



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

PAOLA LIMA OLIVEIRA

**Sistema de Apoio de Decisão utilizando Lógica Fuzzy na Avaliação da
Qualidade do Leite**

OURO BRANCO - MG

2022

PAOLA LIMA OLIVEIRA

**Sistema de Apoio de Decisão utilizando Lógica Fuzzy na Avaliação da
Qualidade do Leite**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Engenharia de
Bioprocessos da Universidade Federal de
São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba,
como parte das exigências para a obtenção
do título de Bacharel em Engenheiro de
Bioprocessos.

Orientador: Prof. Dr. Edson Romano Nucci

OURO BRANCO - MG

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram ao longo desta jornada, a Deus, minha família, que sempre me apoiou nos estudos e em minhas escolhas, aos meus amigos pelo companheirismo. Agradeço ao meu professor e orientador Edson Nucci que teve um papel fundamental na elaboração deste trabalho.

O TRABALHO DESENVOLVIDO SEGUE AS NORMAS DA REVISTA
BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT

Sistema de Apoio de Decisão utilizando Lógica Fuzzy na Avaliação da Qualidade do Leite

Decision Support System using Fuzzy Logic in Milk Quality Assessment

Paola Lima Oliveira

Formação acadêmica mais alta: Graduada em Engenharia de Bioprocessos, UFSJ
Endereço completo: Campus Alto Paraopeba - Rod.: MG 443, KM 7 Ouro Branco - MG
36420 000
Email: paolaloliveira94@yahoo.com.br

Edson Romano Nucci

Formação acadêmica mais alta: Doutorado em Engenharia Química, UFSCar
Instituição de atuação atual: UFSJ
Endereço completo: Campus Alto Paraopeba - Rod.: MG 443, KM 7 Ouro Branco - MG
36420 000
Email: nucci@ufs.br

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a utilização da lógica Fuzzy em tomada de decisão na qualidade do leite, utilizando as principais características físico-químicas do leite como variáveis linguísticas de entrada. A partir dessas variáveis, foram obtidas as funções de pertinência por meio de formas trapezoidais. Criaram-se regras para obter as variáveis de saída: adulterado, inadequado e adequado. Para essa análise, utilizou-se os softwares Scilab® e In_Fuzzy aplicados a simulações realizadas conforme as variáveis existentes e assim, verificar suas eficiências. Observou-se que os softwares são eficazes, porém é de grande interesse a realização de análises físico-químicas como complemento a eles.

Palavras-chave: Leite; Adulteração; Qualidade; Lógica Fuzzy.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Leite e a produção no Brasil

O leite é um importante alimento para os seres humanos, uma fonte significativa de nutriente, o qual é produzido e consumido por todo o mundo. Devido a sua composição nutricional, o leite é largamente utilizado e transformado em diversos produtos lácteos. Entre o leite mais consumido, está o leite de vaca, o qual consiste em um alimento complexo, sendo uma combinação de componentes sólidos em água. Os principais componentes sólidos consistem em gordura, proteína, lactose e minerais (NORO, 2001). O leite está entre um dos produtos essenciais da agropecuária brasileira, importante para o suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população (EMBRAPA, 2016).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de leite, com mais de 34 bilhões de litros por ano, com produção na maioria dos municípios brasileiros, tendo a predominância de pequenas e médias propriedades, empregando perto de 4 milhões de pessoas. A maior parte da produção de leite do Brasil concentra-se nas regiões Sudeste (50%) e Sul (23%). Entre os estados, Minas Gerais lidera a produção nacional, com 30%, ficando em segundo lugar São Paulo com 14% da produção. A média de produção de leite no Brasil desde 1997 comparada até 2014, teve uma crescente significativa, porém de 2015 a 2017 houve uma queda na qual em 2018 a produção voltou a aumentar (Figura 1).



Figura 1. Produção total de leite no Brasil, de 1997 a 2018 (em bilhões de litros)

Fonte: IBGE

1.2 Classificação do Leite

O leite pode ser classificado quanto a algumas propriedades, por exemplo: em relação ao teor de gordura, ele pode ser integral, tendo no mínimo 3% de gordura; semidesnatado com teor entre 2,9 e 0,6% e, desnatado com no máximo 0,5% de gordura.

