterado” I e II, no estado de Santa Catarina, e o III envolvendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com o objetivo de investigar e punir os envolvidos em adulteração de leite (BRASIL, 2014). Essas informações evidenciam que a fraude em leite é uma prática comum e recorrente.

Para o diagnóstico de fraudes em leite são empregadas técnicas analíticas oficiais (manuais, semiautomatizadas e automatizadas). Porém para a realização destas, há a necessidade de espaço físico (laboratório), equipamentos onerosos (capela para exaustão de gases, destilador de nitrogênio, crioscópico, entre outros) e reagentes (alguns inflamáveis e com

---

<sup>2</sup>Valor nutricional: presença de carboidratos, proteínas, lipídeos e sais minerais.

potencial carcinogênico). Assim, para a ampliação da capacidade do setor de qualidade de produtos de origem animal em diagnosticar fraudes de forma célere é indispensável que ocorra a inclusão de tecnologias disponíveis e de novas ferramentas.

Logo, a importância do tema proposto se justifica pela necessidade de técnicas de detecção de fraude em leite mais sensíveis. Associado a isso, os eixos desse estudo (qualidade de leite cru X fraude em alimentos X técnicas laboratoriais X inteligência artificial) são tratados conjuntamente de forma esparsa na literatura.

Em benefício às ações de monitoramento/fiscalização e produção de alimentos de qualidade, faz-se necessário o uso de tecnologias que promovam celeridade neste processo, possibilitando a otimização das medidas de combate à fraudes para as indústrias e os serviços de inspeção oficial. Considerando a atualidade e relevância do assunto, associado ao fato de que a detecção de fraudes é de suma importância para assegurar a qualidade do leite que chega ao consumidor, como alimento saudável e nutritivo e para garantir o correto rendimento e as boas condições dos produtos derivados e da necessidade premente de inclusão de tecnologias de detecção de fraudes é que se realizou esta pesquisa.

## **1.2 Hipótese do Trabalho**

A hipótese do estudo é que uma rede neural artificial, campo da inteligência artificial, estime com acurácia e precisão a fraude em leite cru refrigerado por adição de água, podendo ser utilizada como alternativa e de forma complementar aos métodos oficiais tradicionais.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Geral**

- Desenvolver uma rede neural artificial (RNA) para detectar adulteração no leite cru por adição de água.

### 1.3.2 Específicos

- Comparar as metodologias oficiais e a espectroscopia por ultrassom para a avaliação das características físico-químicas do leite cru.
- Estimar correlações entre as metodologias oficiais e a espectroscopia por ultrassom para a avaliação das características físico-químicas do leite cru e suas acurácias.
- Elaborar e nutrir uma RNA, para auxiliar na detecção do leite cru adulterado por adição de água.
- Avaliar os dados da RNA, observando sua eficácia e importância dentro das análises de detecção de fraudes no leite.

### 1.4 Estrutura da Tese

Este Trabalho de Tese de Doutorado encontra-se estruturado em seis (06) capítulos:

- **Capítulo I:** refere-se à introdução geral do trabalho, em que está incluída a justificativa e importância do estudo, além da hipótese do trabalho e os objetivos geral e específicos.
- **Capítulo II:** encontra-se a fundamentação teórica do trabalho.
- **Capítulo III:** é apresentado o artigo intitulado “**Qualidade físico-química do leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão**”, publicado no E-Book Avanço em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Editora Científica Digital, ISBN 978-65-5360-090-4, ano de 2022.
- **Capítulo IV:** encontra-se o artigo intitulado “**Comparison Between Official Methods and Ultrasound Spectroscopy Used to Determine the Physicochemical Features of Raw Milk**” aceito para publicação na Revista Acta Veterinaria Brasilica, Qualis Capes (quadriênio 2017-2020) B1 na área de avaliação Medicina Veterinária.
- **Capítulo V:** é apresentada a Rede Neural Artificial (RNA) desenvolvida.
- **Capítulo VI:** Refere-se às considerações finais do trabalho de qualificação.

### Referências<sup>3</sup>

- ABER, S.; AMANI-GHADIM, A. R.; MIRZAJANI, V. Removal of Cr (VI) from polluted solutions by electrocoagulation: Modeling of experimental results using artificial neural network. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1-3, p. 484- 490, 2009.
- ABRANTES, M. R.; CAMPÊLO, C. da S.; SILVA, J. B. A. da. Fraude em leite: Métodos de detecção e implicações para o consumidor. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 73, n. 3, p. 244-51, 2014.
- ALMEIDA, T. V. **Detecção de adulteração em leite: análises de rotina e espectroscopia de infravermelho**. Seminário apresentado ao Curso de Mestrado em Ciência Animal da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2013. 23p.
- BARBIERI, C. R; ARAÚJO, Y. R. S de. A adulteração do leite a partir da adição de água e a violação aos direitos do consumidor. In: **II CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS**, 2., 2013, Francisco Beltrão. Anais [...]. Paraná: CONAP, 2013. p. 1-19.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos, para Controle de Leite e Produtos Lácteos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 14 dez. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Operação Leite Adulterado I e II**. 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/animal/noticias/2014/08/operacao-leiteadulterado-i-e-ii>. Acesso em 20 jan. 2022
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 76, de 26 de novembro de 2018. Ficam aprovados os Regulamentos Técnicos que fixam a identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A, na forma desta Instrução Normativa e do Anexo Único. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 nov. 2018.
- CORTEZ MAS *et al.* Características físico-químicas e análise sensorial do leite pasteurizado adicionado de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 65, n. 376, p. 18-25, 2010.
- ELMOLLA, E. S.; CHAUDHURI, M.; ELTOUKHY, M. M. The use of artificial neural network (ANN) for modeling of COD removal from antibiotic aqueous solution by the Fenton process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, n. 1-3, p. 127-134, 2010.
- FERNEDA, E. Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação. **Ciência da Informação**, v. 35, n. 1, p. 25-30, 2006.

---

<sup>3</sup>Capítulo formatado de acordo com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Normas Brasileiras (NBRs) 105520/2002 (citações), 14724/2011 (trabalhos acadêmicos), 6023/2018 (referências).

FSSC 22000. **Board of Stakeholders Decision List FSSC 22000 Version 5.1**. 2022.

Disponível em: <https://www.fssc.com/schemes/fssc-22000/documents/version-5-1/>. Acesso em: 10 jan. de 2023.

KHATAEE, A. R.; ZAREI, M.; POURHASSAN, M. Bioremediation of malachite green from contaminated water by three microalgae: Neural network modeling. **Clean- Soil, Air, Water**, v. 38, n. 1, p. 96- 103, 2010.

PONSANO, E. G. H. *et al.* Correlação entre métodos tradicionais e espectroscopia de ultrassom na determinação de características físico-químicas do leite. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.1052-1057, 2007.

ROBIM, M. S. *et al.* Pesquisa de fraude no leite UAT integral comercializado no estado do Rio de Janeiro e comparação entre os métodos de análises físico-químicas oficiais e o método de ultrassom. **Revista do Instituto de Laticínio “Cândido Tostes”**, v. 6, n. 389, p. 43-50, 2012.

SANTOS, M. V.; FONSECA, L. F. L. **Estratégia para controle de mastite e melhoria da qualidade do leite**. 2a ed. Barueri (SP): Manole. 2007.

SILVA, J. B. A. *et al.* Qualidade de queijos comercializados na cidade de Recife-PE. **Revista Veterinária e Zootecnia**, v.20, n.2, Suplemento 1, p.249-250, 2013.

SINGH, K. P. *et al.* Artificial neural network modeling of the river water quality: A case study. **Ecological Modelling**, v. 220, v. 6, p. 888-895, 2009.

STRÖHER, J. A. *et al.* detecção de adulterações em leite UHT comercializado no sul do Brasil. In: V CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 5., 2020. **Anais...On line: COINTER PDVAGRO, 2020. 1 CD-ROM.**

TRONCO, V. M. **Controle Físico-Químico do Leite**. In: Manual para Inspeção da Qualidade do Leite. 1997. Santa Maria (RS): UFMS,103-105.

VALENTE, G. F. S. *et al.* Aplicação de redes neurais artificiais como teste de detecção de fraude de leite por adição de soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 6, p. 425-432, nov./dez. 2014.

WANDERLEY, C. H. *et al.* Avaliação da sensibilidade de métodos analíticos para verificar fraude em leite fluido. **Revista de Ciência da Vida**, v. 33, n. 1, p. 54-63, 2013.

ZHANG, J. *et al.* Review of the current application of fingerprinting allowing detection of food adulteration and fraud in China. **Food Control**, v. 22, n. 8, p. 1126-1135, 2011.

## ***CAPÍTULO II: Revisão de Literatura***

---

---

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Panorama da Produção de Leite no Mundo, Brasil e no Estado do Maranhão

A pandemia do Sars-cov-2 trouxe diversos problemas para as cadeias mundiais de produção de alimentos e suprimentos, com consequências negativas para o comércio, elevação dos custos logísticos, desabastecimento dos mercados e inflação, alta dos custos de produção o que ocasionou queda na produtividade das cadeias agropecuárias.

Assim, as projeções das principais referências globais nas produções de leite registraram um leve crescimento da produção mundial de leite no ano de 2021 (MILKPOINT, 2021). Em uma análise da produção mundial de leite antes da pandemia do novo coronavírus, cita-se os dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT, 2019) em que se constata que foram produzidas 706.393.439 toneladas de litros de leite de vaca em 2017, com a Europa responsável por 32,8% de toda a produção.

Os dez maiores países produtores mundiais de leite de vaca produziram 389.475.456 toneladas, o que representa 55% do total do leite do mundo. Os Estados Unidos da América (EUA) ocuparam o primeiro lugar com volume de 97.734.736 toneladas, representando 13,84% da produção mundial, com o maior índice de produtividade média por vaca, de 10.457,39 litros/vaca/ano. A Índia ocupa a segunda posição, com volume de 83.633.570 toneladas de litros de leite e produtividade média por vaca de 1.642,93 litros/vaca/ano (FAOSTAT, 2019).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de leite com volume de 33.490.810 toneladas de litros de leite produzidos em 2017 e produtividade média por vaca, de 1.963,11 litros/vaca/ano (FAOSTAT, 2019). No ano de 2020, a produção de leite no Brasil aumentou 2,8% com volume de 734,08 milhões de litros superior ao ano anterior, totalizando uma produção anual de 35,4 bilhões de litros produzidos formalmente. Atualmente esse número caiu 2,2% em 2021, porém, ainda assim um número significativo (EMBRAPA, 2021).

A atividade leiteira no País está presente em 98% dos municípios brasileiros, com predominância de pequenas e médias propriedades rurais e o envolvimento de aproximadamente quatro milhões de pessoas (BRASIL, 2022). Portanto, essa atividade agropecuária apresenta importante papel socioeconômico para o País na geração de milhões de empregos diretos e indiretos (SANTOS *et al.*, 2021) e por contribuir com a diminuição do êxodo rural, este último aspecto, determinado pelo desenvolvimento do rebanho e aumento da produtividade (ULISSES *et al.*, 2022).

De acordo com o anuário de leite da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021), os cinco maiores estados brasileiros produtores de leite concentraram quase 70 % do total nacional da produção, em que Minas Gerais detém 27,11 % da produção, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul, com 12,45 % e 12,26 %, respectivamente.

Em termos de população bovina, o Brasil possui aproximadamente 218.150.298 de animais (IBGE, 2022), enquanto o estado do Maranhão detém 9.794.158 bovinos, de acordo com a Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão (AGED-MA) (MARANHÃO, 2022). Ribeiro *et al.* (2022) citam que Maranhão está em quinto lugar no *ranking* dos estados nordestinos e em 17ª posição no *ranking* nacional da produção leiteira, com produção de pouco mais de 345 milhões de litros no ano de 2018. Como características adicionais dessa atividade agropecuária, o Estado possui duas principais bacias leiteiras localizadas no médio Mearim e na região Tocantina. E, entre as mesorregiões do Maranhão, o Sul e o Oeste detém, respectivamente, 59% e 20% da produção leiteira no Maranhão e a atividade se configura como importante fonte de renda e segurança alimentar, principalmente, para agricultores familiares.

## **2.2 Composição e Qualidade Nutricional do Leite**

De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), por meio do Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, por leite, sem outra especificação, entende-se: “o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas saudáveis, bem alimentadas e descansadas (BRASIL, 2017). Para Vidal e Neto (2018), o leite é uma emulsão de coloração branca, opaco, duas vezes mais viscoso que a água, de sabor ligeiramente adocicado e de odor pouco acentuado, sendo uma secreção nutritiva produzida pelas glândulas mamárias das fêmeas dos mamíferos. Quanto à designação deste produto de origem animal (POA), o leite de outros animais (ovelha, cabra, búfala etc.) deve ser denominado seguido da espécie de procedência, exceção para o leite de vaca bovina (BRASIL, 2017).

O leite é um dos alimentos mais completos da natureza e sua importância é pautada em seu elevado valor nutritivo, caracterizado pela riqueza de proteínas, vitaminas, gorduras, sais minerais e compostos com alta digestibilidade. A qualidade nutricional desse POA está estreitamente relacionada às características sensoriais, microbiológicas e físico-químicas (SANTOS *et al.*, 2011).

A composição normal do leite cru é de aproximadamente 12,5 % de sólidos totais, dos quais: 3,2 % são proteínas, 3,7 % gorduras e 4,6 % lactose (QUIGLEY, 2010). Para Grosso (2013), a água é o maior componente presente no leite, que representa mais de 87 % de sua constituição, e nela encontram-se dissolvidos os demais componentes (lactose - 4,9 a 5,2 %; lipídios - 3,1 a 3,8% e, proteínas - 3,2%). E, em menor quantidade, são encontrados os sais minerais (fosfatos, citratos, carbonato de sódio, cálcio, potássio e magnésio) e vitaminas (A, D e E – lipossolúveis, C e do complexo B – hidrossolúveis).

No tocante à composição nutricional do leite é importante mencionar que esta pode ser influenciada por diversas variáveis, como: raça, alimentação, idade, número de parições, tempo de lactação e variações climáticas. Porém, há limites nessa variação, seja para detecção de problemas produtivos ou para diagnóstico de adulterações (ABRANTES *et al.*, 2014).

Por sua composição intrínseca, o leite, apresenta perecibilidade e suas características são facilmente alteradas, seja por manipulação incorreta, presença de células somáticas e por ação de micro-organismos (bactérias, fungos, protozoários etc.). Adicionalmente, o leite é um excelente substrato para o desenvolvimento de patógenos deteriorantes e patogênicos (GROSSO, 2013).

Os parâmetros de qualidade do leite são cada vez mais utilizados para detecção de falhas nas práticas de manejo. Nesse sentido, Nazario *et al.* (2009) pontuam que o controle de qualidade é importante por determinar a composição e teor nutritivo do leite e derivados lácteos, além de detectar fraudes e adulterações. Sandoval e Ribeiro (2021) descrevem que para a determinação da qualidade desse POA, avaliações são necessárias, com destaque para a verificação dos parâmetros físico-químicos (estabilidade ao alizarol, acidez titulável, densidade relativa, índice crioscópico e composição - gordura, proteína, extrato seco desengordurado) e dos padrões higiênico-sanitários (contagem total bacteriana, contagem de células somáticas e detecção de resíduos de antibióticos), principalmente.

Aernouts *et al.* (2011) pontuam que a composição do leite apresenta grande valor para o produtor rural, determina o valor econômico da matéria-prima e fornece informações valiosas sobre o metabolismo do animal em produção e é uma ferramenta de diagnóstico para monitorar a saúde individual das vacas e o estado nutricional.

### 2.3 Fraudes em Leite

São considerados produtos fraudados aqueles que apresentem "modificações espontâneas ou propositais de natureza física, química ou biológica que alterem características sensoriais, ou sua composição intrínseca, comprometendo seu valor nutritivo". Assim, o produto pode ser considerado adulterado quando tenha sido empregada substância de qualquer qualidade, tipo ou espécie diferente das expressas na formulação original (BRASIL, 2017).

Nos estabelecimentos de leite e derivados, as principais adulterações do leite são o desnate, a adição de água, de alcalinos, conservantes, reconstituintes, soro de leite e mistura de leite de diferentes espécies animais (ABRANTES *et al.*, 2014). Essas práticas podem ser consideradas crime e estão sujeitas as penalidades cabíveis.

Os prejuízos resultantes das fraudes na indústria de laticínios são representados pela diminuição do rendimento, redução do valor nutricional, alteração da qualidade dos produtos beneficiados (queijos, iogurtes etc.) e o risco aos consumidores pela presença de substâncias, entre elas, agentes antimicrobianos, reconstituintes de densidade e neutralizante de acidez que podem resultar em danos à saúde da população (BRASIL, 2006; CORTEZ *et al.*, 2010).

A adição de água é o tipo de fraude mais comum realizada em leite com o objetivo de aumentar o volume do produto. Essa prática pode reduzir a qualidade e, conseqüentemente, prejuízos à saúde, além da competitividade desleal e, sobretudo, a falta de comprometimento com a produção de um alimento conforme (BARBIERI; ARAÚJO, 2013).

A adulteração do leite é uma realidade premente no Brasil; diante desse cenário, o Programa Nacional de Combate à Fraude no Leite (PCFL) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) vem sendo aprimorado desde o ano de 2007, contemplando ações fiscalizatórias focadas na realização de coletas oficiais de amostras (leite UHT, pasteurizado ou em pó) e na verificação de indícios de fraude.

A gestão eficiente da qualidade do leite é fundamental, concatenada às normas institucionais, tornando a propriedade rural mais eficiente e elevando a produtividade. Produzir leite de qualidade envolve o gerenciamento da propriedade rural, que inclui investir na nutrição animal, higiene das instalações e operações de ordenha, nas condições de armazenamento do leite, entre outros fatores (BUSANELLO *et al.*, 2017; GONÇALVES; TOMAZI; SANTOS, 2017).

## 2.4 Fiscalização e Legislações

Com vistas à melhoria da qualidade do leite, o sistema agroindustrial no Brasil passou por profundas mudanças estruturais desde o final da década de 1980, culminando em transformações nos ambientes institucionais (RIBEIRO *et al.*, 2022) em que se destaca a publicação da Instrução Normativa (IN) nº 51/2002 (BRASIL, 2002). Em dezembro de 2011, por meio da IN nº 62, os parâmetros de qualidade do leite foram atualizados pelo MAPA (BRASIL, 2011). Esta, por sua vez, foi sucedida pelas IN 07 (de maio/16) e IN 31 (de junho/18) (BRASIL, 2016-2018a). Com estes atos normativos, o leite passou a ser refrigerado na propriedade, o que causou forte impacto aos pequenos produtores, em razão da pequena escala de produção, além de impor condições prévias de infraestrutura de refrigeração nas propriedades. Esses fatores passaram a exigir mais organização nos processos estruturais, de comercialização, nos contratos e organizações coletivas (associativas e cooperativas) (CAMPOS *et al.*, 2016; GOLBAN; GOLBAN, 2017).