A classificação quanto ao tipo de rebanho, ordenha, processo de obtenção e número de bactérias presentes após pasteurização, pode ser do tipo A, B ou C e possuem basicamente a mesma composição nutricional. O tipo A ou pasteurizado possui uma excelente qualidade microbiológica, com número máximo de bactérias 500/mL. Ele não pode ser transportado cru e sua pasteurização e embalagem acontece na própria fazenda. A ordenha é mecânica e o leite é encaminhado para um tanque onde é aquecido e logo após resfriado e possui mais gordura que proteína. O tipo B se caracteriza por um leite de boa qualidade, a contagem de micro-organismos no momento da pasteurização se encontra em níveis mais elevados com quantidade máxima de bactérias de 40.000/mL. A ordenha pode ser manual ou mecânica. As produtoras permanecem em estábulos e o leite ao ser retirado é resfriado numa temperatura de até 4°C. Já o do tipo C apresenta baixa qualidade, com alteração no sabor pelo alto número de bactérias antes da pasteurização, podendo chegar a 100.000/mL. A retirada do leite pode ser manual ou mecânica. As produtoras ficam livres em pastos e, após a ordenha, o leite é encaminhado a locais rústicos onde é resfriado antes de ser levado para as usinas.

1.3 Processamento do Leite

Quanto ao processamento do leite, o leite pode ser classificado como cru refrigerado, pasteurizado, UHT e esterilizado. O leite cru refrigerado consiste no leite produzido em propriedades rurais, refrigerado e destinado aos estabelecimentos de leite e derivados sob serviço de inspeção oficial, na qual não é destinado diretamente ao consumo (MAGGI, 2022).

O leite pasteurizado é o leite fluido submetido a um dos processos de pasteurização previstos na legislação vigente, envasado automaticamente em circuito fechado e destinado a consumo humano direto, sem aditivos. A pasteurização acontece por meio de um tratamento térmico, a uma temperatura entre 72 e 75°C por 12 a 15 segundos, que em seguida é refrigerado a uma temperatura de 4°C ou menos (TRONCO, 2008).

O leite UHT, Ultra-Alta Temperatura, é o mais consumido no Brasil, é caracterizado pelo aquecimento do produto a temperaturas entre 130 e 150°C, no período de dois a quatro segundos, seguido de rápido resfriamento, com o intuito de eliminar microrganismos patogênicos.

1.4 Composição do leite

A fração de sólidos totais ou extrato seco total (EST) do leite é composta principalmente por gordura, proteína, lactose, minerais e vitaminas. Estudos mostram uma relação entre o ponto crioscópico e o rendimento industrial, na qual a crioscopia é associada ao teor de sólidos do leite. A matéria seca desengordurada ou extrato seco desengordurado (ESD) corresponde aos componentes do leite, subtraído de água e de gordura (PANCOTTO, 2011).

A gordura presente no leite é composta por triglicerídeos, como pequenos glóbulos que ficam envolvidos por uma membrana lipoprotéica, ficando suspensos na fase aquosa. A gordura representa o componente de maior variabilidade no leite, devido a fatores genéticos e ambientais, por causa do manejo nutricional. A cor amarelo-creme característica do leite é resultado de vitaminas lipossolúveis, colesterol e outras substâncias solúveis em gordura. O teor de gordura no leite varia entre 3,5 e 5,3%, sendo essa variação devido a diferentes raças, estágios da lactação e da alimentação.

O leite consiste em uma importante fonte de proteína, contendo em média cerca de 32g de proteínas em 1 litro de leite. Além do alto valor biológico, as proteínas possuem todos os aminoácidos essenciais em quantidades adequadas para suprir as necessidades humanas, apresentando boa digestibilidade e biodisponibilidade. Como a gordura, existem fatores que influenciam na composição de proteínas, como temperatura ambiente, doenças do animal, estágio de lactação, número de parições, raça, alimentação e teor energético da alimentação.

O índice crioscópico (IC) é um parâmetro importante para análise do leite, que se refere ao ponto de congelamento da mistura e, como os demais parâmetros, ele tem por finalidade a detecção de fraudes por adição de água. É analisada a temperatura em que o leite passa do estado líquido para o estado sólido (CZARNOBAY, 2010). Para que o leite esteja com sua composição normal, ou seja, não esteja adulterado conforme esse teste, ele deve possuir índice crioscópico abaixo ao valor referente à água pura, que é 0°C. Portanto, os valores de referência para o leite são entre -0,512 e -0,531°C (ZENEON et al., 2008; BRASIL, 2006).