Posteriormente, ainda referente às mudanças estruturais, com o objetivo de simplificar o entendimento sobre as exigências de qualidade e promover um plano mais robusto de qualificação dos produtores de leite, o MAPA publicou em novembro de 2018 - a IN 76 e a IN 77, em que a primeira se refere às características e à qualidade do leite na indústria, e na segunda são estabelecidos os critérios para a obtenção de um produto de alto valor nutricional e seguro ao consumidor, envolvendo a organização, instalações e equipamentos da propriedade até a capacitação dos técnicos responsáveis pelas tarefas diárias, bem como o controle da mastite, brucelose e tuberculose nos bovinos (BRASIL, 2018 b,c).

Os padrões de normalidade para leite cru refrigerado estão estabelecidos IN nº 76/2018. Consta no Artigo (Art.) 4 desse ato normativo que “o leite cru refrigerado deve atender as seguintes características sensoriais: I – líquido branco opalescente homogêneo; II – odor característico. E no Art. 5º, a matéria-prima deve atender aos seguintes parâmetros físico-químicos:

- I – teor mínimo de gordura de 3,0g/100g (três gramas por cem gramas);
- II – teor mínimo de proteína total de 2,9g/100g (dois inteiros e nove décimos de gramas por cem gramas);
- III – teor mínimo de lactose anidra de 4,3g/100g (quatro inteiros e três décimos de gramas por cem gramas);
- IV – teor mínimo de sólidos não gordurosos de 8,4g/100g (oito inteiros e quatro décimos de gramas por cem gramas);
- V – teor mínimo de sólidos totais de 11,4g/100g (onze inteiros e quatro décimos de gramas por cem gramas);

- VI – acidez titulável entre 0,14 (quatorze centésimos) e 0,18 (dezoito centésimos) expressa em gramas de ácido láctico/100 mL;
- VII – estabilidade ao alizarol na concentração mínima de 72% v/v (setenta e dois por cento);
- VIII – densidade relativa a 15°C/ 15°C (quinze graus Celsius) entre 1,028 (um inteiro e vinte e oito milésimos) e 1,034 (um inteiro e trinta e quatro milésimos); e
- IX – índice crioscópico entre -0,530°H (quinhentos e trinta milésimos de grau Hortvet negativos) e -0,555°H (quinhentos e cinquenta e cinco milésimos de grau Hortvet negativos), equivalentes a -0,512°C (quinhentos e doze milésimos de grau Celsius negativos) e a -0,536°C (quinhentos e trinta e seis milésimos de grau Celsius negativos), respectivamente (BRASIL, 2018b).

#### **2.4.1 Técnicas tradicionais para análises de parâmetros físico-químicos do leite**

A finalidade básica ao se avaliar a qualidade do leite é a necessidade de evitar que ele cause doenças ao ser consumido por seres humanos. Uma avaliação eficiente da qualidade desse POA integra suas características não só organolépticas e microbiológicas, como também nutricionais e físico-químicas (ZOCHE *et al.*, 2002). Outrossim, um leite de qualidade deve apresentar sabor agradável, ausência de agentes patogênicos e contaminantes, reduzida contagem de células somáticas (CCS) e baixa carga microbiana (NAKAMURA *et al.*, 2012). A análise dos aspectos físico-químicos do leite cru está relacionada tanto ao estado de conservação do leite, quanto à investigação de fraudes econômicas contribuindo para que o leite que chega ao laticínio possa ser beneficiado sem maiores transtornos e que possa gerar lucro para a empresa (AGNESE *et al.*, 2002).

A qualidade da matéria-prima para a indústria está diretamente ligada às características do produto final. Sendo assim, o leite cru enquanto matéria-prima, tanto para o processamento de leite fluido quanto para a produção de derivados, deve apresentar-se com boas características, microbiológicas, sensoriais e físico-químicas, por esta razão é indispensável que as indústrias realizem avaliações para a averiguação e controle de qualidade (SANTOS *et al.*, 2021).

Existem diversos métodos bem estabelecidos e documentados para as determinações físico-químicas do leite, como as metodologias adotados pela legislação vigente e, portanto, denominadas de oficiais (BRASIL, 2018 b). Em se tratando do leite cru refrigerado, os parâmetros físico-químicos normalmente analisados são a acidez, índice crioscópico, densidade, proteína, gordura, lactose e sólidos totais.

#### 2.4.1.1 Acidez

O leite *in natura* é naturalmente ácido devido a presença de constituintes como a caseína, fosfatos, citratos, albumina e dióxido de carbono e apresenta potencial hidrogeniônico (pH) que varia de 6,6 a 6,8 (BRITO *et al.*, 2005). Entretanto, a acidez pode aumentar sob situações diversas, entre elas: (i) armazenamento do leite sob refrigeração inadequada; e, (ii) ordenha realizada em condições de higiene não conformes. A elevação da acidez decorre da proliferação de bactérias mesofílicas, cujas enzimas quebram a lactose, formam ácido láctico em compostos secundários, o que resulta na denominada acidez adquirida do leite (PANCOTTO, 2011). A acidez real do leite é a combinação da acidez natural e da acidez adquirida (NASCIMENTO; GALVÃO, 2020).

#### 2.4.1.2 Prova do alizarol

O alizarol é uma mistura de álcool e alizarina em que o primeiro componente tem a função de desidratar o leite, simulando os efeitos que o aquecimento provoca nas proteínas do leite durante o tratamento térmico, ou seja, a estabilidade das micelas de caseína. Já a alizarina, que é um indicador de pH, tem como função estimar o potencial hidrogeniônico da amostra por meio do desenvolvimento da coloração amarela/marrom em pH baixo (indicando que o leite está ácido), e da coloração violeta/lilás em pH alto (indicação de que o leite está com boa resistência (CASTANHEIRA, 2012).

A prova do alizarol é um teste qualitativo simples em que o princípio da técnica se fundamenta na desestabilização das micelas de caseína e na ocorrência de coagulação do leite por efeito de elevada acidez ou desequilíbrio salino. A análise também é utilizada para avaliar a resistência do leite ao tratamento térmico, com a indicação se ele pode ou não ser pasteurizado (CASTANHEIRA, 2012).

#### 2.4.1.3 Acidez titulável

A acidez titulável é uma técnica quantitativa que consiste em uma titulação ácido-base, cujo titulante é uma solução de hidróxido de sódio na concentração 0,11 mol/L, chamada de Solução Dornic com a utilização da fenolftaleína, como indicador. A acidez é expressa como

graus Dornic (° D) (CASTANHEIRA, 2012). Cada 0,1 mL de solução equivale a 1° D. Cada °D corresponde a 0,01% de ácido láctico (TRONCO, 2003).

#### *2.4.1.4 Crioscopia*

A crioscopia determina a temperatura de congelamento do leite, a qual é dependente da concentração de sólidos solúveis presentes na amostra, em especial a lactose. Esse método é útil na detecção de fraude por adição de água no leite. De acordo com Santos e Fonseca (2012), resultados acima de 0,530 °H indicam adição de água, já que esta prática provoca aumento da temperatura de congelamento do leite, uma vez que esta tende a se aproximar do ponto de congelamento da água (0 °C), já resultados de crioscopia baixa podem indicar adulteração do leite por adição de reconstituintes, como cloreto de sódio ou álcool.

#### *2.4.1.5 Densidade*

A análise da densidade tem por objetivo verificar a relação massa (g) / volume (L) do leite e auxilia na descoberta de fraudes, principalmente pela adição de água (CASTANHEIRA, 2012). É normalmente medida a 15 °C ou corrigida para esta temperatura (VENTURINI; SARCINELLI; SILVA, 2007). Pode variar entre 1,023 g/mL e 1,040 g/mL a 15 °C com valor médio de 1,032 g/mL (SILVA, 1997). Seu valor varia em função de dois grupos de substâncias: (i) concentração de elementos em solução e suspensão; e, (ii) porcentagem de gordura. A adição de água no leite reduz a densidade, uma vez que os solutos estarão mais diluídos. Já no caso do desnatado prévio, a densidade aumenta, uma vez que a gordura é mais leve que a água (SANTOS; FONSECA, 2012).

#### *2.4.1.6 Gordura*

Diante da importância para a produção de derivados e de seu alto valor comercial, a determinação precisa do percentual de gordura no leite é primordial para a indústria de laticínios. Esta análise tem por finalidade verificar o teor de gordura do leite. No procedimento,

a amostra é tratada com ácido sulfúrico e álcool isoamílico para promover a separação e quantificação da gordura. O ácido atua dissolvendo as proteínas que estão ligadas a gordura, diminuindo a viscosidade do meio reacional, aumentando a densidade da fase aquosa e fundindo a gordura, pela ação do calor liberado na reação. O álcool isoamílico atua como extrator da gordura. A leitura do teor de gordura da amostra é realizada na escala de um butirômetro, após passar por uma centrifugação e imersão em banho-maria (CASTANHEIRA, 2012).

#### *2.4.1.7 Extrato seco total (EST)*

O extrato seco total (EST), atualmente definido com sólidos não gordurosos (SNG), corresponde a todos os componentes sólidos do leite: gordura, carboidratos, proteínas e sais minerais do leite (Valsechi, 2001). O método mais empregado na determinação deste parâmetro é o indireto, que se fundamenta na relação entre a densidade e a percentagem de matéria gorda, sendo, portanto, necessário definir previamente ambos os parâmetros (Pancotto, 2011). O método indireto faz uso de um disco de alumínio graduado (disco de Ackermann) que consta de dois discos sobrepostos. O disco superior (menor) tem graduações correspondentes à densidade; o disco inferior (maior) possui duas graduações: uma interna com porcentagem de gordura e a outra com porcentagem de matéria seca (Tronco, 2003).

#### *2.4.1.8 Extrato seco desengordurado (ESD)*

O extrato seco desengordurado (ESD), atualmente definido com sólidos totais (ST), é obtido pela remoção da gordura do extrato seco total (Pancotto, 2011).

#### *2.4.1.9 Proteína*

A determinação da concentração de proteínas no leite é de grande importância (em especial a fração caseínica) para a fabricação derivados, como os queijos, uma vez que um teor

mais alto de caseína é um dos fatores para obtenção de um maior rendimento. Além disso, a proteína pode ser utilizada para pagamento de leite por qualidade.

O método de Kjeldahl determina a matéria nitrogenada total de uma amostra. A base do processo de Kjeldahl é o deslocamento do nitrogênio presente na amostra, transformando-se em sal amoniacal (sulfato de amônio, por meio da utilização do ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ ). A seguir, desse sal obtido, desloca-se o amônio recebendo-se sobre a solução ácida (ácido bórico). Por titulação determina-se a quantidade de nitrogênio que lhe deu origem (SANTANA; FAGNANI; SOUZA, 2016).

#### **2.4.2 Técnicas espectroscópicas para a análise dos componentes do leite**

Os métodos oficiais para a avaliação dos parâmetros físico-químicos do leite exigem tempo, mão de obra treinada e requerem reagentes caros e, por vezes perigosos para sua execução. Como a indústria necessita de respostas imediatas, constituiu objeto de estudos nos últimos tempos técnicas que exijam menor manipulação, preparo e tempo de análise em menor tempo, além de boa acurácia (MENEGON *et al.*, 2020). Um exemplo dessas técnicas, é análise por infravermelho que permite analisar um número elevado de amostras com acurácia e precisão e representa o principal método usado nos laboratórios oficiais de controle da qualidade de leite no Brasil e no mundo (INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, 1999). Porém, os elevados custos de aquisição dos equipamentos, ainda limitam sua adoção em diversos laboratórios, nos estabelecimentos beneficiadores e nas propriedades rurais (MENEGON, 2016).

O método de espectroscopia por ultrassom representa uma alternativa para determinação físico-química do leite, em razão do menor custo do equipamento em relação à técnica por infravermelho. A tecnologia ultrassônica foi desenvolvida a partir do princípio fundamental de que a matéria é capaz de absorver o som, atenuando-o ou alterando sua velocidade, permitindo-se estabelecer associação com composição física e química (BUCKIN *et al.*, 2003; DUKHIN *et al.*, 2003; PONSANO *et al.*, 2007). Para Gunasekaran e Ay (1994), o uso dessa técnica na indústria de alimentos se iniciou na década de 1960, em análises de teores de sólidos não gordurosos e gordura do leite.

A espectroscopia de ultrassom baseia-se no princípio físico de que o movimento de qualquer onda é afetado pelo meio por onde ela está se propagando. Dessa forma, a propagação

das ondas sonoras em um determinado meio fornece informações sobre ele pela análise da transmissão ou da reflexão dos sinais gerados. Essa técnica emprega ondas sonoras de alta frequência que imprimem forças intermoleculares aos materiais em teste. As oscilações de compressão ou descompressão das ondas ultrassônicas causam oscilações no arranjo molecular da amostra, que responde com forças de atração ou repulsão intermoleculares (PONSANO *et al.*, 2007).

De acordo com Ponsano *et al.* (2007), as amplitudes de deformação nas ondas ultrassônicas empregadas na determinação analítica nas amostras são extremamente pequenas, tornando a técnica não destrutiva, o que representa uma oportunidade para caracterização de produtos alimentícios de base líquida, incluindo amostras opacas como o leite (BUCKIN *et al.*, 2003; DUKHIN *et al.*, 2003; NELLIGAN, 2003). Além de ser automática, a tecnologia não utiliza reagente e pode ser utilizada para qualquer tipo de leite fluido (PONSANO *et al.*, 2007).

Estudos preliminares com número limitado de amostras têm indicado alta correlação dos valores de gordura e proteína obtidos pelo método ultrassom com os procedimentos oficiais para análise do leite cru, embora com divergências nas estimativas das médias (PONSANO *et al.*, 2007; VENTUROSOSO *et al.*, 2007). Assim, ainda é necessário investigar o potencial do uso do método de espectroscopia por ultrassom para análises dos teores de gordura e proteína do leite.

### **2.4.3 Inteligência artificial**

Se vivencia uma nova revolução industrial na contemporaneidade impulsionada pelo desenvolvimento de tecnologias avançadas, como a Inteligência Artificial (IA). As máquinas não realizam apenas trabalhos manuais, mas também trabalhos racionais, tarefas que requerem o uso do que se considera inteligência (LUDERMIR, 2021).

Algumas técnicas de IA foram definidas nos anos 1950 com o avanço dos computadores (no contexto da segunda guerra mundial) e com a publicação do artigo de Alan Turing (1950) (CARMO, 2003; LUDERMIR, 2021; PINHEIRO; OLIVEIRA, 2022). Embora a IA venha sendo estudada há mais de meio século, no Brasil, estudos ganharam força na última década, em decorrência da grande quantidade de aparelhos conectados à internet que utilizam a IA para facilitar processos (CARMO, 2003; PINHEIRO; OLIVEIRA, 2022).

Para Shmell (1999), Pacheco (2003) e Ludermir (2021), a IA busca a compreensão e o desenvolvimento de entidades inteligentes. Tem como objetivo maior, uma teoria sobre inteligência, que explique o comportamento que naturalmente ocorre nessas entidades. Orientando a criação de entidades artificialmente capazes de exibir comportamentos inteligentes. Para Oliveira (2018), IA é um conjunto de ações que, se fossem realizadas por um ser humano seriam consideradas inteligentes.

Pacheco (2003) relata que um sistema de IA não é capaz somente de armazenamento e manipulação de dados, mas também da aquisição, representação e tratamento de conhecimento, incluindo a capacidade de deduzir ou inferir novos conhecimentos e novas relações sobre fatos e conceitos – partindo do conhecimento existente. Para Soledade, Jesus e Toutain (2018), a evolução da IA se dá a partir do desenvolvimento dos complexos algoritmos que a cada dia alcançam proporções até então inimagináveis.

As pesquisas em IA estão relacionadas com áreas de aplicação que envolve o raciocínio humano, tentando imitá-lo e realizando inferências. O campo de IA tem como objetivo, o contínuo aumento da “inteligência” do computador, pesquisando, para isso, também os fenômenos da inteligência natural (CARMO, 2003). Portanto, para a IA é necessário antes a existência de uma gama de dados aliados a algoritmos inteligentes para trabalharem dados de forma especializada em uma determinada área, a fim de produzir previsões, interpretação e resolução de problemas, ou seja, para se ter IA é preciso que tenha prioritariamente algoritmos e o seu aprimoramento com o tempo (PINHEIRO; OLIVEIRA, 2022).

Aliar grande quantidade de dados a algoritmos (instruções para computador) inteligentes cria padrões e possibilita o aprendizado e o aprimoramento da IA nas suas funções ou mecanismos da qual foram programadas para realizar, conforme os dados que serão fornecidos (ALVES, 2020).

Uma das mais importantes ideias que emergiram das pesquisas em IA é que fatos e regras (conhecimento declarativo) podem ser representados separadamente dos algoritmos de decisão (conhecimento procedimental) (CARMO, 2003). Na IA, o sistema é estruturado de forma a separar o código executável dos dados ou conhecimento do sistema. Em IA, “conhecimento” vem significar a informação que um programa de computador necessita para poder comportar-se de maneira inteligente. A linha básica de pesquisas tem sido a de simular inteligência por meio de programas de computador cuja principal característica é o conhecimento e a representação deste (BRACHMAN, 1990).

O aumento da capacidade dos computadores atuais está associado ao aprendizado de máquina. Entretanto, não é de hoje que se deseja fazer que o computador aprenda. Por exemplo, Alan Turing, o pai da computação, desenvolveu um teste em 1950, conhecido como teste de Turing, para saber se os computadores eram capazes de aprender. De maneira genérica pode-se dizer que o teste de Turing consiste em um humano conseguir saber se ele está conversando com outro humano ou com uma máquina. Se o humano não conseguir descobrir se ele está conversando com uma máquina, é um indicativo de que o sistema é inteligente e passou no Teste de Turing. Na atualidade muitos sistemas de IA passam no teste de Turing, mas a capacidade de aprender dos computadores ainda não é igual à capacidade de aprender dos humanos (LUDERMIR, 2021).

O objetivo principal da pesquisa em IA é que os computadores devem “conhecer” muito do que cada ser humano conhece sobre o mundo e sobre os organismos naturais ou artificiais que nele habitam. Há uma concordância entre os pesquisadores que a maioria dos domínios em IA requer a utilização de informação do conhecimento declarativo e procedimental. Na prática, a maioria das representações emprega uma combinação destas duas abordagens (CARMO, 2003).

#### *2.4.3.1 Redes neurais artificiais*

Uma rede neural artificial (RNA) é um sistema de computação que visa trabalhar no processamento de dados de maneira semelhante ao cérebro humano utilizando estruturas análogas às redes neurais biológicas (RNB) (SANTANA, 2007). Para Ludermir (2021), as RNAs são modelos matemáticos inspirados em estruturas neurais biológicas que têm a capacidade computacional adquirida por meio de aprendizado. O processamento da informação em RNA é feito nos neurônios artificiais, conhecidos como neurônio McCulloch e Pitts (ou modelo MCP).

As redes neurais representam uma tentativa de superar as limitações da computação convencional utilizando algumas vantagens do cérebro humano, como: alto grau de paralelismo, tolerância a falhas, robustez, capacidade de adaptação, auto-organização etc. As semelhanças dessas redes ao cérebro estão no fato de que o conhecimento é obtido por meio de etapas de aprendizagem (treinamento) e pesos sinápticos são usados para armazenar o conhecimento. Os pesos sinápticos são as “sinapses nervosas” nas RNAs. Tais pesos são responsáveis pelo aprendizado e armazenamento de informações (MATHIAS, 2006).