A densidade corresponde ao peso específico do leite, determinada pela concentração de elementos em solução em suspensão e pela porcentagem de gordura. Esse teste é fundamental na análise de adulteração do leite, pois identifica possíveis fraudes como a de crioscopia, principalmente pela adição de água, acarretando a diminuição da densidade, enquanto a retirada de gordura resulta em aumento da densidade, além de fornecer importante informação para determinação do extrato seco, juntamente com o teor de gordura do leite (CASTANHEIRA, 2010). Conforme a IN 62, para um leite de boa qualidade, a densidade é medida a 15°C e pode variar entre 1,028 g/mL e 1,034 g/mL a 15°C com valor médio de 1,032 g/mL.

Os principais métodos para analisar a acidez do leite referem-se ao teste de alizarol, sendo um teste qualitativo e a acidez titulável, referente a um método quantitativo sobre a acidez da amostra analisada (BRASIL, 2006). Esse segundo método é determinado por uma titulação ácido-base, na qual utiliza-se uma solução padrão de hidróxido de sódio 0,111N como titulante, sendo medido o volume de hidróxido de sódio necessário para neutralizar o ácido láctico presente no leite. O resultado dessa titulação é representado em gramas de ácido láctico/100mL de amostra ou % ácido láctico. A acidez é dada em graus Dornic (°D), na qual 1°D equivale a 0,01% de ácido láctico. Conforme a IN 62, o parâmetro adequado de acidez para o leite deve estar entre 0,14% e 0,18% ou 14°D a 18°D, referente a faixa de pH de 6,6 a 6,8.

Estudos mostraram que a lactose é um dos componentes com menor variação no leite (GONZALEZ et al., 2004). O teor de lactose no leite é em função da glicose produzida no fígado a partir do ácido propiônico produzido no rúmen. Concentrações abaixo da legislação brasileira estão relacionadas à regulação da pressão osmótica na glândula mamária, na qual a maior produção de lactose determina maior produção de leite.

1.5 Controle de qualidade para evitar fraudes no processamento do leite

Um aspecto fundamental da qualidade do leite UHT é a composição físico-química, que pode estar modificada em casos de fraudes e em virtude de ação do metabolismo microbiano, como exemplo a adição de reconstituintes de densidade e água (BRASIL, 2002).

Atualmente, acontecem fraudes no processamento do leite com o intuito de amenizar a má qualidade do leite por meio de substâncias não permitidas e com isso diminuir perdas e aumentar o lucro. Existem diversas formas do leite ser fraudado, como matar as bactérias do leite a partir de peróxido de hidrogênio, formaldeído, nas quais são ejetadas toxinas e isso altera a qualidade do leite. Pode-se também adulterar o volume, para maior rendimento, assim, adiciona-se água e soro de leite, acarretando numa menor concentração dos nutrientes e, na fabricação de queijos, ocorre fermentações lácticas, podendo azedar o produto. Essas fraudes são averiguadas a partir de análises físico-químicas (AGNESE et al., 2002).

Além de averiguar as possíveis fraudes, essas análises fazem parte do controle da higiene do leite, visto que o leite é um produto que pode conter contaminação de microrganismos patogênicos provenientes de ambientes que não possuem uma boa estrutura para o manejo leiteiro. Baseado nisso, as empresas aplicam metodologias como BPF (Boas Práticas de Fabricação), APPCC (Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle), POP (Procedimento Operacional Padrão), que implantados auxiliam tanto no produto quanto nas instalações, equipamentos, materiais, utensílios e higiene em todas as etapas do processo (OLIVEIRA, 2016).

O controle de qualidade do leite inicia-se antes do carregamento do leite na propriedade. A composição do leite é fundamental para avaliar a sua qualidade, influenciado as propriedades organolépticas e industriais, como por exemplo, sólidos totais ou extrato seco total (EST), matéria seca desengordurada ou extrato seco desengordurado (ESD), proteína, gordura, índice crioscópico (IC) e densidade.