Uma RNA é um sistema paralelo e distribuído composto por um conjunto de neurônios artificiais que são as unidades de processamento. Essa forma de computação é utilizada para aproximar funções matemáticas (lineares e não-lineares) (LUDERMIR, 2021).

A quantidade de conexões entre os neurônios (pesos sinápticos) é importante no processo de aprendizado. Poucas conexões fazem com que a rede tenha um aprendizado insuficiente para o problema a ser aplicado (*underfitting*). Uma rede com grande número de conexões pode ter o processo de generalização prejudicado pelo fato que a rede se adapta a ruídos (*overfitting*) (TETKO; LIVINGSTONE; LUIK, 1995).

Para resolver problemas mais complexos são necessárias redes de Perceptrons organizadas em múltiplas camadas MLP (do inglês, *Multilayer Perceptrons*). O algoritmo mais utilizado para treinar as MLP chama-se backpropagation (RUMELHART *et al.*, 1986) e resolveu muitos problemas, mas a solução dos problemas não é garantida (problemas de mínimos locais). E, outras técnicas, SVM (Support Vector Machines) (CORTES; VAPNIK, 1995), por exemplo, começaram a apresentar melhores resultados que Redes Neurais na solução de vários problemas, como no reconhecimento de imagens, até que o uso de Redes Neurais com muitas camadas escondidas, que são chamadas de Redes Neurais Profundas (do inglês, Deep Neural Networks) (LECUN *et al.*, 2015) começassem a ser utilizadas largamente.

Nas Redes Neurais Profundas, de forma geral, as redes deixam de ter estruturas totalmente conectadas (um neurônio se conecta a todos os neurônios da camada anterior). Em vez disso, cada neurônio passa a se conectar com um conjunto limitado de neurônios da camada anterior, restringindo a conexão entre neurônios a janelas limitadas (também conhecidas como filtros ou *kernels*). Camadas que utilizam esse tipo de mecanismo são chamadas de camadas de convolução. Tais camadas são definidas como um conjunto de filtros (*kernels*) que, por sua vez, são matrizes que definem uma determinada característica visual que se deseja detectar na imagem. As Redes Profundas têm também uma camada de *Pooling*, uma grade de unidades, que sumarizam de alguma forma as ativações dos neurônios com que se conectam (LUDERMIR, 2021).

O *Deep Learning* (DL), é uma subárea do aprendizado da máquina que está tornando a IA cada vez mais eficiente (AGGARWAL *et al.*, 2018). Nas últimas décadas, o DL provou ser uma ferramenta muito poderosa devido à sua capacidade de lidar com grandes quantidades de dados. Nesse sentido, DL vem superando as técnicas tradicionais, principalmente no reconhecimento de padrões e tem como principais características as várias camadas ocultas na sua arquitetura (LEITE, 2022).

O DL ou aprendizagem profunda baseia-se no *machine learning* para, a partir de uma grande quantidade de dados e após inúmeras camadas de processamento de algoritmos, conseguir que um computador aprenda por si mesmo e execute tarefas semelhantes às dos seres humanos, tais como a identificação de imagens, o reconhecimento de voz ou a realização de previsões, de forma progressiva (MAHAJAN; CHAUDHARY, 2019; ARAVINDA *et al.*, 2021; GUMELAR *et al.*, 2020).

Independentemente do tipo (*machine learning* ou *deep learning*), a propriedade mais importante das RNA é a habilidade de aprender a partir de seu ambiente e com isso melhorar seu desempenho. Isso é feito por meio de um processo de aprendizagem que é um processo iterativo de ajustes aplicado aos seus pesos sinápticos, - o algoritmo de treinamento. O aprendizado ocorre quando a rede neural atinge uma solução generalizada para uma classe de problemas (MATHIAS, 2006).

De acordo com o problema a ser solucionado é escolhido o tipo neural. Deve ser selecionada uma arquitetura em que o número de camadas utilizadas, a quantidade de neurônios em cada camada, o tipo de sinapse, o processo de treinamento etc., deve ser previamente determinada (SANTANA, 2007).

Em uma análise quanto à aplicabilidade da IA e das RNAs, ambas trazem muitos benefícios, tais como: melhorias nos serviços de saúde; processamento de linguagem natural: voz para texto, tradução; melhorias na educação; energia limpa e barata; detecção de fraudes; meios de transportes mais seguros (aplicativos de transporte), rápidos (rota otimizadas) e limpos. Mas, têm impactos negativos como a perda de vagas de trabalho. Vagas de empregos menos qualificados que aumentam as desigualdades sociais. Nesse sentido, serão necessários planejamento e ações de governo para minimizar os impactos negativos da IA, acrescido do uso responsável dessas técnicas. Fazem-se necessários estudos sobre impactos sociais e éticos da IA, assim como estudos sobre seus riscos, seus impactos, seus benefícios – evitando receios infundados e problemas reais (LUDERMIR, 2021).

## Referências<sup>4</sup>

- ABRANTES, M. R.; CAMPÊLO, C. da S.; SILVA, J. B. A. da. Fraude em leite: Métodos de detecção e implicações para o consumidor. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 73, n. 3, p. 244-51, 2014.
- AERNOUTS, B. *et al.* Visible and near-infrared spectroscopic analysis of raw milk for cow health monitoring: Reflectance or transmittance? **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 11, p. 5315-5329, 2011.
- AGGARWAL, C. C. *et al.* Neural networks and Deep Learning. **Springer**, v. 10, p. 978-973, 2018.
- AGNESE, A. P. *et al.* Avaliação físico-química do leite cru comercializado informalmente no Município de Seropédica – RJ. **Revista Higiene Alimentar**, v. 16, n. 94, p. 58-61, 2002.
- ALVES, P. M. **Inteligência artificial e redes neurais**. IPEA: Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade: [Brasil], 2020. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/cts/pt/centralde-conteudo/artigos/artigos/106-inteligencia-artificial-e-redes-neurais#\\_ftn1](https://www.ipea.gov.br/cts/pt/centralde-conteudo/artigos/artigos/106-inteligencia-artificial-e-redes-neurais#_ftn1). Acesso em: 24 mar. 2023.
- ARAVINDA, C. V. *et al.* A demystifying convolutional neural networks using Grad-CAM for prediction of coronavirus disease (COVID-19) on X-ray images. In: **DATA SCIENCE FOR COVID19**. Academic Press, 2021. p. 429-450.
- BARBIERI, C. R; ARAUJO, Y. R. S de. **A adulteração do leite a partir da adição de água e a violação aos direitos do consumidor**. 2013. Disponível em: <[http://cac.php.unioeste.br/eventos/conape/anais/ii\\_conape/Arquivos/direito/Artigo23\\_2.pdf](http://cac.php.unioeste.br/eventos/conape/anais/ii_conape/Arquivos/direito/Artigo23_2.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- BRACHMAN, R.J. The future of knowledge representation. In: **Proceedings Eighth National Conference on Artificial Intelligence**. Boston-USA. vol 2, 1990. p. 1082-1092.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 51, de 18 de setembro de 2002. Aprovar o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, em conformidade com os Anexos desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 20 set. 2002.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos, para Controle de Leite e Produtos Lácteos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e

---

<sup>4</sup>Capítulo formatado de acordo com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Normas Brasileiras (NBRs) 105520/2002 (citações), 14724/2011 (trabalhos acadêmicos), 6023/2018 (referências).

Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, 14 dez. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011. Dispõe sobre Regulamentos Técnicos de Produção, Identidade, Qualidade, Coleta e Transporte do Leite. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Resolução nº 4174, de 28 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a classificação de produtores rurais e sobre critérios para a apuração de saldos e para a fiscalização de financiamentos rurais. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 28 dez. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 7, de 3 de maio de 2016. A tabela 2 do item 3.1.3.1 do Anexo II da Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011, que aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, passa a vigorar com a seguinte redação. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 03 mai. 2016.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 9.013 de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889 de 23 de novembro de 1989 que dispõe sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 de março de 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 31, de 29 de junho de 2018a. A Tabela 2 do item 3.1.3.1, do Anexo II da Instrução Normativa nº. 62, de 29 de dezembro de 2011, que aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, alterada pela Instrução Normativa nº 7, de 3 de maio de 2016, passa a vigorar com a seguinte redação. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 02 julho. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 76, de 26 de novembro de 2018b. Ficam aprovados os Regulamentos Técnicos que fixam a identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A, na forma desta Instrução Normativa e do Anexo Único. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 77, de 26 de novembro de 2018c. Ficam estabelecidos os critérios e procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos registrados no serviço de inspeção oficial, na forma desta Instrução Normativa e do seu Anexo. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos. **Manual do jovem empreendedor rural**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/juventude-1/manual-do-jovem-empendedor-rural.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mapa do leite: políticas públicas e privadas para o leite**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite>. Acesso em: 19 mar. 2022.

BRITO M. A. *et al.* **Estabilidade ao Alizarol**. Embrapa, 2005. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01\\_195\\_21720039246.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_195_21720039246.html)> Acesso em 22 jun. 2022.

BUCKIN, V.; O'DRISCOLL, B.; SMYTH, C. Ultrasonic spectroscopy for material analysis: recent advances. **Spectroscopy Europe**, v. 15, p. 20–25, 2003.

BUSANELLO, M. *et al.* Month-wise variation and prediction of bulk tank somatic cell count in Brazilian dairy herds and its impact on payment based on milk quality. **Irish Veterinary Journal**, v. 70, n. 26, p. 1-13, 2017.

CAMPOS, P. P. L. E. *et al.* Quality indicators of tank milk in different production systems of tropical regions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, p. 2807-2818, 2016.

CARMO, J.G.B. do. **Sistemas tutoriais inteligentes (STIs)**. 2003.

CASTANHEIRA, A. C. G. **Controle de Qualidade de Leite e Derivados: manual básico comentado**. São Paulo: Cap-Lab, 2012. 368p.

CORTES, C.; VAPNIK, V. Support-vector networks. **Machine Learning**, v.20, p. 27397,1995.

CORTEZ, M. A. S. *et al.* Características físico-químicas e análise sensorial do leite pasteurizado adicionado de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 65, n. 376, p. 18-25, 2010.

DUKHIN, A. S.; GOETZ, P. J.; TRAVERS, B. **Ultrasound for characterizing liquid based food products. 1 – Acoustic spectroscopy**. Mount Kisco: Dispersion Technology, 2003. 26 f.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa divulga balanço do leite em 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/embrapa-divulga-balanco-do-leite-em-2021/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO STAT - Livestock Primary**. Roma, Italy, 2019.

GOLBAN, A.; GOLBAN, R. (2017). Evolution of milk production in Republic of Moldova and the role of quality management in increasing the competitiveness of milk processing companies. **Management, Economic Engineering and Rural Development**, v. 17, n. 2, p. 129-136, 2017.

GONÇALVES, J. L.; TOMAZI, T.; SANTOS, M. V. Rotina de ordenha eficiente para produção de leite de alta qualidade. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 15, Supl. 2, p. S9-14, 2017.

GROSSO, F. dos S. **Diagnóstico das propriedades e qualidade do leite produzido por agricultores familiares**. 2013. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

GUMELAR, A. B. *et al.* Enhancing detection of pathological voice disorder based on deep VGG-16 CNN. In: **2020 3rd International Conference on Biomedical Engineering (IBIOMED)**, [s. l.], p. 28–33, 2020.

GUNASEKARAN, S.; AY, C. **Evaluating Milk coagulation with ultrasonics**. Chicago, 1994. Disponível em: <http://144.92.76.98/Guna/evaluatingmilk94>. Acesso em: 21 jun. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Painel de indicadores**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>. . Acesso em: 21 jun. 2022.  
INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **Milk. Determination and evaluation of the overall accuracy of indirect methods of milk analysis application to calibration procedure and quality control in the dairy laboratory**. Standard 128A. Bruxelas: IDF, 1999.

LECUN, Y. *et al.* Deep learning. **Nature**, v. 521, p. 436-44, 2015.

LEITE, D. R. A. **Desenvolvimento de um modelo de classificação da tipologia dos sinais vocais com base no *deep learning***. 2022. 82 f. Tese (Doutorado em Modelos de Decisão e Saúde) – Universidade Federal da Paraíba, 2022.

LUDERMIR, T. B. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina: estado atual e tendências. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 101, p. 85-94, 2021.

MAHAJAN, A.; CHAUDHARY, S. Categorical image classification based on representational deep network (RESNET). In: **2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)**. IEEE, 2019. p. 327-330.

MARANHÃO. Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Maranhão. **Rebanho Bovino no Estado do Maranhão**. 2022 – Disponível em: <https://aged.ma.gov.br>. Acesso em: 03 mar. 2022

MATHIAS, I. M. **Aplicação de redes neurais artificiais na análise de dados de molhamento foliar por orvalho**. 2006. 120 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita, Botucatu, 2006.

MENEGON, M. F. **Eficácia da Espectroscopia por Ultrassom e do Congelamento na Avaliação da Composição Química do Leite**. 2016. 22 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, 2016.

MENEGON, M. F. *et al.* Eficácia da espectroscopia por ultrassom e do congelamento na avaliação da composição química do leite. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 145-149, 2020.

MILKPOINT. **Evolução da produção mundial de leite em 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/noticias-e-mercado/giro-noticias/evolucao-da-producao-mundial-de-leite-228250/>. Acesso em: 10 jul. 2022.

NAKAMURA, A. Y. *et al.* Correlação entre as variáveis climáticas e a qualidade do leite de amostras obtidas em três regiões do estado do Paraná. **Arquivos de Ciências Veterinária e Zoologia da UNIPAR**, v. 15, n. 2, p. 103-108, jul./dez. 2012.

NASCIMENTO, I. A. do; GALVÃO, E. L. **Análises dos parâmetros físico-químicos do leite bovino cru refrigerado dos pequenos agropecuaristas do sertão de angicos segundo a in76/2018**. 2020. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4878/1/IzaacAN\_ART.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

NAZARIO, S. L. S. *et al.* Caracterização de leite bovino utilizando ultra-som e redes neurais. **Revista Controle & Automação**, v. 20, n. 4, p. 1-10, 2009.

NELLIGAN, T. J. **An introduction to ultrasonic material analysis**. Waltham: General Electric, 2003. 3f

OLIVEIRA, R. F. **Inteligência artificial**. Londrina: Educacional, 2018. p. 12. Disponível em: [http://cmklscontent.s3.amazonaws.com/201802/INTERATIVAS\\_2\\_0/INTELIGENCIA\\_ARTIFICIAL/U1/LIVRO\\_UNICO.pdf](http://cmklscontent.s3.amazonaws.com/201802/INTERATIVAS_2_0/INTELIGENCIA_ARTIFICIAL/U1/LIVRO_UNICO.pdf). Acesso em: 01 mar. de 2023.

PACHECO, E.J. **Um framework baseado em agentes computacionais para integração e compartilhamento de conhecimento**. 2003. 164 p. Mestrado (Dissertação em Informática Aplicada) – Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2003.

PANCOTTO, A. P. **Análise das características físico-químicas e microbiológicas do leite produzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves**. 2011. 34 f. Monografia (Tecnologia em Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves.

PINHEIRO, M.; OLIVEIRA, H. Inteligência artificial: estudos e usos na Ciência da Informação no Brasil. **Revista Ibero-americana de Ciência da Informação**, v. 15, n. 3, p. 950-968, 2022.

PONSANO, E. G. H. *et al.* Correlação entre métodos tradicionais e espectroscopia de ultra-som na determinação de características físico-químicas do leite. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.1052-1057, 2007.

QUIGLEY, J. **Calf Note # 148 - Supplementing waste milk**. 2010. Disponível em: <https://www.calfnotes.com/new/en/2010/05/02/calf-note-148-supplementing-waste-milk/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

RIBEIRO, E. C. B. *et al.* Sistema agroindustrial do leite no Maranhão: uma análise prototípica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 4, p. e240762, 2022.

RUMELHART, D. E. *et al.* Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, v. 323, p. 533-6, 1986.

SANDOVAL, V. L.; RIBEIRO, L. F; Qualidade do Leite: sua influência no processamento, requisitos obrigatórios e sua importância para o produto final. **Revista Getec**, v.10, n.28, p.41-49, 2021.

SANTANA, R. A. **Otimização de roteamento em redes de computadores utilizando redes neurais de hopfield**. 2007. 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, 2007.

SANTANA, E. H. W. de; FAGNANI, R.; SOUSA, C. H. B. de. **Análises físico-químicas aplicadas no controle de qualidade do leite cru**. Londrina: Unopar, 2016. 207 p.

SANTOS, N. A. F. *et al.* Avaliação da composição e qualidade físico-química do leite pasteurizado padronizado comercializado na cidade de São Luís, MA. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.78, n.1, p.109-113, 2011.

SANTOS, M. V.; FONSECA, L. F. L. **Composição e propriedades físico-químicas do leite**. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2012.

SANTOS, T. S. *et al.* Avaliação dos limites de detecção dos testes qualitativos oficiais de redutores de acidez em leite. **Tecnia**, v. 6, n. 1, p. 34-49, 2021.

SHEMELL, M.A.H. **Sistemas multiagente na modelagem da estrutura e relação de contração de organizações**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade do Porto, Porto, 1999.

SOLEDADE, P. de A. S.; JESUS, M. L. M. de; TOUTAIN, L. M. B. B. A informação como substrato da vida: memória e (contra)esquecimento. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO**, 19., 2018, Londrina-PR. Anais [...]. Londrina: UEL, 2018. p. 6113.

TETKO, I.V.; LIVINGSTONE, D.J.; LUIK, A.I. Neural network studies. 1. Comparison of Overfitting and Overtraining. **Journal of Chemical Information and Computer Science**, 35, 826-833, 1995

TRONCO, V. M. **Manual para Inspeção da Qualidade do Leite**. II ed. Santa Maria: UFSM, 2003.

ULISSES, A. de F. *et al.* Leite cru refrigerado: qualidade microbiológica, físico-química e detecção de resíduos de antibióticos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, e48111123708, 2022.

VALSECHI, O. A. **O leite e seus derivados**. Tecnologia de Produtos Agrícolas de Origem Animal. 2001. 36f. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2001.

VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. **Características do Leite**. Boletim Técnico- PIE-UFES:01007 - Editado: 26.08.2007, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2007.

VENTUROSO, R. C. *et al.* Determinação da composição físico-química de produtos lácteos: estudo exploratório de comparação dos resultados obtidos por metodologia oficial e por ultrassom. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 4, p. 607-613, 2007.

VIDAL, A. M. C.; NETTO, A. S. **Obtenção e processamento do leite e derivados**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2018. 220 p.

ZOCICHE, F. *et al.* Qualidade microbiológica e físico-química do leite pasteurizado produz na região oeste do Paraná. **Archives of Veterinary Science**, v. 7, n. 2, p.59-67, 2002.

## ***CAPÍTULO III: Capítulo de Livro***

---

---

## QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DO LEITE CRU REFRIGERADO FORNECIDO A AGROINDÚSTRIA SOB SERVIÇO DE INSPEÇÃO ESTADUAL NO ESTADO DO MARANHÃO<sup>5</sup>

Anna Karoline Amaral Sousa, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Davilly de Sousa Costa, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Sara Regina Pinheiro Serra, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Greiciene dos Santos de Jesus, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Bruno Raphael Ribeiro Guimarães, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento –  
MAPA

Marcelo de Abreu Falcão, Agência Estadual de Defesa Agropecuária do Estado do Maranhão  
– AGED/MA

Hamilton Pereira Santos, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Viviane Correa Silva Coimbra, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Danilo Cutrim Bezerra, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Nancyleni Pinto Chaves Bezerra, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

### RESUMO

A pecuária leiteira estimula a economia de pequenos municípios com a geração de empregos diretos e indiretos e renda. Nesta cadeia agropecuária, a qualidade é um elemento de relevante importância, por propiciar em conjunto com outros elementos, a obtenção de um alimento seguro e com qualidade nutricional para o consumidor, bem como o aumento da vida de prateleira e rendimento industrial para produção de derivados lácteos. **Objetivo:** Neste contexto, realizou-se o estudo com o objetivo de avaliar a qualidade físico-química do leite cru refrigerado fornecido a uma agroindústria com serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão. **Método:** Para compor o estudo, foram selecionadas por amostragem sistemática 25 fêmeas bovinas, com idade entre 36 a 48 meses, entre 60 a 120 dias de lactação, mestiças da raça girolanda, em sistema semi-intensivo de criação. As amostras de leite, no total de 25, foram coletadas em frascos de vidro borossilicato estéreis para que as características de conservação fossem asseguradas. Em seguida, foram acondicionadas em caixas isotérmicas contendo gelo reutilizável e, imediatamente encaminhadas ao Laboratório onde foram realizados seguintes ensaios laboratoriais: teste do alizarol, teor de gordura e de proteínas, densidade a 15°C, acidez titulável (expressa em % de ácido láctico), índice crioscópico, sólidos totais (ST) e sólidos não gordurosos (SNG). Também foram avaliadas as características sensoriais de cor e odor e os testes enzimáticos de fosfatase alcalina e peroxidase. Os resultados obtidos foram confrontados

---

<sup>5</sup>Artigo publicado no E-Book Avanço em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Editora Científica Digital, ISBN 978-65-5360-090-4, 2022.

com os padrões estabelecidos na Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. **Resultados:** As amostras se apresentaram como um líquido branco opalescente, odor característico e reação positiva para as enzimas fosfatase alcalina e peroxidase. Quando aos resultados físico-químicos, os teores de densidade, índice crioscópico, SNG e ST estavam em concordância com o estabelecido na legislação brasileira. Quanto aos demais parâmetros, 100% das amostras estavam ácidas no teste do alizarol, 68% foram tituladas como ácidas, 20% e 32% das amostras apresentaram teores de gordura e proteína abaixo do estabelecido, respectivamente. **Conclusão:** Conclui-se que a maior parte das amostras de leite avaliadas estava em desconformidade com os padrões de normalidade para leite cru refrigerado demonstrando problemas na qualidade físico-química do leite entregue a agroindústria sob serviço de inspeção oficial no estado do Maranhão. Portanto, as não conformidades devem ser investigadas e implementadas ações corretivas para o enquadramento de todos os parâmetros físico-químicos no regulamento técnico de identidade e qualidade de leite cru refrigerado.

**Palavras-chave:** Sistema agroindustrial do leite, composição nutricional, pesquisa de fraude, comercialização.

## INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira é uma das principais atividades agropecuárias no Brasil, apresenta grande representividade no processo de desenvolvimento econômico e social do País, principalmente na renda do pequeno produtor rural<sup>6</sup>. Esta atividade produtiva dispõe de 1,3 milhões de propriedades leiteiras situadas em 99% do território brasileiro, aproximadamente quatro milhões de trabalhadores (IBGE, 2018a; EMBRAPA, 2019) e movimenta a economia de pequenos municípios, com a geração de renda e empregos permanentes, principalmente na esfera rural (RAUTA; PAETZOLD; WINCK, 2017).

Dois aspectos relevantes caracterizam a pecuária leiteira brasileira: (i) ocorre em todo o território nacional; e, (ii) inexistente um padrão de produção. Referente a essa última característica, Telles, Bacchi e Shimizu (2017) e Sorio (2018) relatam a existência de propriedades de subsistência sem nenhuma tecnificação, que produzem em média, 80 litros/leite/dia, em contraste com produtores com sistemas de produção tecnificados que chegam a 16.238 litros/leite/dia, podendo ser competitivos internacionalmente.

Pelos aspectos supracitados, fica evidente que a pecuária leiteira no Brasil cria oportunidades, mas também há de se pontuar que se reveste de grandes desafios, que perpassam pela necessidade de qualificação dos pequenos produtores, adequação dos serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER), aumento da eficiência dos sistemas de

---

<sup>6</sup>**Pequeno produtor rural:** produtor que possui receita bruta anual de até R\$ 160.000,00 ou até quatro módulos fiscais de terra (BRASIL, 2012 - 2020).

comercialização e dos fatores de produção, além da melhoria da qualidade do leite – microbiológica, físico-química e sensorial. De acordo com Rauta, Paetzold e Winck (2017), a melhoria desses elementos é essencial para garantir o crescimento da produção, produtividade e competitividade do leite nos mercados local, regional, nacional e internacional.

Com vistas à melhoria da qualidade do leite, o sistema agroindustrial no Brasil passou por profundas mudanças estruturais desde o final da década de 1980, culminando em transformações nos ambientes institucionais (RIBEIRO et al., 2022) em que se destaca a publicação da Instrução Normativa (IN) nº 51/2002 (BRASIL, 2002). Em dezembro de 2011, por meio da IN nº 62, os parâmetros de qualidade do leite foram atualizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2011). Esta, por sua vez, foi sucedida pelas IN 07 (de maio/16) e IN 31 (de junho/18) (BRASIL, 2016-2018a). Com estes atos normativos, o leite passou a ser refrigerado na propriedade, o que causou forte impacto aos pequenos produtores, em razão da pequena escala de produção, além de impor condições prévias de infraestrutura de refrigeração nas propriedades. Esses fatores passaram a exigir mais organização nos processos estruturais, de comercialização, nos contratos e organizações coletivas (associativas e cooperativas) (CAMPOS et al., 2016; GOLBAN; GOLBAN, 2017).

Posteriormente, ainda referente às mudanças estruturais, com o objetivo de simplificar o entendimento sobre as exigências de qualidade e promover um plano mais robusto de qualificação dos produtores de leite, o MAPA publicou - em novembro de 2018 - a IN 76 e a IN 77, em que a primeira se refere às características e à qualidade do leite na indústria, e na segunda são estabelecidos os critérios para a obtenção de um produto de alto valor nutricional e seguro ao consumidor, envolvendo a organização, instalações e equipamentos da propriedade até a capacitação dos técnicos responsáveis pelas tarefas diárias, bem como o controle da mastite, brucelose e tuberculose nos bovinos (BRASIL, 2018b,c).

A gestão eficiente da qualidade do leite é fundamental, concatenada às normas institucionais, tornando a propriedade mais eficiente e elevando a produtividade. Produzir leite de qualidade envolve o gerenciamento da propriedade rural, que inclui investir na nutrição animal, higiene das instalações e operações de ordenha, nas condições de armazenamento do leite, entre outros fatores (BUSANELLO et al., 2017; GONÇALVES; TOMAZI; SANTOS, 2017).

No tocante à produção brasileira de leite, no ano de 2018 foram produzidos 33,8 bilhões de litros o que alocou o Brasil na terceira posição mundial dos países produtores (FAO, 2019; EMBRAPA, 2019). Neste cenário, as projeções sinalizam que para atender ao crescimento

populacional e, invariavelmente, o consumo de produtos lácteos, o volume de leite produzido nacionalmente deverá atingir no ano de 2026 um volume de 48 bilhões de litros (BALDE BRANCO, 2016; PALENCIA, 2016). Na região Nordeste, a produção de leite equivale a 13,0% da produção nacional, apresentando aproximadamente 4,3 bilhões de litros. E, o estado do Maranhão está em quinto lugar no *ranking* dos estados nordestinos e em 17º na produção nacional, apresentando produção de pouco mais de 345 milhões de litros em 2018 (IBGE, 2018b).

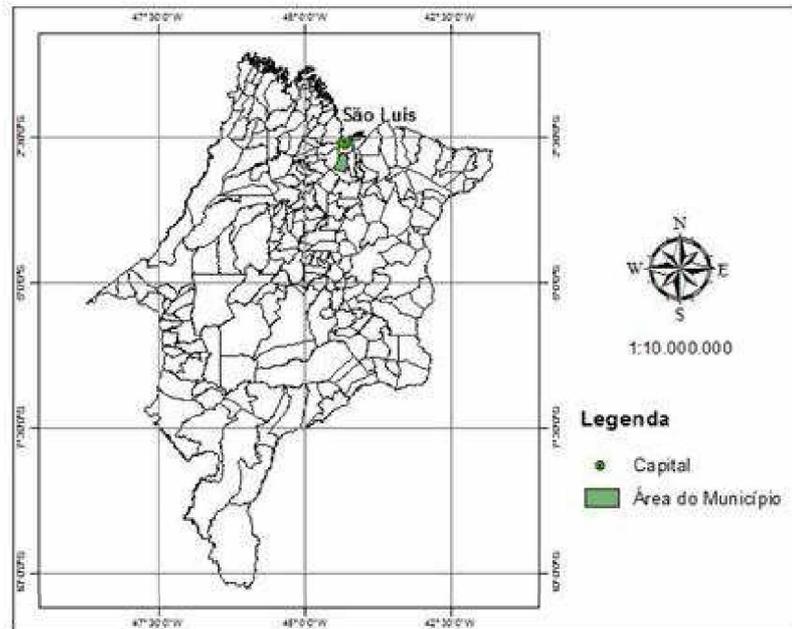
Mas, tão importante quanto o volume de leite produzido é a análise permanente do sistema de produção dos rebanhos, principalmente em pequenas propriedades, não só por sua relevância na produção, mas também, pelo impacto social da atividade, de modo que estas informações possam servir como subsídio para a tomada de decisões adequadas às realidades sociais e econômicas locais (LOPES; OLIVEIRA; FONSECA 2010; SILVA et al., 2019). Neste contexto, realizou-se o estudo com o objetivo de avaliar a qualidade físico-química do leite cru refrigerado fornecido a uma agroindústria com serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local do Estudo**

As coletas de leite foram realizadas no ano de 2021 em uma propriedade rural localizado em Bacabeira estado do Maranhão (Figura 1). A propriedade fornece leite para uma agroindústria de pequeno porte com serviço de inspeção estadual localizada no mesmo Município.

**Figura 1.** Localização geográfica do município de Bacabeira, estado do Maranhão



Fonte: Correia Filho (2011).

Bacabeira possui uma área de 542,962 km<sup>2</sup>, foi incluído recentemente na Região Metropolitana de São Luís e sua população é de 17.446 habitantes (IBGE, 2020). O índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM) é de 0,629 - considerado médio (IBGE, 2010). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), aproximadamente 22,21% da população bacabeirense reside na zona urbana, sendo que a incidência de pobreza no município e o percentual dos que estão abaixo do nível de pobreza é de 52,24% e 39,63%, respectivamente. A agropecuária, extrativismo vegetal, lavouras permanente e temporária, transferências governamentais, setor empresarial e trabalho informal são as principais fontes de recursos para o município (CORREIA FILHO et al., 2011).

### **Amostragem**

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética e Experimentação Animal (CEEA) da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA sob o protocolo nº 10/2020 por atender as Resoluções do Conselho Federal de Medicina Veterinária (CFMV) nº. 879/2008, 1000/2012 e a Lei Federal nº. 11794/2008, que tratam dos procedimentos Éticos na Experimentação Animal.

Para compor o estudo, foram selecionadas por amostragem sistemática 25 fêmeas bovinas de um total de 60 fêmeas em produção, com idade de 36 a 48 meses, entre 60 a 120 dias de lactação, mestiças da raça girolanda, em sistema semi-intensivo de criação. Os animais

foram avaliados por exame físico para serem incluídos no estudo. Para isso, realizou-se inspeção visual e palpação da glândula mamária, seguido da realização de testes para detecção de mastite e averiguada a realização dos testes sorológicos de brucelose e alérgico de tuberculose.

Para a detecção de mastite clínica, empregou-se o teste da caneca do fundo escuro de acordo com Santos e Fonseca (2007) e para a detecção da mastite subclínica, empregou-se o *California Mastitis Test* (CMT), de acordo com Beloti, Tamanini e Nero (2015), por meio de partes iguais de leite e reagente/CMT (2 mL).

### **Coleta das Amostras**

As amostras de leite, no total de 25 amostras, foram coletadas de acordo com o Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos (NEUSELY et al., 2010) em frascos de vidro borosilicato estéreis para que as características de conservação fossem asseguradas. Em seguida, foram acondicionadas em caixas isotérmicas contendo gelo reutilizável e, imediatamente encaminhadas ao Laboratório de Físico-química de Alimentos e Água ligado ao Núcleo de Estudos de Zoonoses da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA.

### **Análises Físico-Químicas**

As amostras foram analisadas seguindo as metodologias descritas na IN nº 68, de 12 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006) e por Santana, Fagnani e Sousa (2016). Foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais: teste do alizarol, teor de gordura e de proteína, densidade a 15°C, acidez titulável (expressa em % de ácido láctico), índice crioscópico, sólidos totais (ST) e sólidos não gordurosos (SNG). Também foram avaliadas as características sensorias de cor e odor e os testes enzimáticos de fosfatase alcalina e peroxidase. Os resultados obtidos foram confrontados com os padrões estabelecidos na IN nº 76, de 26 de novembro de 2018 (BRASIL, 2018b).

### **Análise Estatística**

Os resultados obtidos foram analisados por meio de estatística descritiva com a obtenção de frequências absolutas e relativas e os resultados demonstrados em tabelas e fotos retiradas no momento das análises físico-químicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As 25 amostras de leite se apresentaram como um líquido branco opalescente e com odor característico, portanto, atenderam às características sensoriais para o leite cru refrigerado (BRASIL, 2018b). Os resultados indicam que as amostras não sofreram aquecimento já que apresentaram reação positiva para as enzimas fosfatase alcalina<sup>7</sup> e peroxidase<sup>8</sup>. Os resultados físico-químicos deste estudo, foram discutidos com os padrões de normalidade para leite cru refrigerado em consonância com a IN n° 76/2018 que estão sumarizados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição e requisitos físico-químicos do leite cru refrigerado

Parâmetros Físico-químicos	Requisitos
Gordura (g/100g)	Mín. de 3,0
Proteína total (g/100g)	Mín. de 2,9
Sólidos não-gordurosos (g/100g)	Mín. de 8,4
Sólidos totais (g/100g)	Mín. de 11,4
Acidez, em g de ácido láctico/100 mL	0,14 a 0,18
Estabilidade ao alizarol 72% (v/v)	Estável
Densidade relativa, 15/15°C, g/mL	1,028 a 1,034
Índice crioscópico máximo	-0,530 °H a -0,555 °H

Onde: Mín = Mínimo; °H = graus Hortvet

Fonte: Elaborado pelos autores de acordo com a In n° 76/2018 (BRASIL, 2018b).

Das 25 amostras de leite analisadas, 100% estavam ácidas no teste do alizarol, ou seja, apresentaram cor que variou de marrom para amarelo e com presença de coágulos fortes (Figura 2). Para Silva, Pereira e Costa Júnior (1997), a instabilidade do leite ao álcool pode estar associada a diversas causas, como: ação de micro-organismos sobre a caseína, fêmeas com mastite, presença de colostro, vacas no final da lactação, presença de agentes desinfetantes nos recipientes de leite e desbalanço nutricional na relação cálcio:fósforo.

<sup>7</sup>**Fosfatase alcalina:** enzima hidrolítica natural presente no leite cru, sendo sensível às temperaturas de pasteurização (SANTANA; FAGNANI; SOUZA, 2016).

<sup>8</sup>**Peroxidase:** enzima presente no leite, que é inativada quando o mesmo é aquecido acima de 80 °C. A inativação desta enzima no leite indica seu aquecimento acima da temperatura de pasteurização (SANTANA; FAGNANI; SOUZA, 2016).

**Figura 2.** Amostras de leite cru refrigerado ácidos no teste do alizarol: cor com variação de marrom ao amarelo e com presença de coágulos fortes (pontos esbranquiçados)



Fonte: Arquivo dos autores.

No teste de acidez pelo método de Dornic, 32% das amostras (n = 08) estavam dentro da normalidade e 68% (n = 17) foram tituladas como ácidas (Tabela 2). O elevado percentual de amostras ácidas, neste estudo, pode estar relacionado à hidrólise da lactose por enzimas microbianas, com formação de ácido láctico. Quando submetidas a tratamento térmico, como a pasteurização – prática realizada na agroindústria que recebe o leite produzido pelos animais amostrados, estas podem apresentar instabilidade dos componentes do leite.

**Tabela 2.** Valores da acidez Dornic (°D) de 25 amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão

<b>Acidez Dornic (°D)</b>	<b>Ácido</b>	<b>Normal</b>	<b>Alcalino</b>	<b>Total</b>
g de ácido láctico/100 mL	(> 0,18)	(0,14 a 0,18)	(< 0,14)	
Número de amostras (n)	17	08	00	25
Porcentagem (%)	68	32	00	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se que a instabilidade de 100% das amostras de leite ao alizarol foram comprovadas em 17 amostras no teste da acidez, o que reforça a importância do teste do alizarol, enquanto método qualitativo nas análises físico-químicas de rotina e para garantia do controle de qualidade. Mas, constatou-se a ocorrência de leite instável não ácido (LINA) em oito amostras quando comparado os teste do alizarol e de acidez Dornic (°D). Para Marques et al. (2007) esta situação ocorre por instabilidade da caseína, porém com o leite apresentando acidez dentro do padrão de normalidade.

Lopes (2008) pontua que uma das principais causas para ocorrência do LINA é o excesso de sais minerais na composição do leite, que diminui a quantidade de água disponível para as proteínas se ligarem, facilitando a precipitação da caseína frente à prova do álcool, mesmo para o leite não ácido. Para Morais (2011), os fatores genéticos, transtornos fisiológicos,

nutricionais, metabólicos, estágio de lactação, época do ano, região ou até mesmo questões individuais do animal, são possíveis causas do LINA. Mas, Azevedo (2014) cita que a concentração do álcool utilizado no teste de alizarol também pode influenciar no surgimento de leites LINA, e indica que quanto maior a concentração do álcool no reagente, maior a probabilidade de ocorrência da coagulação da caseína.

Quanto a densidade das amostras analisadas, 100% (n = 25) das amostras apresentaram valores médios de densidade entre 1.028 a 1.034 g/mL (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores de densidade relativa (g/mL) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão

<b>Densidade Relativa</b> (g/mL)	<b>Abaixo</b> (1.028)	<b>Normal</b> (1.028 a 1.034)	<b>Acima</b> (1.034)	<b>Total</b>
Número de amostras (n)	00	25	00	25
Percentagem (%)	00	100	00	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pancotto (2011) destaca a importância da densidade relativa na verificação de adição de água no leite, prática realizada com intuito de aumentar o volume da matéria-prima, promovendo a redução da densidade do mesmo.