As amostras de leite devem ser coletadas na frequência que determina a legislação e em seguida enviadas a laboratórios específicos do MAPA para análise da amostra. Segundo a IN 62 (Instrução Normativa), que determina os pontos críticos do processo de industrialização do leite, existem limites aceitáveis referentes à qualidade, armazenagem, instalações e equipamentos, no qual o leite cru deve estar para ser considerado adequado (BRASIL, 2011). Requisitos físicos e químicos necessários ao leite cru refrigerado estabelecidos pela IN 62 podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Requisitos físicos e químicos necessários ao leite cru refrigerado estabelecidos pela Instrução Normativa (IN) 62.

Requisitos	Limites	Frequência de avaliação
Teor de gordura, g/100 g	Teor original, com mínimo de 3,0%	Diário/Mensal
Densidade relativa a 15/15°C (g/mL)	1,028 a 1,034	Diário
Acidez Titulável (g ácido láctico/100mL)	0,14 a 0,18	Diário
Extrato seco desengordurado, g/100 g	No mínimo 8,4	Diário/Mensal
Índice crioscópico, °H	-0,512 a -0,531	Diário
Proteínas, g/100 g	No mínimo 2,9	Mensal

Fonte: Brasil (2011). Adaptado pela autora.

Estas análises são importantes, necessárias e obrigatórias e, devem ser feitas no recebimento do leite em cada um dos compartimentos do tanque afim de comprovar a qualidade, determinar possíveis adulterações, uso inadequado de antibióticos e avaliar se o produto está apto para ser processado.

Existe uma legislação para fiscalizar e aprovar a fabricação e comercialização dos produtos lácteos. Alguns dos órgãos fiscalizadores são MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) através da IN 62, DIPOA (Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal) e SIF (serviço de Inspeção Federal); com isso as empresas precisam se adequar as exigências impostas pelos órgãos.

Entretanto, tem-se buscado cada vez mais maneiras de maximizar o processo, com produtos de maior qualidade para atender os consumidores mais exigentes. Seguindo neste raciocínio, houve um grande crescimento na utilização e desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial, sistemas inteligentes ou conhecido também como sistemas especialistas, e a Lógica Fuzzy tem-se destacado. A Lógica Fuzzy ou Lógica Difusa é aquela que suporta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos, ou seja, é uma forma de lógica multivalorada, na qual os valores verdade das variáveis podem ser qualquer número real entre zero e um (Resende, 2005)

1.6 Lógica Fuzzy

Atualmente existe uma inúmera quantidade de processos complexos com informações imprecisas ou aproximadas, os quais os seres humanos têm que lidar. Com isso, a estratégia utilizada é de expressar esses processos em termos linguísticos, como a Teoria de Conjuntos Fuzzy, com a finalidade de traduzir em termos matemáticos a informação incerta em um conjunto de regras linguísticas, obtendo a Lógica Fuzzy com a linguagem matemática para tratar as regras linguísticas.

A lógica Fuzzy ou lógica difusa foi proposta por Lofti Zadeh, em 1965, na Universidade da Califórnia, para expressar o ferramental matemático para o tratamento de informações de caráter impreciso ou vago, possuindo um valor qualquer no intervalo entre 0 e 1. Alguns pontos de interesse da lógica Fuzzy são a possibilidade de abranger uma grande quantidade de entradas, é robusto em sistemas não-lineares sem requerer um modelo matemático, frequentemente mais eficiente e facilmente implementável em microprocessadores (ZADEH, 1976).

Essa lógica consegue implementar a forma humana de pensar em sistemas de controle, comportando-se com a lógica que seria utilizada para inferir as regras e as informações contidas. A aplicação da lógica Fuzzy é ampla e um dos principais focos no início de sua implementação foi o controle de processos (COX, 1994).

A lógica Fuzzy é uma extensão da lógica booleana, na qual diferencia pelo fato da lógica Fuzzy apresentar uma premissa que assume valores de pertinência (grau de verdade) intermediários, e não valores fixos impostos pela booleana, que apresenta valores fixos de 0 ou 1, nem valores intermediários. Com a lógica Fuzzy torna-se possível descrever grandezas imprecisas, como altura que podemos classificar como alto e baixo, idade como novo, jovem e velho. Assim, a lógica Fuzzy envolve a teoria de que os elementos possuem um grau de pertinência.