A adição de água com o objetivo de aumentar o volume da matéria-prima é o tipo de fraude mais comum em laticínios. Os prejuízos resultantes de fraudes no leite *in natura* são representados na indústria por redução do valor nutricional, diminuição do rendimento, alteração da qualidade dos produtos beneficiados (queijos, bebidas lácteas etc.), além da competitividade desleal e, sobretudo, a falta de comprometimento com a produção de um alimento em conformidade com o exigido por órgãos reguladores (BRASIL, 2006; CORTEZ et al., 2010; ABRANTES; CAMPÊLO; SILVA, 2014).

Por ser uma prática recorrente no Brasil, o MAPA, com objetivo de reduzir e/ou evitar as fraudes, instituiu o Programa Nacional de Combate à Fraude no Leite (PCFL). E, desde o ano de 2007 contempla ações fiscalizatórias focadas na realização de coletas oficiais de amostras de leite UHT, pasteurizado ou em pó e na verificação de indícios de fraude na matéria-prima - leite *in natura*.

Referente aos resultados do índice crioscópico (IC), 100% das amostras (n = 25) estavam dentro dos padrões de normalidade (Tabela 4). Quando o leite apresenta equilíbrio no balanço de sólidos solúveis (lactose, cloretos e minerais), este apresenta índice crioscópico dentro do estabelecido. Para explicar a redução do IC em amostras de leite pode-se pensar em

desequilíbrio no balanço de sólidos solúveis, principalmente a lactose e os cloretos, já que quanto maior a presença de sólidos solúveis, mais o índice crioscópico se distancia de zero.

**Tabela 4.** Valores de índice crioscópico (° H) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão

<b>Índice Crioscópico (° H)</b>	<b>Normal</b> (-0,530 a -0,555)	<b>Abaixo</b> (abaixo de -0,530)	<b>Total</b>
Número de amostras (n)	25	00	25
Porcentagem (%)	100	00	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

O IC do leite corresponde à medição do ponto de congelamento ou da depressão do ponto de congelamento do leite em relação ao da água. A determinação de fraude do leite por adição de água é a aplicação mais usual desta técnica laboratorial em laticínios, em razão da diminuição do valor nutricional, aumento dos custos de transporte e da energia empregada no processamento, queda do rendimento na fabricação de derivados e contribuição para contaminação microbiana. Além da adição de água, existem outros fatores que podem provocar alterações no IC, como: clima, raça, alimentação e consumo de água pelas fêmeas em lactação e região geográfica. O mesmo pode ser verificado em casos de mastite, devido à redução no conteúdo de lactose do leite de vacas acometidas pela enfermidade (SILVA; PEREIRA; COSTA JÚNIOR, 1997). Porém, se descarta a mastite no presente estudo, já que foram realizados os testes (caneca de fundo escuro e CMT) antes da coleta das amostras.

Quando observadas os valores da composição química das amostras de leite, os teores de SNG e de ST mostraram-se em concordância com o estabelecido com a IN n° 76/2018 (Tabela 1), com variação de 10,16 a 19,96 g/100 gramas para SNG e de 12,06 a 25,56 g/100 gramas para ST. Importante mencionar que ambos os parâmetros físico-químicos interferem no rendimento dos produtos para as indústrias processadoras (VEIGA, 2005).

Em relação à gordura, 20% das amostras (n = 5) apresentaram teores abaixo do estabelecido e 80% (n = 20) teores igual ou acima de 3%. Destas últimas amostras, 90% (n = 18) apresentaram teores de gordura que variaram de 3,1 a 5,6 g/100 gramas (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teor de gordura (g/mL) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão

<b>Teor de Gordura</b> (g/100g)	<b>Abaixo</b> ( > 3,0)	<b>Normal</b> (mínimo de 3,0)	<b>Total</b>
Número de amostras (n)	05	20	25
Percentagem (%)	20	80	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

Pelos resultados encontrados para o parâmetro gordura é importante mencionar que este é o componente mais variável no leite e depende de fatores diversos como, nutrição, raça, idade, estado sanitário do animal e de lactação, número de parições. Para Morais (2011), o teor de fibras na dieta dos animais é o fator que mais interfere na quantidade desse componente no leite, quanto maior o teor de fibras na alimentação, maior será a quantidade de gordura do leite. E, Silva et al. (2012) citam que para a indústria de laticínios, a gordura do leite tem grande valor no rendimento de produtos, ou seja, quanto mais gordura presente, maior o rendimento dos produtos lácteos derivados. Adicionalmente, a gordura é utilizada na fabricação de produtos com alto valor agregado como manteiga, sorvete e creme de leite. Este parâmetro é também utilizado por algumas indústrias como um diferencial no pagamento de produtores.

Para o teor de proteína, 32% das amostras (n = 08) apresentaram valor abaixo do estabelecido que é de 2,9. Das 56% das amostras (n = 17) restantes, os teores de proteínas variaram de 2,9 a 3,1 g/100 gramas (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teor de proteína (g/mL) de amostras de leite cru refrigerado fornecido a agroindústria sob serviço de inspeção estadual no estado do Maranhão

<b>Teor de Proteína</b> (g/100g)	<b>Abaixo</b> ( > 2,9)	<b>Normal</b> (mínimo de 2,9)	<b>Total</b>
Número de amostras (n)	08	17	25
Percentagem (%)	22	68	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

A quantidade de proteína do leite é uma das principais variáveis de avaliação da qualidade do leite, sendo também utilizada, por algumas indústrias no Brasil como parâmetro de pagamento diferenciado aos produtores. Esse componente nutricional possui alto valor tecnológico para os laticínios, uma vez que é da fração de proteína bruta da qual se origina o coágulo do leite (massa branca) utilizado na fabricação de queijos (SILVA; SILVA; FARREIRA, 2012).

Diante dos resultados acima apresentados e discutidos é importante ressaltar que a qualidade do leite *in natura* para a indústria de laticínios impacta diretamente nas características do produto final. Logo, o leite cru refrigerado, enquanto matéria-prima, seja para o processamento de leite fluido ou para a produção de derivados lácteos deve apresentar adequadas características físico-químicas, além das características microbiológicas e sensoriais, por esta razão é indispensável que as indústrias processadoras realizem avaliações para a averiguação e o controle de qualidade destas com regularidade. Adicionalmente, programas de pagamento fundamentados na qualidade do leite são modelos já utilizados e exitosos em vários países do mundo, inclusive no Brasil, como incentivo para melhorar os processos de produção, ou seja, indústrias oferecem recompensas financeiras aos produtores que atendem aos parâmetros de qualidade estipulados institucionalmente e que podem e devem ser replicados para os pequenos produtores brasileiros.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que a maior parte das amostras de leite cru refrigerado avaliadas estava em desconformidade com os padrões de normalidade para leite cru refrigerado demonstrando problemas na qualidade físico-química do leite entregue a agroindústria sob serviço de inspeção oficial no estado do Maranhão. Portanto, as não conformidades devem ser investigadas e aplicadas ações corretivas para o enquadramento de todos os parâmetros físico-químicos ao regulamento técnico de identidade e qualidade de leite cru refrigerado.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, M. R.; CAMPÊLO, C. da S.; SILVA, J. B. A. da. Fraude em leite: Métodos de detecção e implicações para o consumidor. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 73, n. 3, p. 244-51, 2014.

AZEVEDO, C. S. **Ocorrência de leite instável não ácido (LINA) na região da grande Florianópolis - SC**. 2014. 28 f. Monografia (Zootecnia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014. p. 28.

BALDE BRANCO. **Alguns números do leite**. 2016. Disponível em: <https://baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BELOTI, V.; TAMANINI, R.; NERO, L. A. **Leite: obtenção, inspeção e qualidade**. Londrina: Editora Planta, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 51, de 18 de setembro de 2002. Aprovar o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, em conformidade com os Anexos desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 20 set. 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais Físico-Químicos, para Controle de Leite e Produtos Lácteos. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 14 dez. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 62, de 29 de dezembro de 2011. Aprovar o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, em conformidade com os Anexos desta Instrução Normativa. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 dez. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n° 62, de 29 de dezembro de 2011. Dispõe sobre Regulamentos Técnicos de Produção, Identidade, Qualidade, Coleta e Transporte do Leite. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 dez. 2011

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Resolução n° 4174, de 28 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a classificação de produtores rurais e sobre critérios para a apuração de saldos e para a fiscalização de financiamentos rurais. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura>. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 28 dez. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 7, de 3 de maio de 2016. A tabela 2 do item 3.1.3.1 do Anexo II da Instrução Normativa n° 62, de 29 de dezembro de 2011, que aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, passa a vigorar com a seguinte redação. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 03 mai. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 31, de 29 de junho de 2018a. A Tabela 2 do item 3.1.3.1, do Anexo II da Instrução Normativa n°. 62, de 29 de dezembro de 2011, que aprova o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel, alterada pela Instrução Normativa n° 7, de 3 de maio de 2016, passa a vigorar com a seguinte redação. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 02 julho. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 76, de 26 de novembro de 2018b. Ficam aprovados os Regulamentos Técnicos que fixam a identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A, na forma desta Instrução Normativa e do Anexo Único. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 77, de 26 de novembro de 2018c. Ficam estabelecidos os critérios e procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos registrados no serviço de inspeção oficial, na forma desta Instrução Normativa e do seu Anexo. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 nov. 2018.

BRASIL. Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos. **Manual do jovem empreendedor rural**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/juventude-1/manual-do-jovem-empendedor-rural.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

BUSANELLO, M.; FREITAS, L. N.; WINCKLER, J. P. P.; FARIAS, H. P.; DIAS, C. T.; CASSOLI, L. D.; MACHADO, P. F. Month-wise variation and prediction of bulk tank somatic cell count in Brazilian dairy herds and its impact on payment based on milk quality. **Irish Veterinary Journal**, v. 70, n. 26, p. 1-13, 2017.

CAMPOS, P. P. L. E.; RANGEL, A. H. D. N.; BORBA, L. H. F.; URBANO, S. A.; NOVAES, L. P.; GALVÃO JÚNIOR, J. G. B.; SALES, D. C.; DE AGUIAR, E. M. Quality indicators of tank milk in different production systems of tropical regions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, p. 2807-2818, 2016.

CORREIA FILHO, F. L. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de Bacabeira**. Teresina: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.

CORTEZ, M. A. S.; DIAS, V. G.; MAIA, R. G.; COSTA, C. C. A. Características físico-químicas e análise sensorial do leite pasteurizado adicionado de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 65, n. 376, p. 18-25, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Anuário do leite 2019: Sua excelência, o consumidor: novos produtos e novas estratégias da cadeia do leite para ganhar competitividade e conquistar os clientes finais**. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/nancy/Downloads/Anuario-LEITE-2019.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO STAT - Livestock Primary**. Roma, Italy, 2019.

GOLBAN, A.; GOLBAN, R. (2017). Evolution of milk production in Republic of Moldova and the role of quality management in increasing the competitiveness of milk processing companies. **Management, Economic Engineering and Rural Development**, v. 17, n. 2, p. 129-136, 2017.

GONÇALVES, J. L.; TOMAZI, T.; SANTOS, M. V. Rotina de ordenha eficiente para produção de leite de alta qualidade. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 15, Supl. 2, p. S9-14, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Índice de desenvolvimento humano municipal - IDHM**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/itapecuru-mirim.html>. Acesso em: 06 fev. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da pecuária municipal**. 2018a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>. Acesso em: 10 fev. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018b). **Produção da pecuária municipal** 2018b. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2018\\_v46\\_br\\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2018_v46_br_informativo.pdf). Acesso em: 10 fev. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2020. Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/bacabeira.html>. Acesso em: 06 fev. 2022.

LOPES, A. D.; OLIVEIRA, M. dal S. De; FONSECA, M. I. Características técnicas das propriedades de baixa escala leiteira observadas na área de abrangência do escritório de desenvolvimento rural de Jaboticabal – SP. **Revista de Ciência e Extensão**, v. 6, n. 2, p. 36-45, 2010.

LOPES, L. C. **Composição e características físico-químicas do leite instável não ácido (LINA) na região de Casa Branca, Estado de São Paulo**. 2008. 64 f. Dissertação (Mestre em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Pirassununga.

MARQUES, L. T.; ZANELA, M. B.; RIBEIRO, M. E. R.; STUMPF JÚNIOR, W.; FISCHER, V. (2007). Ocorrência do leite instável ao álcool 76% e não ácido (LINA) e efeito sobre os aspectos físico-químicos do leite. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 1, p. 91-97, 2007.

MORAIS, E. D. **Estudo sobre os fatores que influenciam o aparecimento do Leite Instável Não Acido (LINA): Revisão bibliográfica**. 2011. 38 f. Monografia (Especialista em Gestão e Defesa Agropecuária) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

NEUSELY, D. A. S. *et al.* **Manual de Métodos Microbiológicos de Alimentos**. 4ª ed. São Paulo: Editora Varela. 2010. 624 p.

PALENCIA, N. P. Complexo Agroindustrial do Leite no Brasil: indicadores socioeconômicos, adoção de tecnologias e transformações nas últimas décadas. **Revista de Economia Do Centro-Oeste**, v. 2, p. 55-72, 2016.

PANCOTTO, A. P. **Análise das características físico-químicas e microbiológicas do leite produzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Bento Gonçalves**. 2011. 34 f. Monografia (Tecnologia em Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves.

RAUTA, J.; PAETZOLD, L. J.; WINCK, C. A. Rastreabilidade na cadeia produtiva do leite como vantagem competitiva. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 459, 2017.

RIBEIRO, E. C. B.; PEREIRA, C. A.; BEZERRA, M. D. A.; SAMPAIO, N. I. S.; CARVALHO, P. F. S. Sistema agroindustrial do leite no Maranhão: uma análise prototípica. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 4, p. e240762, 2022.

- SANTANA, E. H. W. de; FAGNANI, R.; SOUSA, C. H. B. de. **Análises físico-químicas aplicadas no controle de qualidade do leite cru**. Londrina: Unopar, 2016. 207 p.
- SANTOS, M. V.; FONSECA, L. F. L. **Estratégia para controle de mastite e melhoria da qualidade do leite**. 2a ed. Barueri (SP): Manole; 2007.
- SILVA, B. P.; KRUMMENAUER, A.; SCHUCH, L. F. D.; ZANI, J. L. Caracterização da produção e qualidade do leite em propriedades de agricultura familiar na região sul do Rio Grande do Sul. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 74, n. 4, p. 231-239, 2019.
- SILVA, G.; SILVA, D. A. M. A.; FARREIRA, B. P. M. **Processamento do leite. Universidade Federal de Pernambuco (Apostila)**. Recife, 2012. p. 172.
- SILVA, P. H. F.; PEREIRA, D. B. C.; COSTA JÚNIOR, L. C. G. **Físico-química do leite e derivados métodos analíticos**. Juiz de Fora: Oficina de Impressão; 1997.
- SORIO, A. **Cadeia Agroindustrial do Leite no Brasil: diagnóstico dos fatores limitantes à competitividade**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MIDCS). 2018. 162 p.
- TELLES, T. S.; BACCHI, M. D.; SHIMIZU, J. Spatial distribution of microregions specialized in milk production. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 443-454, 2017.
- VEIGA, J. B. de. **Criação de Gado Leiteiro na Zona Bragantina**. Pará: Embrapa, 2006. 149 p.

---

---

# *CAPÍTULO IV: Artículo*

## 1 **Artigo Científico – Acta Veterinaria Brasilica**

### 2 3 **COMPARISON BETWEEN OFFICIAL METHODS AND ULTRASOUND SPECTROSCOPY** 4 **USED TO DETERMINE THE PHYSICOCHEMICAL FEATURES OF RAW MILK**

5  
6 **ABSTRACT** - The aim of the current study is to compare official methodologies (OM) and  
7 ultrasound spectroscopy (US) used to determine the physicochemical features of raw  
8 milk. Twenty-five (25) milk samples deriving from a rural property in Bacabeira County,  
9 Maranhão State, were assessed. Fat and protein contents, density at 15°C, cryoscopic  
10 index, total dry extract (TDE) and defatted dry extract (DDE) were determined based on  
11 official analytical techniques and ultrasound spectroscopy, in laboratory environment.  
12 Mean protein densities and contents determined through US and OM did not differ from  
13 each other ( $P > 0.05$ ). Mean fat contents and mean values recorded for cryoscopic index,  
14 TDE and DDE - determined through US and OM - differed from each other ( $P = 0.026$ ,  $P =$   
15  $0.040$ ,  $P < 0.001$  and  $P = 0.014$ , respectively); positive correlations were observed in the  
16 analysis of these parameters ( $R = 0.470$ ,  $R = 0.118$ ,  $R = 0.087$  and  $R = 0.315$ , respectively);  
17 methods' accuracy reached 0.180, 0.058, 0.155 and 0.075, respectively. Ultrasound  
18 spectroscopy is a fast technique whose results correlate to those of official analyses.  
19 However, it is necessary adopting a specific profile by calibrating the equipment based on  
20 information deriving from official analyses. Results in the present study have suggested  
21 the need of conducting more comprehensive studies to validate its conclusions.

22 **Keywords:** dairy products; traditional analytical methods; ultrasound; correlation.

23  
24 **RESUMO** - Objetivou-se com o estudo comparar as metodologias oficiais e a  
25 espectroscopia por ultrassom na determinação das características físico-químicas do leite  
26 cru. Para isso, foram avaliadas 25 amostras de leite oriundas de uma propriedade rural  
27 do município de Bacabeira, estado do Maranhão. Em ambiente laboratorial foram  
28 realizadas a determinação dos teores de gordura e de proteína, densidade a 15° C, índice  
29 crioscópico, extrato seco total (EST) e extrato seco desengordurado (ESD), por meio de  
30 técnicas analíticas oficiais e espectroscopia de ultrassom. As densidades médias e teores  
31 médios de proteínas determinados pelo US e pelos MO não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ).

32 Os teores médios de gordura e os valores médios do índice crioscópico, EST e ESD obtidos  
33 pelo US e pelos MO foram diferentes ( $P = 0,026$ ,  $P = 0,040$ ,  $P < 0,001$ ,  $P = 0,014$ ,  
34 respectivamente), as correlações obtidas na análise desses parâmetros foram positivas ( $R$   
35  $= 0,470$ ,  $R = 0,118$ ,  $R = 0,087$  e  $R = 0,315$ , respectivamente) e as acurácias dos métodos  
36 foram de  $0,180$ ,  $0,058$ ,  $0,155$  e  $0,075$ , respectivamente. A espectroscopia por ultrassom é  
37 uma técnica rápida e os resultados obtidos correlacionam-se àqueles das análises oficiais.  
38 Mas, é necessário o emprego de um perfil específico por meio da calibração do  
39 equipamento com base nas informações das análises oficiais. Os resultados deste trabalho  
40 sugerem a necessidade de se realizar estudos mais abrangentes a fim de validar as  
41 conclusões obtidas.

42 **Palavras-Chave:** laticínios; métodos analíticos tradicionais; ultrassom; correlação.

43

## INTRODUCTION

44 Dairy production is an important economy sector that has been established in Brazil for a  
45 long time. This scenario enabled the improvement of stages adopted to obtain and  
46 industrialize the raw material, the preparation of milk derivates, and the conduction of  
47 quantitative and qualitative analyses required to ensure high-quality products.

48 Normative Instruction (NI) n. 76, which was issued by the Ministry of Agriculture,  
49 Livestock and Supply – MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
50 (BRASIL, 2018) –, has approved the Technical Regulations establishing the identity and  
51 quality features to be presented by refrigerated raw, pasteurized and type A pasteurized  
52 milk types. According to Article (Art.) 2 of the aforementioned NI, refrigerated raw milk  
53 is the “milk produced in rural properties, refrigerated and sent to milk and dairy plants  
54 under official inspection service”.

55 This raw milk must be monitored by a group of laboratories belonging to the Brazilian  
56 Network of Laboratories for Milk Quality Control (RBQL - Rede Brasileira de Laboratórios  
57 de Controle da Qualidade do Leite), which are equipped to determine the quality features  
58 required by the legislation. It must be done in order to fulfill the primary purpose of  
59 monitoring and contributing to improve milk quality, based on guidelines of the National  
60 Milk Quality Improvement Program (PNQL - Programa Nacional de Melhoria da Qualidade

61 do Leite). These laboratories are distributed in strategic-coverage geographic areas,  
62 countrywide. Milk plants also carry out quality control procedures to assess suppliers'  
63 compliance with the composition and hygiene standards recommended by the legislation  
64 and, consequently, to guarantee the quality of dairy products to consumers, based on  
65 microbiological and physicochemical parameters.

66 Understanding the chemical composition of raw milk is essential for official policies  
67 focused on controlling its quality in programs that pay bonus or premium prices to  
68 producers based on the quality of their products, in herd genetic enhancement programs,  
69 in determining the dairy cows' nutritional requirements and in monitoring animals'  
70 nutritional condition and clinical aspects. Dairy plants can offer different payment  
71 systems based on raw material-quality control actions, in order to encourage producers  
72 to produce high-quality milk. These systems are adopted in developed countries and their  
73 producers are paid based on milk composition and quality.

74 The guidelines for raw milk and the need of monitoring animals' nutritional status tend  
75 to increase the number of milk samples, as well as the frequency of milk analyses. There  
76 are several well-established methods focused on milk physicochemical analysis, such as  
77 the official ones required by the legislation, namely: Gerber (for fat) and Kjeldalh (for  
78 protein) methods (INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, 2001-2008). However, these  
79 methods require time, trained manpower and expensive reagents that, in some cases, can  
80 be dangerous to the ones handling them.

81 From this perspective, it is possible assuming that improving analysis methods is  
82 important for the improvement of analysis methods and standards and, consequently, for  
83 the best quality of both raw materials and their derivatives (PONSANO et al., 2007). Thus,  
84 automated analytical procedures, such as ultrasound spectroscopy, which are faster and  
85 more suitable for serial work (BUCKIN; O'DRISCOL; SMYTH, 2003) were developed.  
86 According to Ponsano et al. (2007), equipment developed for this purpose meets the new  
87 global demand, which is associated with the number of samples to be analyzed and with  
88 the frequency of analyses to be carried out.

89 The fundamental principle that matter can absorb sound by attenuating or changing its  
90 speed was the basis for the development of the ultrasound spectroscopy technique.

91 Therefore, the range of this technology had its application expanded to feature physical  
92 and chemical mixes (O`DRISCOLL et al., 2003; PONSANO et al., 2007). Using spectroscopic  
93 techniques to analyze milk components is an important tool that can provide useful  
94 information for milk producers, within a short period-of-time. These producers can use  
95 this information to detect nutritional management issues and, consequently, to increase  
96 the production efficiency of their herds (TSENKOVA et al., 2000).

97 Using ultrasound spectroscopy is also important for milk processing plants, since it helps  
98 them to define the destination to be given to milk; to subsidize producers' differentiated  
99 payment, based on milk quality; and to make sure that their product is in compliance with  
100 milk composition standards required by the legislation (PONSANO et al., 2007).

101 There is legal support to replace the official analytical methods with the operational  
102 control ones, as long as their deviations from, and correlations to, their respective  
103 reference methods are well-known. Thus, the development and evaluation of alternative,  
104 faster, lower-cost and more accurate methods can benefit the dairy industry. However,  
105 the literature is still lacking information about the correlation between methods officially  
106 used and those recommended by official government agencies to determine the  
107 physicochemical components of milk and ultrasound spectroscopy. Therefore, the aim of  
108 the current study was to compare official methodologies and ultrasound spectroscopy  
109 used to determine the physicochemical features of raw milk.

110

## MATERIALS AND METHODS

### 111 **Ethical Committee Approval**

112 The current study is part of a larger research project titled "*Rede Neural Artificial para*  
113 *Detecção de Fraude em Leite por Adição de Água*" [Artificial Neural Network for Fraud  
114 Detection in Milk Added with Water]. It is in compliance with the Ethical Regulations in  
115 Animal Experimentation, and registered in the Ethics and Experimentation Committee  
116 (CEEUA - Comissão de Ética e Experimentação) of Maranhão State University (UEMA –  
117 Universidade Estadual do Maranhão), under Protocol n. 010/2020.

### 118 **Local of Study**

119 Milk collections were carried out in a rural property located in Bacabeira County,  
120 Maranhão State. This property supplies milk to a small agro-industry whose state  
121 inspection service operates in the aforementioned county.

122 Bacabeira County's territory covers 542,962 km<sup>2</sup>; it was recently included in the  
123 Metropolitan Region of São Luís and its population comprises 17,446 inhabitants (IBGE,  
124 2020). Its municipal human development index (MHDI) is 0.629 – which is classified as  
125 medium (IBGE, 2010). Agriculture, plant extractivism, permanent and temporary crops,  
126 government transfers, the business sector and informal jobs are the main income sources  
127 in this county (CORREIA FILHO et al., 2011).

### 128 **Milk Sampling**

129 Twenty-five (25) crossbred Girolando cows were selected through systematic sampling  
130 from the total number of 60 producing females, in the aged group 36-48 months, between  
131 60 to 120 lactation days, in semi-intensive breeding system. Animals were subjected to  
132 physical examination in order to be included in the current study. Visual inspection and  
133 palpation of the mammary gland were carried out, and they were followed by tests  
134 focused on detecting mastitis, by serological test to detect brucellosis and by allergy test  
135 to detect tuberculosis.

136 The dark background mug test was used to investigate clinical mastitis, based on Santos;  
137 Fonseca (2007), whereas the California Mastitis Test (CMT) was adopted to investigate  
138 subclinical mastitis, based on Beloti, Tamanini and Nero (2015) - it was done based on  
139 using equal parts of milk and reagent/CMT (2 mL). After model assessment procedures  
140 25 samples (one liter of milk, each) were collected.

### 141 **Laboratory Assays**

142 Fat and protein contents, density at 15° C, cryoscopic index, total dry extract (TDE) and  
143 defatted dry extract (DDE) were determined in laboratory, based on official analytical  
144 techniques and on ultrasound spectroscopy.

145

146

## 147 **Official techniques**

148 Density at 15 °C was determined with the aid of Quennève thermo-lacto-densimeter,  
149 based on samples' temperature - ranging from 10°C to 20 °C (LABORATÓRIO NACIONAL  
150 DE REFERÊNCIA ANIMAL, 1981). Fat concentration was determined based on the  
151 Gerber's butyrometric method (INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, 2008). Protein  
152 content was determined based on the Ekomilk-Milkana Stara technique - Zagora, Bulgaria  
153 micro-Kjeldahl (INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION, 2001), by multiplying the  
154 nitrogen content found in the samples by conversion factor 6.38. The DDE was calculated  
155 by subtracting the fat concentration from the TDS value. The TDS was indirectly  
156 determined with the aid of Ackermann disk, based on values recorded for fat rate and  
157 density at 15°C (Laboratório..., 1981). Cryoscopic index was determined by freezing  
158 volumes of the analyzed milk samples in cryoscope equipment. All analyses were  
159 performed in triplicate.

## 160 **Ultrasound spectroscopy**

161 The ultrasound spectroscopy device (master complete milk analyzer) was calibrated  
162 before the analysis, based on the method described by the manufacturer, in order to get  
163 more accurate results.

164 Fat content in non-skimmed (profile 1) and skimmed (profile 2) milk samples was  
165 assessed to standardize and better understand the physicochemical parameters of the  
166 analyzed milk, to enable using more accurate values in the calibration process and to  
167 measure each parameter per analyzed sample, in a more reliable manner.

168 After the calibration process was over, the analysis of all 25 samples was carried out by  
169 placing 5 mL of each sample in the equipment. Physicochemical results were displayed on  
170 the equipment's panel and printed.

## 171 **Data Analysis**

172 Values recorded for all six physicochemical parameters in the adopted methods were  
173 compared through *t* test for paired samples, as well as through correlation and linear  
174 regression analyses, in the SAS software (1992), at 5% significance level. The accuracy of

175 the investigated methods was estimated based on residual standard error ( $s(y,x)$ ), as  
 176 recommended by the International Dairy Federation (1999).

177

## RESULTS AND DISCUSSION

178 The descriptive statistics applied to the physicochemical parameters of all 25 raw milk  
 179 samples analyzed through official methods (OM) and ultrasound spectroscopy (US) is  
 180 summarized in Table 1.

181 Table 1 - Means ( $X$ ), standard deviations ( $s$ ) and correlation coefficients ( $R$ ) of  
 182 physicochemical parameters of all 25 raw milk samples analyzed through official methods  
 183 (OM) and ultrasound spectroscopy (US), and descriptive levels of paired sample  $t$  tests  
 184 ( $P^1$ ) and linear correlations ( $P^2$ ).

185

Physicochemical Parameters	OM ( $X \pm s$ )	US ( $X \pm s$ )	$P^1$	$R$	$P^2$
Fat	$4.0 \pm 0.848$	$4.9 \pm 0.947$	0.026	0.470	0.021
Protein	$2.93 \pm 0.085$	$3.35 \pm 0.904$	2.971	-0.105	0.011
Density	$1.026 \pm 0.001$	$1.308 \pm 0.335$	5.437	0.066	0.004
Cryoscopic Index	$-0.549 \pm 0.005$	$-0.598 \pm 0.023$	0.040	0.118	0.012
TDE	$17.39 \pm 2.995$	$13.95 \pm 1.862$	<0.001	0.087	0.007
DDE	$13.82 \pm 2.226$	$9.05 \pm 0.140$	0.014	0.315	0.049

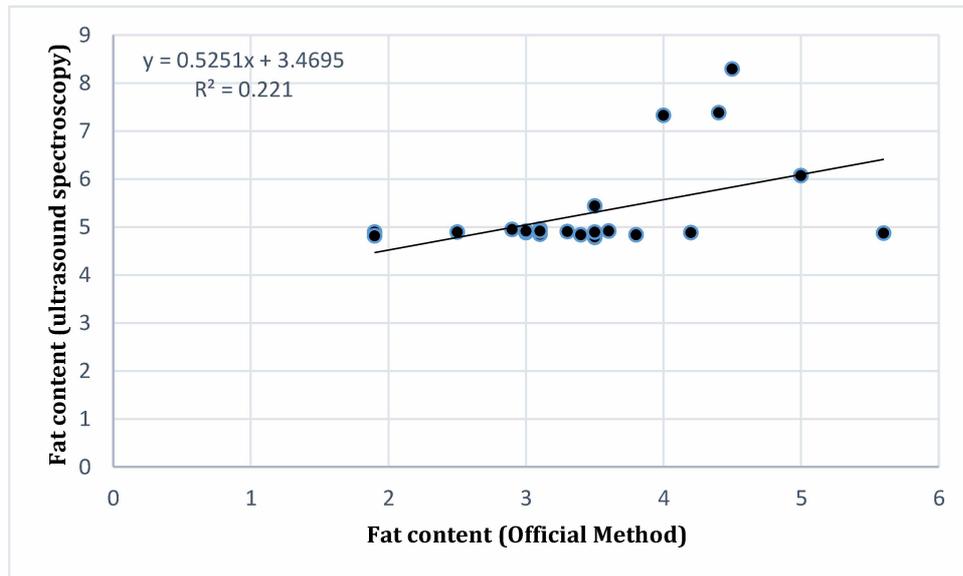
186 Wherein: TDE= total dry extract; DDE= defatted dry extract.

187 Fat contents observed through both US and the official method (Gerber) were similar; US  
 188 and OM ( $R= 0.470$ ) showed moderate correlation ( $P1 = 0.026$ ) and accuracy of 0.180.  
 189 Similar results were observed by Ponsano et al. (2007), whereas Menegon et al. (2020)  
 190 reported that the same technique overestimated fat contents; Venturoso et al. (2007)  
 191 mentioned that US underestimated this parameter. Since US is based on the evaluation of  
 192 the behavior presented by high-frequency sound waves when they propagate through a  
 193 given sample, and given its subsequent calibration based on milk parameters obtained  
 194 through official methods, it is possible stating that divergences concerning the calibration  
 195 equations used in ultrasound devices can explain differences observed in previous studies  
 196 (please, include citations).

197 Figure 1 shows the dispersion, the regression equation and the respective coefficient of  
 198 determination recorded for fat content, based on OM and US. The coefficient of

199 determination obtained for this variable has indicated that 22.10% of variability observed  
 200 for fat content in the ultrasound spectroscopy is explained by the adopted official method.

201 Figure 1 - Scatter diagram of fat content between the official methodology (OM) and  
 202 ultrasound spectroscopy (US) representing the regression line and the coefficient of  
 203 determination.



204

205

Source: Elaborated by the authors.

206 Ultrasound spectroscopy (US) overestimated the mean of crude protein content in raw  
 207 milk by up to 0.42 %. These results have shown lack of statistically significant difference  
 208 (P1 = 2.971) between mean protein levels, significant correlation between the Kjeldahl  
 209 and US methods (P2 = 0.011) and correlation coefficient with significantly weak negative  
 210 association (R = - 0.105). Similar to the reasons previously mentioned for milk fat - since  
 211 ultrasound spectroscopy is based on the evaluation of the behavior presented by high-  
 212 frequency sound waves when they propagate through a given sample - and given its  
 213 subsequent calibration based on milk parameters obtained through official methods, it  
 214 can be said that divergences concerning the calibration equations used in ultrasound  
 215 devices can explain these differences.

216 Ultrasound spectroscopy is based on the evaluation of the behavior presented by certain  
 217 parameters associated with high-frequency sound waves when they propagate through a  
 218 given sample (DUKHIN; GOETZ; TRAVERS, 2003). Sound speed is often the easiest

219 ultrasound parameter to be measured; therefore, it is used in most ultrasound equipment  
220 (NELLIGAN, 2003). According to Buckin; O'Driscoll; Smyth (2003), milk density is directly  
221 related to ultrasonic speed in US, since this parameter is extremely sensitive to molecular  
222 organization and to intermolecular interactions of the sample. Thus, it provides  
223 remarkably reliable information about components' concentration.

224 There was no significant difference ( $P^1 = 5.437$ ) between mean density values obtained  
225 in thermo-lacto-densimeter and US (Table 1). There was significant correlation between  
226 these methods ( $P^2 = 0.004$ ); their correlation coefficient reached 0.066 - this outcome has  
227 evidenced weak correlation between variables. It is worth emphasizing that density  
228 determination through the official method opens room for errors, since it depends on  
229 visual interpretation by laboratory technicians, on thermo-lacto-densimeter calibration  
230 and on the accuracy of values recorded at standard temperature ( $15^\circ \text{C}$ ).

231 Total dry extract (TDE) has evidenced remarkably weak correlation ( $P^1 < 0.01$ ) between  
232 US and OM ( $R = 0.087$ ), and accuracy of 0.058. On the other hand, mean DDE values were  
233 significantly different from each other ( $P^1 = 0.014$ ); there was significant correlation  
234 between the evaluated methods ( $P^2 = 0.049$ ); correlation coefficient reached 0.315 (weak  
235 correlation) and the observed accuracy was 0.155. It is worth highlighting that, in order  
236 to determine DDE based on OM, it is necessary to previously determine TDE, which, in its  
237 turn, depends on density and fat content values. Therefore, any error at the time to  
238 determine these variables based on the official method will directly lead to errors in DDE  
239 values, a fact that can explain the statistical differences observed for the mean values  
240 recorded for the two methods.

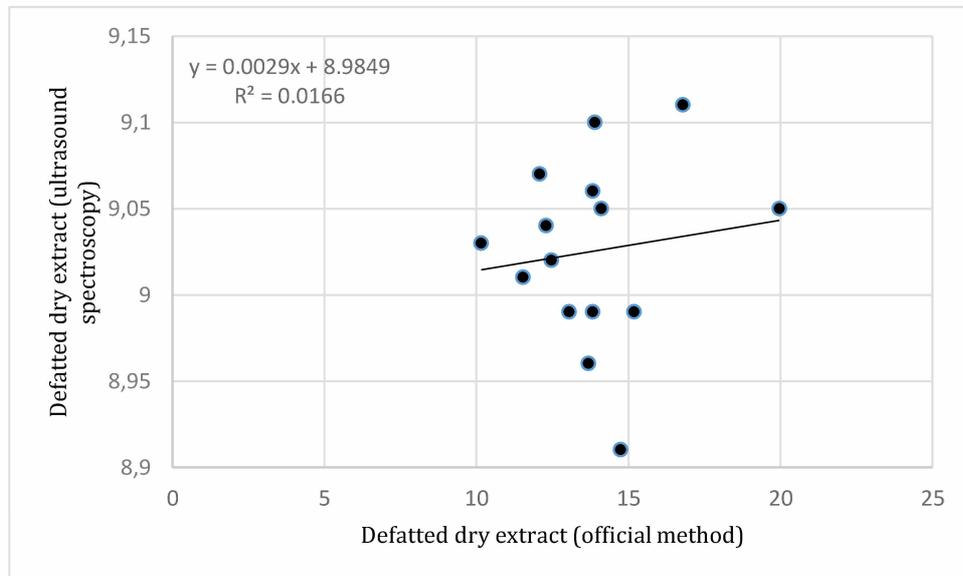
241 Based on Figure 2, the coefficient of determination recorded for DDE, based on OM and  
242 US, indicated that 10.67% of its variability in ultrasound spectroscopy is explained by the  
243 adopted official method (subtracting fat rate from the TDE value).

244

245

246

247 Figure 2 - Scatter diagram of defatted dry extract between the official methodology (OM)  
 248 and ultrasound spectroscopy (US) representing the regression line and the coefficient of  
 249 determination.



250

251

Source: Elaborated by the authors.

252 Cryoscopic index values obtained through both US and the official method (cryoscopy)  
 253 were close to each other. There was weak correlation ( $P1 = 0.040$ ) between US and OM  
 254 ( $R = 0.118$ ); observed accuracy was 0.075.

255 Although the small number of studies comparing the performance of ultrasound  
 256 spectroscopy to that of official methods used to determine the physicochemical features  
 257 of raw milk and dairy products makes it hard to hold an in-depth discussion about this  
 258 topic, there is consensus among researchers who have already investigated it (MILES;  
 259 SHORE; LANGLEY 1990; BUCKIN; O'DRISCOLL; SMYTH, 2003; DUKHIN; GOETZ;  
 260 TRAVERS, 2003; NELLIGAN, 2003; PONSANO et al., 2007; VENTUROSIO et al., 2007;  
 261 MENEGON et al., 2020) that ultrasonic analysis applied to milk samples is quite useful to  
 262 provide information about their physicochemical composition, which is an essential  
 263 factor for milk processing and quality control.

264 An important operational inference to be made in the current study rely on the fact that  
 265 the physicochemical analysis of milk samples based on US has advantages over the one  
 266 based on official methods, namely: (i) it does not require sample preparation; (ii) it uses

267 minimal volumes of intact samples; (iii) it disregards the use of chemical reagents and  
268 specific glassware; and (iv) it simultaneously provides several results, based on two  
269 calibration profiles, within a few minutes. Results observed in this analysis provided  
270 important information for quick decision-making by milk and dairy products' processing  
271 establishments, as well as by regulatory and supervisory bodies, about the quality control  
272 method to be adopted.

273

### CONCLUSION

274 Results of raw milk physicochemical analysis based on the official methodology and on  
275 ultrasound spectroscopy presented positive correlation (fat, cryscopic index, TDE and  
276 DDE). Although ultrasound spectroscopy is a satisfactory method, analyses based on  
277 official methods should not be neglected. It is worth emphasizing that before placing one's  
278 total trust in equipment based on new technologies, it is necessary to conduct studies to  
279 identify the limitations of the investigated device and, then, to calibrate it in the best way  
280 possible. Thus, it is recommended to develop calibration equations based on a more  
281 comprehensive database in order to use this technique. Furthermore, results in the  
282 current study have suggested the need to conduct more comprehensive studies, based on  
283 a large number of samples, in order to validate the current conclusions. Finally, it is worth  
284 mentioning that the evidence herein described about the use of ultrasound technology is  
285 of important for the dairy production in Maranhão State.

286

### ACKNOWLEDGEMENT

287 The authors are grateful to the Dean of Research and Post-Graduation Studies (PPG - Pró-  
288 reitoria de Pesquisa e Pós-graduação) of Maranhão State University, as well as to the  
289 Foundation for Research Support and for Scientific and Technological Development of  
290 Maranhão State (FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento  
291 Científico e Tecnológico do Estado do Maranhão).

292

### REFERENCES

293 BELOTI, V.; TAMANINI, R.; NERO, L. A. **Leite: obtenção, inspeção e qualidade**. Londrina:  
294 Editora Planta, 2015.

- 295 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 76,  
296 de 26 de novembro de 2018. Ficam aprovados os Regulamentos Técnicos que fixam a  
297 identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado,  
298 o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A, na forma desta Instrução Normativa e  
299 do Anexo Único. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 nov. 2018.
- 300 BUCKIN, V.; O'DRISCOLL, B.; SMYTH, C. Ultrasonic spectroscopy for material analysis:  
301 recent advances. **Spectroscopy Europe**, v. 15, p. 20–25, 2003.
- 302 CORREIA FILHO, F. L. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água**  
303 **Subterrânea, estado do Maranhão: relatório diagnóstico do município de**  
304 **Bacabeira**. Teresina: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011. 31 p.
- 305 DUKHIN, A. S.; GOETZ, P. J.; TRAVERS, B. **Ultrasound for characterizing liquid based**  
306 **food products. 1 – Acoustic spectroscopy**. Mount Kisco: Dispersion Technology, 2003.  
307 26 f.
- 308 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice de desenvolvimento**  
309 **humano municipal - IDHM**. 2010. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/cidades-](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/itapecuru-mirim.html)  
310 [eestados/ma/itapecuru-mirim.html](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/itapecuru-mirim.html). Acesso em: 06 fev. 2022.
- 311 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. 2020.  
312 Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/bacabeira.html>. Acesso em:  
313 06 fev. 2022.
- 314 INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION. **Milk. Determination and evaluation of the**  
315 **overall accuracy of indirect methods of milk analysis application to calibration**  
316 **procedure and quality control in the dairy laboratory**. Standard 128A. Bruxelas: IDF,  
317 1999.
- 318 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; IDF INTERNATIONAL  
319 DAIRY FEDERATION. **Milk - Determination of fat content**. Genebra: ISO 2446:2008(E).  
320 Bruxelas: IDF, 2008. 226 p. (E).

- 321 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION; IDF INTERNATIONAL  
322 DAIRY FEDERATION. **Milk - Determination of nitrogen content – Part 1: Kjeldahl**  
323 **method**. Genebra: Bruxelas, IDF, 2001. 20 p.
- 324 LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA ANIMAL. **Métodos analíticos oficiais para**  
325 **controle de produtos de origem animal e seus ingredientes**. Brasília: Ministério da  
326 Agricultura, 1981. v. 2.
- 327 MENEGON, M. F et al. Eficácia da espectroscopia por ultrassom e do congelamento na  
328 avaliação da composição química do leite. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 145-149, 2020.
- 329 MILES, C. A.; SHORE, D.; LANGLEY, K. R. Attenuation of ultrasound in milks and creams.  
330 **Ultrasonics**, v. 28, n. 6, p. 394-400, 1990.
- 331 NELLIGAN, T. J. **An introduction to ultrasonic material analysis**. Waltham: General  
332 Electric, 2003. 3f.
- 333 O'DRISCOLL, B. et al. Recent applications for high-resolution ultrasonic spectroscopy.  
334 **American Laboratory**, v. 35, n. 3, p. 54-57, 2003.
- 335 PONSANO, E. G. H. et al. Correlação entre métodos tradicionais e espectroscopia de ultra-  
336 som na determinação de características físico-químicas do leite. **Arquivo Brasileiro de**  
337 **Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.4, p.1052-1057, 2007.
- 338 SANTOS, M. V.; FONSECA, L. F. L. **Estratégia para controle de mastite e melhoria da**  
339 **qualidade do leite**. 2a ed. Barueri (SP): Manole, 2007. 314 p.
- 340 STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS/STAT software: changes and enhancements**  
341 **through release 6.12**. Cary: SAS Institute, 1992.
- 342 TSENKOVA, R. et al. Near infrared spectroscopy for biomonitoring cow milk composition  
343 measurement in a spectral region from 1,100 to 2,400 nanometers. **Journal of Animal**  
344 **Science**, v. 78, n. 3. p. 515– 522, 2000.

345 VENTUROSO, R. C. et al. Determinação da composição físico-química de produtos lácteos:  
346 estudo exploratório de comparação dos resultados obtidos por metodologia oficial e por  
347 ultra-som. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 43, n. 4, p. 607-613, 2007.

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

## ***CAPÍTULO V: Rede Neural Artificial***

---

---

377

## REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA DETECÇÃO DE ADULTERAÇÃO EM LEITE CRU POR ADIÇÃO DE ÁGUA

### Resumo

O desenvolvimento de equipamentos, metodologias e técnicas que possam acompanhar com maior facilidade de execução, acurácia e celeridade o leite entregue pelo produtor rural para beneficiamento é um aspecto importante que pode contribuir para melhor controle dos padrões de identidade e qualidade da matéria-prima, dos produtos derivados e para controlar fraudes. Nesse sentido, objetivou-se com o estudo desenvolver uma rede neural artificial (RNA) para detectar adulteração no leite cru por adição de água. Para isso, foram coletadas 100 amostras de leite cru em tubos tipo Falcon com capacidade de 200 mL, com a adulteração de 20% (n=20) das amostras por adição de valores percentuais crescentes de água destilada (1%, 5%, 10% e 20%), o que resultou em 80 amostras adulteradas e 80 amostras não adulteradas, avaliadas por espectroscopia de ultrassom quanto aos seguintes parâmetros: temperatura, gordura, sólidos não gordurosos (SNG), densidade, proteína, lactose, sais minerais, ponto de congelamento, condutividade e potencial hidrogeniônico (pH). Para o desenvolvimento da arquitetura da RNA, as 160 amostras de leite foram distribuídas aleatoriamente nos subgrupos treinamento (60%), validação (20%) e teste (20%). Os valores das variáveis foram normalizados entre 0 e 1. Para determinar a configuração da RNA foi utilizado o *software* SNN® e foram testadas as RNA do tipo *Radial-Basis Function* e *Multilayer perceptron*. Como resultados do estudo tem-se que a melhor rede foi a que apresentou menor número de erros de classificação, menor diferença entre os erros de classificação para os subgrupos treinamento, validação e teste, e menor número de neurônios na camada oculta. A melhor rede de classificação foi a *Radial-Basis Function* que apresentou 10 neurônios na camada de entrada, 40 neurônios na camada oculta e dois na camada de saída. A rede neural desenvolvida resultou em 95,37% de amostras classificadas corretamente. A classificação errônea apresentou porcentagem baixa (4,37%) e dentro do esperado. Conclui-se que as RNAs apresentam grande potencial de uso como ferramenta de avaliação de adulterações de leite com adição de água.

**Palavras-chave:** Leite fluido, fraude, inteligência artificial, algoritmos de classificação.

### Estado de Arte

Na literatura científica está disponível que pesquisadores já utilizaram diferentes abordagens da inteligência artificial para a identificação de adulteração em alimentos de origem animal e vegetal, como, o uso das redes neurais artificiais (RNAs) (*machine learning* e *deep learning*) (LEWIS *et al.*, 2007; CHANDRARATNE; KULASIRI; SAMARASINGHE, 2008; CHEN; ZHAO; VITTAYAPADUNG, 2008; YUA *et al.*, 2008); algumas dessas abordagens são focadas no leite *in natura* ou esterilizado (*ultra high temperature*) (WINQUIST *et al.*, 1998; BRUDZEWSKI; OSOWSKI; MARKIEWICZ, 2004; CIOSEK; BRUDZEWSKI; WRÓBLEWSKI, 2006; NAZÁRIO *et al.*, 2009; VALENTE *et al.*, 2014) e derivados lácteos (CARVALHO *et al.*, 2013).

Em duas publicações mais recentes (NAZÁRIO *et al.*, 2009; VALENTE *et al.*, 2014), pesquisadores utilizaram RNAs do tipo *Radial-Basis Function* (RBF) e *Multi-Layer Perceptron* (MLP) para avaliarem a adulteração em leite. Desses pesquisadores, Valente *et al.* (2014) propuseram uma estrutura no *software* SNN® utilizando algoritmos k-means e retropropagação (backpropagation); o algoritmo k-nearest para definir a largura dos campos receptivos; e, os pesos da camada de saída foram definidos usando o método da pseudo-inversa. Os pesquisadores obtiveram as melhores classificações ao utilizarem a RBF, com precisão na classificação de 95,2 % para o leite adulterado e 100 % para o leite que não foi adulterado.

Alguns exemplos da aplicabilidade das RNAs associadas a sinais provenientes de sensores, estão disponíveis na literatura especializada para classificar alimentos. Lewis *et al.* (2007), por exemplo, empregaram um sensor a fibra óptica e técnicas de RNAs para averiguar a coloração de alimentos durante o processo de cocção e para o monitoramento da qualidade da água. Chandraratne, Kulasiri e Samarasinghe (2008) realizaram a classificação de cortes cárneos de cordeiro, com o emprego de imagens obtidas por meio de câmeras e RNAs. Nesse estudo, os parâmetros utilizados para a avaliação dos cortes de carne foram: teor de gordura, quantidade de osso, textura etc. Chen, Zhao e Vittayapadung (2008) e Yua *et al.* (2008) utilizaram a rede neural para a classificação de amostras de chá verde líquido utilizando sensores do tipo nariz e língua eletrônica, respectivamente.

Carvalho *et al.* (2013) utilizaram RNA do tipo MLP para prever os atributos de textura de requeijão *light* com base em medidas instrumentais de textura comparando com resultados obtidos por julgadores treinados. Para o treinamento da rede, foi utilizado o algoritmo de retropropagação. A RNA elaborada avaliou com precisão os atributos sensoriais de textura e evidenciou alta correlação entre os valores preditivos e experimentais para o conjunto de dados de validação e excelente capacidade de generalização.

Especificamente para a caracterização e classificação de leite, Nazário *et al.* (2009) empregaram conjuntamente as técnicas de ultrassom e RNA e obtiveram acima de 95% das amostras classificadas corretamente. Ainda referente a este produto de origem animal (POA), Winqvist *et al.* (1998) utilizaram língua eletrônica, cujos sensores eram fundamentados em eletrodos que mediam a condutividade do meio. O sensor foi utilizado para detectar crescimento microbiano no leite armazenado em temperatura ambiente e os dados obtidos foram posteriormente processados por uma RNA. Brudzewski, Osowski e Markiewicz (2004) empregaram um sensor de gás como nariz eletrônico para classificar amostras de leite submetidos a diferentes tipos de tratamentos térmicos, como a pasteurização. Os elementos

voláteis presentes no leite dependiam do tipo de tratamento realizado, que foram detectados por sensores e classificados pelas redes neurais artificiais. Nesse último trabalho citado, foram utilizadas amostras com teores de gordura no leite iguais a 0, 0,5, 2 e 3,5 %. Ciosek *et al.* (2006) utilizaram a rede neural associada a uma língua eletrônica, projetada em eletrodos, para classificar amostras de leite de diferentes marcas e teores de gordura.

Na Tabela 1 são apresentadas de forma sucinta as pesquisas que foram descritas neste capítulo, destacando o título do trabalho realizado, a metodologia utilizada, o melhor modelo obtido no desenvolvimento da RNA e o percentual de classificação das amostras sob análise.

**Tabela 1.** Resumo de pesquisas que versam sobre a utilização de redes neurais artificiais para a detecção da adulteração em alimentos

<b>Título</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Melhor Modelo</b>	<b>Classificação Correta</b>
Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry (WINQUIST <i>et al.</i> 1998)	Descreveram uma língua eletrônica que consistiu em eletrodos (referência e auxiliar) e fios de diferentes metais (eletrodos de trabalho); os dados obtidos foram tratados com análise de componentes principais (PCA) e para fazer modelos para previsões redes neurais artificiais.	MLP	> 95%
Classification of milk by means of an electronic nose and svm neural network (BRUDZEWSKI; OSOWSKI; MARKIEWICZ, 2004)	Utilizaram sensores de gás à base de óxido de estanho. Os sinais dos sensores pré-processados foram aplicados à rede neural da Support Vector Machine (SVM).	SVM	> 95%
Milk classification by means of an electronic tongue and support vector machine neural network (CIOSEK; BRUDZEWSKI; WRÓBLEWSKI, 2006)	Utilizaram língua eletrônica, fundamentada em um conjunto de sensores de eletrodos potenciométricos de estado sólido. Os sinais foram inseridos em uma rede neural da SVM.	SVM	> 95%
Principal component analysis and artificial	Investigaram o uso de redes neurais	Feedforward de três camadas	> 95%

neural network based approach to analysing optical fibre sensors signals (LEWIS <i>et al.</i> , 2007)	artificiais acopladas à análise de componentes principais para medir a cor dos alimentos		
Classification of lamb carcass using machine vision: Comparison of statistical and neural network analyses (CHANDRARATNE; KULASIRI; SAMARASINGHE, 2008)	Compararam a análise de função discriminante com redes neurais artificiais para a classificação de carcaça de cordeiro	<i>Multi-Layer Perceptron (MLP)</i> de três camadas	96,9%
Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition (CHEN; ZHAO; VITTAYAPADUNG, 2008)	Empregaram língua eletrônica com o algoritmo <i>K</i> -nearest e rede neural artificial	MLP	> 95%
Quality grade identification of green tea using e-nose by CA and ANN (YUA <i>et al.</i> , 2008)	Utilizaram nariz eletrônico para a identificação rápida dos graus de qualidade do chá verde por meio da rede neural de retropropagação (BPNN) e a rede neural probabilística (PNN)	BPNN	88%
Caracterização de leite bovino utilizando ultra-som e redes neurais artificiais (NAZÁRIO <i>et al.</i> , 2009)	Utilizaram rede neural do tipo MLP para classificar os teores de gordura do leite UHT.	MLP	95,5%
Artificial neural networks (ANN): prediction of sensory measurements from instrumental data (CARVALHO <i>et al.</i> , 2013)	Utilizaram rede neural para prever a textura de requeijão e comparar com resultados obtidos por julgadores treinados.	MLP	94,95%
Aplicação de redes neurais artificiais como teste de detecção de fraude de leite por adição de soro de queijo (VALENTE <i>et al.</i> , 2014)	Utilizaram redes neurais artificiais (Radial-Basis Function - RBF e MPL) para classificar amostras de leite quanto à adição de soro de queijo	RBF	> 95%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, contata-se nos trabalhos correlatos publicados nas últimas décadas que a busca por novas técnicas ou construção de ferramentas para classificação com a utilização de RNAs, tem sido estudada, inclusive com a obtenção de excelentes resultados. E, os modelos mais utilizados para o treinamento da rede são SVM, MLP e RBF. Para Nazário *et al.* (2009), na elaboração de RNAs não são comuns a ocorrência de problemas com a caracterização e classificação de amostras de leite adulteradas por adição de água.

Assim, diante da importância da classificação do leite para avaliação da qualidade (adulterado e não adulterado por adição de água) com vistas à prevenção de fraudes, este estudo se justifica pela relevância de desenvolvimento de uma proposta promissora para potencializar a análise físico-química do leite utilizando inteligência artificial, como ferramenta de apoio ao profissional da área de laticínios envolvido na inspeção e tecnologia, focado no tripé (frequência/intensidade/tempo). Nesse contexto, objetivou-se com o estudo desenvolver uma rede neural artificial (RNA) para detectar adulteração no leite cru por adição de água.

## **Procedimentos**

### **Amostras de Leite: obtenção e preparo das análises**

Foram coletadas 100 amostras de leite de diferentes dias de produção (cada amostra constituída por 200 mL) com o emprego de técnicas assépticas. Dessas, 20% (n= 20) foram adulteradas por adição de valores percentuais crescentes de água (1 %, 5 %, 10 % e 20 %), o que resultou em 80 amostras fraudadas, 20 amostras para cada percentual de adição de água. Para o desenvolvimento da RNA, 80 amostras de leite cru e 80 amostras adulteradas foram utilizadas para configurar a arquitetura da RNA. A água adicionada às amostras de leite foi destilada, e sem diferenças significativas em suas propriedades físico-químicas.

### **Conjunto de Dados Físico-químicos**

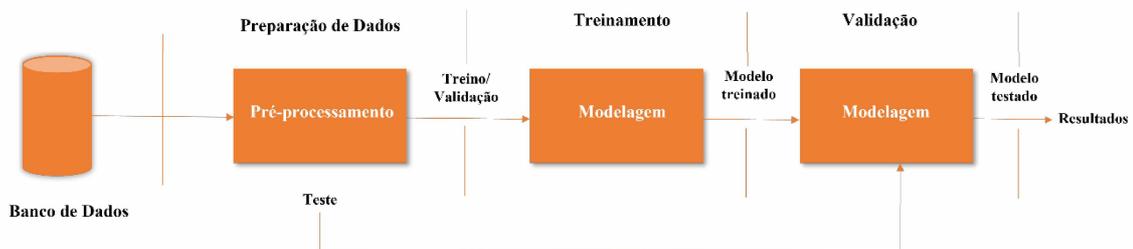
Para treinar os modelos, utilizou-se os resultados das análises físico-químicas realizadas com a espectroscopia de ultrassom (US), constituídas por 10 parâmetros: temperatura, gordura, sólidos não gordurosos (SNG), densidade, proteína, lactose, sais minerais, ponto de congelamento, condutividade e potencial hidrogeniônico (pH).

Antes da análise, foi realizada a calibração do aparelho de espectroscopia por ultrassom (analisador de leite master complete), seguindo o método descrito pelo fabricante, para se obter resultados mais precisos em relação aos valores obtidos. Para que os valores utilizados na calibração fossem mais precisos foi realizada a avaliação do teor de gordura de amostras de leite gordo (perfil 1) e magro (perfil 2) para padronização e conhecimento dos parâmetros físico-químicos do leite e, ainda para quantificar de maneira mais confiável os resultados.

Após a calibração, foi realizada a análise das 160 amostras, em que foi acoplado 5 mL de cada amostra sob análise no analisador de leite, com posterior apresentação dos resultados físico-químicos no painel e impressão desses.

## Fases do Experimento

Este experimento incluiu quatro fases diferentes: preparação dos dados, treinamento, validação e teste. As quatro diferentes fases, são sumarizadas na Figura 1 e descritas na sequência. A metodologia proposta é fundamentada em um esquema em cascata em que, primeiro foram classificadas as amostras de leite sem e com adulteração por adição de água e, em seguida, identificada a adulteração.



**Figura 1.** Fases executadas para o desenvolvimento de uma rede neural artificial para detecção de adulteração em leite com adição de água

## Preparação dos Dados, Treinamento, Validação e Teste

O conjunto de dados foi composto por 160 amostras de leite (80 amostras de leite cru sem adulteração e 80 amostras adulteradas). Para treinar e validar o modelo proposto, o conjunto de dados foi dividido aleatoriamente nos seguintes subgrupos: treinamento (60%), validação (20%) e teste (20%) de acordo com protocolo estabelecido por Valente *et al.* (2014). Para o subgrupo de treinamento foram 48 amostras de leite normal e 48 amostras adulteradas.

Para validação e teste foram 16 casos de leite normal e 16 de leite adicionado de água. Os valores das variáveis foram normalizados entre 0 e 1 por meio da Equação 1, descrita abaixo:

### Equação 1

$$X_i = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

**Onde:** x = valor observado

Min (x) = menor valor para a variável

Max (x) = maior valor da variável em estudo.

Para determinar a configuração da RNA foi utilizado o *software* SNN®. Várias redes foram testadas, RBF e MLP com uma camada oculta. Como critério de seleção para as redes foi utilizado o erro quadrático médio (EQM) para os dados de validação (CARVALHO *et al.*, 2013; VALENTE *et al.*, 2014). O número de neurônios artificiais nessas camadas foi definido por meio do método de refinamento manual, com o estudo dos parâmetros e escolha da melhor combinação testada (tentativas e erro).

As variáveis de entrada foram os resultados obtidos nas análises físico-químicas e duas configurações foram testadas para a camada de saída: (i) uma com um neurônio em que leite normal foi 0 (zero) e adulterado 1 (um); e, (ii) uma com dois neurônios, leite normal (0, 1) e leite adulterado (1, 0). Para obter os centros da rede do tipo RBF<sup>9</sup> foi utilizado o algoritmo *k-means*<sup>10</sup> (KM), o algoritmo *k-nearest*<sup>11</sup> (KN) para definir a largura dos campos receptivos e, os

---

<sup>9</sup>**Radial-Basis Function:** redes capazes de resolverem problemas de classificação, aproximação de funções e previsão de séries temporais. O rápido treinamento de uma RBF é a grande vantagem para a resolução destes tipos de problemas (OLIVEIRA, 2004).

<sup>10</sup>**Algoritmo *k-means*:** algoritmo que analisa dados e cria classificações.

<sup>11</sup>**Algoritmo *k-nearest*:** algoritmo de aprendizado supervisionado usado para regressão e classificação. Este algoritmo tenta prever a classe correta para os dados de teste por meio do cálculo da distância entre os dados de teste e todos os pontos de treinamento (CHRISTOPHER, 2021).

pesos da camada de saída foram definidos pelo método da pseudo-inversa (PI). Para as redes MLP<sup>12</sup>, o treinamento foi realizado com o algoritmo retropropagação<sup>13</sup> (*backpropagation*).

### Apresentação da Rede Neural Artificial (RNA) Desenvolvida

As amostras de leite cru (n= 80) e leite cru adulterado por adição de água (n= 80) apresentaram as características físico-químicas sumarizadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores mínimos, máximos, médias (*X*) e desvios-padrão (*s*) dos parâmetros físico-químicos de 160 amostras de leite utilizadas para configurar a arquitetura de rede neural artificial

Parâmetros Físico-químicos	Mínimo	Máximo	<i>X</i>	<i>S</i>
Temperatura (°C)	13,6	28,8	25,95	3,32
Gordura (%)	1,45	6,27	3,41	1,31
SNG (%)	7,32	10,02	8,96	0,72
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1,000	1,097	1,046	0,02
Proteína (%)	2,40	3,69	3,31	0,27
Lactose (%)	3,50	5,50	4,93	0,43
Sais minerais (%)	0,59	0,85	0,75	0,42
Ponto de congelamento (°C)	-0,682	-0,406	-0,575	0,06
Condutividade (mS/cm)	11,3	11,4	11,3	0,03
pH	4,3	5,3	5,2	0,25

Onde: SNG= sólidos não gordurosos; pH= potencial hidrogeniônico.

Das 26.843 redes testadas, entre MLP e RBF, as melhores são discriminadas na Tabela 3. Nesse interim pontua-se que as redes com dois neurônios na camada de saída apresentaram melhores resultados. A melhor rede foi aquela que apresentou as seguintes características: (i) menor número de erros de classificação; (ii) menor diferença entre os erros de classificação para os subgrupos treinamento, validação e teste; (iii) e menor número de neurônios na camada oculta.

<sup>12</sup>**Multilayer perceptron:** rede neural com uma ou mais camadas ocultas com um número indeterminado de neurônios. A camada oculta é assim denominada porque não é possível prever a saída desejada nas camadas intermediárias (MOREIRA, 2018).

<sup>13</sup>**Algoritmo retropropagação:** algoritmo de aprendizagem em redes neurais do tipo multicamadas com topologia recorrente, compostas por uma ou mais camadas intermédias.

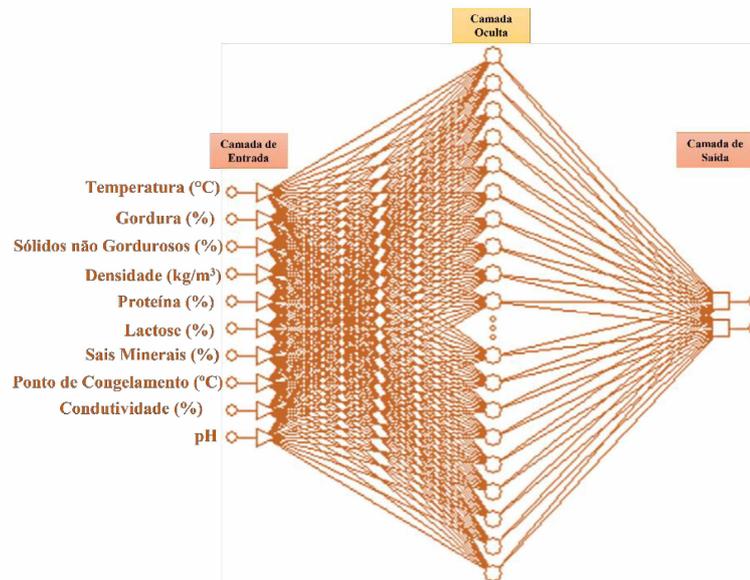
**Tabela 3.** Redes neurais artificiais testadas para detecção de adulteração em amostras de leite (n= 160) com menores erros quadráticos médios (EQMs) para os dados de validação

Centro de Rede	Quantidade de Neurônios		EQM Validação	Treinamento
	Camada Interna	Camada Oculta		
MLP	10	20	0,566	<i>Backpropagation</i>
	10	31	0,583	
	1	31	0,639	
	1	13	0,733	
	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>0,262</b>	
RBF	10	51	0,355	KM, KN, PI
	10	50	0,372	
	10	49	0,378	
	10	47	0,375	
	10	43	0,379	
	10	21	0,400	
	10	21	0,401	
	10	19	0,402	
	10	21	0,403	
	10	21	0,406	
	10	21	0,409	
	10	21	0,409	
	5	21	0,407	
	7	21	0,403	

Onde: MLP= *Multilayer perceptron*; RBP= centros de rede; EQM= erro quadrático médio; KM= k-means; KN= k-nearest; PI= pseudo-inversa.

A melhor rede de classificação foi uma rede neural RBF, com 10 neurônios na camada de entrada, 40 neurônios na camada oculta e com EQM de 0,262 (Figura 2).

**Figura 2.** Estrutura de uma rede neural de função de base radial, com 10 neurônios na camada de entrada e 40 neurônios na camada oculta desenvolvida para detecção de adulteração em leite com adição de água



Fonte: Elaborada pelos autores.

Foram calculados os erros nos subgrupos e observados que estes ocorreram nos três subgrupos, mas em percentuais diferentes e, sobretudo nas menores concentrações de adição de água (1 % e 5 %) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Erros de classificação para uma rede neural artificial de função de base radial, com 10 neurônios na camada de entrada e 40 neurônios na camada oculta

Subgrupos	Amostras de Leite	Erros	Percentagem de Erros (%)	Erros de Classificação com Base nas Concentrações por Adição de Água no Leite				
				0 %	1 %	5 %	10 %	20 %
Treinamento	96	4	2,50	0	3	1	0	0
Validação	32	2	1,25	0	1	1	0	0
Teste	32	1	0,62	0	1	0	0	0
Total	160	7	4,37	0	5	2	0	0

Com a RNA desenvolvida, constata-se a não ocorrência de erro de classificação em 100 % das amostras de leite cru não adulterado (n= 80). Porém, houve classificação errônea em 4,37 % das amostras adulteradas (n= 7), apesar da percentagem de erros ser considerada baixa. Nazário *et al.* (2009) obtiveram poder de classificação de uma RNA de 96,3 % para amostras adulteradas por adição de água e de 95,5% para a classificação correta de amostras com diferentes teores de gordura. Valente *et al.* (2014) que também utilizaram a RNA para classificação de amostras de leite adulterados por adição de soro de queijo obtiveram mais de 95 % de acertos na classificação.

Maia, Calil e Costa (2010) realizaram a avaliação das características sensoriais e físico-químicas de amostras de leite fraudadas por adição de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. Os pesquisadores constataram que com a adição de 1,0 % de água, a crioscopia apresentou o valor de  $-0,527$  °H. Porém nas adições das demais substâncias acima citadas, a técnica crioscópica evidenciou resultados em conformidade com os valores estabelecidos em legislação. Na análise sensorial, apenas foi detectada diferença nas amostras sob análise a partir de 25% de água adicionada, 45% de soro de queijo, 20% de soro fisiológico e 30% de soro glicosado. As adições reduziram os teores de gordura, lactose, proteínas e minerais que foram detectadas nas análises físico-químicas. A crioscopia foi eficaz para detectar aguagem, porém a adição dos outros componentes dificultou a detecção.

Wanderley *et al.* (2013) avaliaram o comportamento dos métodos analíticos oficiais de rotina (lipídios, extrato seco desengordurado, acidez titulável, densidade relativa a 15 °C e crioscopia) e de detecção de fraudes utilizadas para leite fluido. Para os pesquisadores, tais análises não foram eficazes na detecção de adulterações, sendo necessárias análises complementares de substâncias neutralizantes da acidez, conservantes e reconstituintes da densidade. Esses resultados reforçam a necessidade de ferramentas complementares para avaliação de fraudes em leite. E, para Zhang *et al.* (2011) é necessário introduzir algum método de detecção sensível e preciso na rastreabilidade de alimentos no intuito de prevenir e verificar as adulterações.

Segundo Nazário *et al.* (2009), os métodos por ultrassom e redes neurais são equivalentes aos métodos físico-químicos oficiais, como o de Gerber, crioscopia e equipamentos comerciais disponíveis no mercado (por exemplo os equipamentos ultrassônicos), com as vantagens de serem técnicas não destrutivas e que podem substituir diversos equipamentos. Para Valente *et al.* (2014), uma grande vantagem da RNA é que esta pode ser aprimorada, quanto maior o número de dados disponíveis melhor será a predição da rede e novas variáveis podem ser incorporadas nela.

## **Conclusões**

A rede neural artificial desenvolvida no estudo apresentou poder de classificação elevado de amostras de leite cru não adulteradas e adulteradas, comprovado nas fases de treinamento, validação e de teste com amostras desconhecidas pela rede arquitetada. Esses resultados demonstram o grande potencial de aplicabilidade das RNAs para identificação de

amostras adulteradas com adição de água em leite.

## Referências<sup>14</sup>

- BRUDZEWSKI, K.; OSOWSKI, S.; MARKIEWICZ, T. Classification of milk by means of an electronic nose and svm neural network. **Sensors and Actuators B**, v. 98, n. 2–3, p. 291–298, 2004.
- CARVALHO, N. B. *et al.* Artificial neural networks (ANN): prediction of sensory measurements from instrumental data. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 4, p. 722–729, 2013.
- CHANDRARATNE, M.; KULASIRI, D.; SAMARASINGHE, S. Classification of lamb carcass using machine vision: Comparison of statistical and neural network analyses. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 1, p. 26–34, 2008.
- CHEN, Q.; ZHAO, J.; VITTAYAPADUNG, S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition, **Food Research International**, v. 41, n. 5, p. 500–504, 2008.
- CHRISTOPHER, A. **K-Nearest Neighbor**. 2021. Disponível em: <https://medium.com/swlh/k-nearest-neighbor-ca2593d7a3c4>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- CIOSEK, P., BRUDZEWSKI, K.; WRÓBLEWSKI, W. Milk classification by means of an electronic tongue and support vector machine neural network. **Measurement Science and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1379–1384, 2006.
- LEWIS, E. *et al.* Principal component analysis and artificial neural network based approach to analysing optical fibre sensors signals. **Sensors and Actuators A – Physical**, v. 136, n. 1, p. 28–38, 2007.
- MAIA, R. G.; CALIL, C.; COSTA, A. Características físico-químicas e análise sensorial do leite pasteurizado adicionado de água, soro de queijo, soro fisiológico e soro glicosado. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 65, n. 376, p. 18–25, 2010.
- MATHIAS, I. M. **Aplicação de redes neurais artificiais na análise de dados de molhamento foliar por orvalho**. 2006. 120 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita, Botucatu, 2006.

---

<sup>14</sup>Capítulo formatado de acordo com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Normas Brasileiras (NBRs) 105520/2002 (citações), 14724/2011 (trabalhos acadêmicos), 6023/2018 (referências).

MOREIRA, S. **Rede Neural Perceptron Multicamadas**. 2018. Disponível em: <https://medium.com/ensina-ai/rede-neural-perceptron-multicamadas-f9de8471f1a9>. Acesso em: 25 jun. 2022.

NAZÁRIO, S. L. S. Caracterização de leite bovino utilizando ultra-som e redes neurais artificiais. **Revista Controle & Automação**, v. 20, n. 4, p. 627-636, 2009.

OLIVEIRA, A. L. I. de. **Neural Networks Forecasting and Classification-Based Techniques for Novelty Detection in Time Series**. 2004. 180 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

VALENTE, G. F. S. *et al.* Aplicação de redes neurais artificiais como teste de detecção de fraude de leite por adição de soro de queijo. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 6, p. 425-432, nov./dez. 2014.

WANDERLEY, C. H. *et al.* Avaliação da sensibilidade de métodos analíticos para verificar fraude em leite fluido. **Revista de Ciência da Vida**, v. 33, n. 1, p. 54-63, 2013.

WINQUIST, F. *et al.* Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry. **Measurement Science and Technology**, v. 9, n. 12, p. 1937–1946, 1998.

YUA, H. *et al.* Quality grade identification of green tea using e-nose by CA and ANN. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 7, p. 1268–1273, 2008.

ZHANG, J. *et al.* Review of the current application of fingerprinting allowing detection of food adulteration and fraud in China. **Food Control**, v. 22, n. 8, p. 1126-1135, 2011.

## ***CAPÍTULO VI: Considerações Finais***

---

---

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos, modelos e técnicas de aprendizado de máquina foram e são realizados com o intuito de auxiliar profissionais das diferentes áreas do conhecimento. Na área de alimentos, eles versam, sobretudo na detecção de adulterações e classificação quanto a parâmetros organolépticos, sensoriais, texturais, além de parâmetros físico-químicos.

O desenvolvimento de sistemas automáticos, não invasivos, de baixo custo e inteligentes, poderiam desempenhar papel decisivo na identificação de fraudes em alimentos e na tomada de decisão quanto ao julgamento e destino dos produtos adulterados. Dos estudos na área de alimentos avaliados, a maioria concentra-se em redes neurais do tipo *Radial-Basis Function* (RBF) e *Multilayer perceptron* (MLP), que se caracterizam por aprendizado profundo da máquina. Mas, para a confiabilidade dos resultados se faz necessário dados balanceados e em quantidades suficientes para treinamento do modelo. Nesse sentido, técnicas para mitigação desses e outros problemas; além da demonstração e entendimento de como o modelo tomou a decisão para a classificação são imprescindíveis.

Nesse cenário, nesse estudo diferentes redes neurais artificiais (RNAs) foram testadas e os resultados comparados entre as redes. Para o modelo desenvolvido, a melhor rede foi a do tipo RBF com 95,37% de amostras classificadas corretamente. Esses resultados demonstram quão preciso o modelo foi em relação aos casos de amostras de leite adulteradas e não adulterados (100%).

Pelos aspectos supracitados, é oportuno informar que o conhecimento das áreas de produção animal, tecnologia de alimentos e informática devem ser associados e aplicados em agropecuária, por meio de uma equipe multidisciplinar que trabalhará junta com a finalidade de chegar a um objetivo comum: a qualidade do produto ofertado à população. Em benefício às ações de fiscalização, faz-se necessário o uso de recursos/ferramentas que promovam celeridade neste processo, possibilitando a otimização dos resultados laboratoriais. Assim, com base nas fontes pesquisadas e nas ferramentas aplicadas nesse estudo é possível inferir que a inteligência artificial deve ser utilizada para subsidiar a produção animal e de alimentos, logicamente que associados aos métodos clássicos e cientificamente aceitos e preconizados por órgãos oficiais e pela comunidade científica. Espera-se que o presente estudo possa contribuir com a pecuária maranhense e como uma fonte atualizada de informações acerca da temática estudada.

É importante destacar que a experiência adquirida com esta pesquisa foi grandiosa, por permitir a obtenção de conhecimentos de extrema relevância na área de inspeção e tecnologia

de alimentos e sua subárea do conhecimento: de inspeção e tecnologia de leite e derivados. E, ainda pela visão crítica obtida e colocada na prática diária do serviço de defesa sanitária animal.

Com base nas funcionalidades propostas nesta pesquisa, sugere-se para trabalhos futuros:

- Aplicação das metodologias utilizadas em amostragens maiores e de leite oriundo de outras espécies, como *Capra hircus* e *Bubalus bubalis*.
- Aplicação das metodologias utilizadas para comprovar a qualidade de outros produtos alimentícios, seja de origem animal ou vegetal.
- Desenvolvimento de sistemas de informação local que permitam o armazenamento de série histórica de dados físico-químicos do leite entregue para beneficiamento em estabelecimentos de leite.
- Desenvolvimento de outros agentes de *software* inteligente que possam auxiliar os profissionais da área de ciência de alimentos na tomada de decisões rápidas.