A função de pertinência de um elemento a um conjunto é bem definida, logo para um conjunto A em um universo U, o elemento simplesmente pertence ou não pertence àquele conjunto. Os formatos mais encontrados são os triangulares e trapezoidais devido a sua facilidade de serem gerados e também uma satisfatória disponibilidade de informação quanto aos termos linguísticos (Pedrycz, 1994). Para englobar os extremos dos conjuntos fuzzy limitados à esquerda e à direita, podem ser utilizadas adaptações das funções triangulares para que estas se tornem trapezoidais.

As Figura 2 e 3 ilustram exemplos de Função de pertinência triangular e trapezoidal, respectivamente.

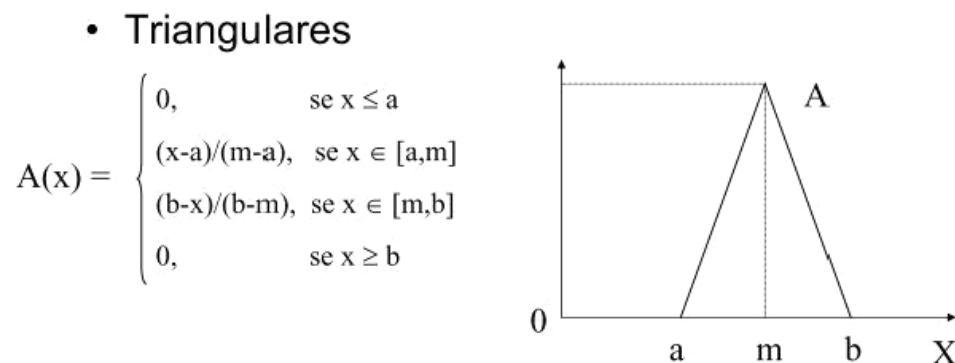


Figura 2. Exemplo de Função de Pertinência triangular (Resende, 2005)

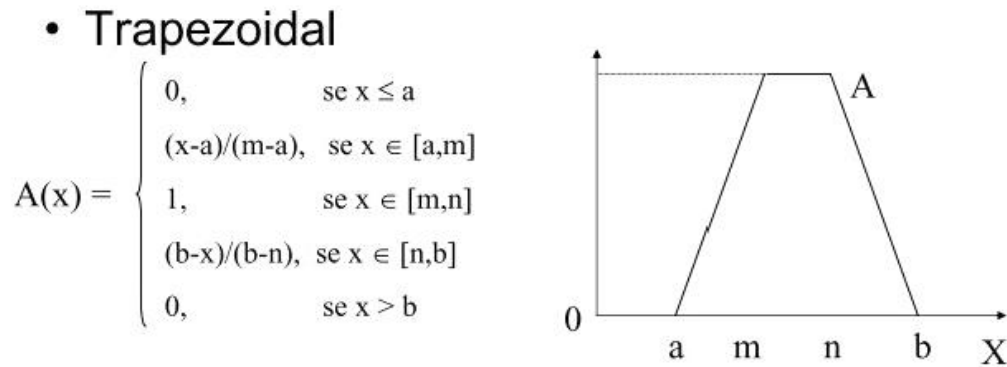


Figura 3. Exemplo de Função de Pertinência trapezoidal (Resende, 2005)

2 OBJETIVOS

Desenvolver um sistema de apoio de decisão utilizando a lógica fuzzy na classificação da qualidade do leite.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho foi baseado em Martins, 2020 na dissertação de mestrado “Lógica Fuzzy para a Automação de Classificação de Amostras de Leite” Martins.

Para a aplicação Fuzzy, foram utilizados os softwares Scilab® e o In_Fuzzy. O Scilab® é utilizado para cálculo numérico e simulação de sistemas físicos, aplicado nas áreas de física, sistemas complexos, processamento de imagens, controle e processamento de sinais, automação industrial, controle de processos, computação gráfica, matemática, modelagem biológica, sendo usado em diversos ambientes industriais e educacionais. Entretanto, o software In_Fuzzy (POSSELT et al., 2015) ao invés de apresentar como resultado uma superfície de resposta, este apresenta valores numéricos que para fins de controle são mais aceitáveis e de fácil entendimento.

A Figura 4 ilustra a construção do sistema de apoio de decisão com 8 variáveis de entrada (gordura, proteína, lactose, sólidos não gordurosos (ESD); Sólidos totais (EST); Acidez titulável (ATT); Índice crioscópico (IC)), um bloco de regras e uma saída (Qualidade do leite) que foi construído nos dois softwares.

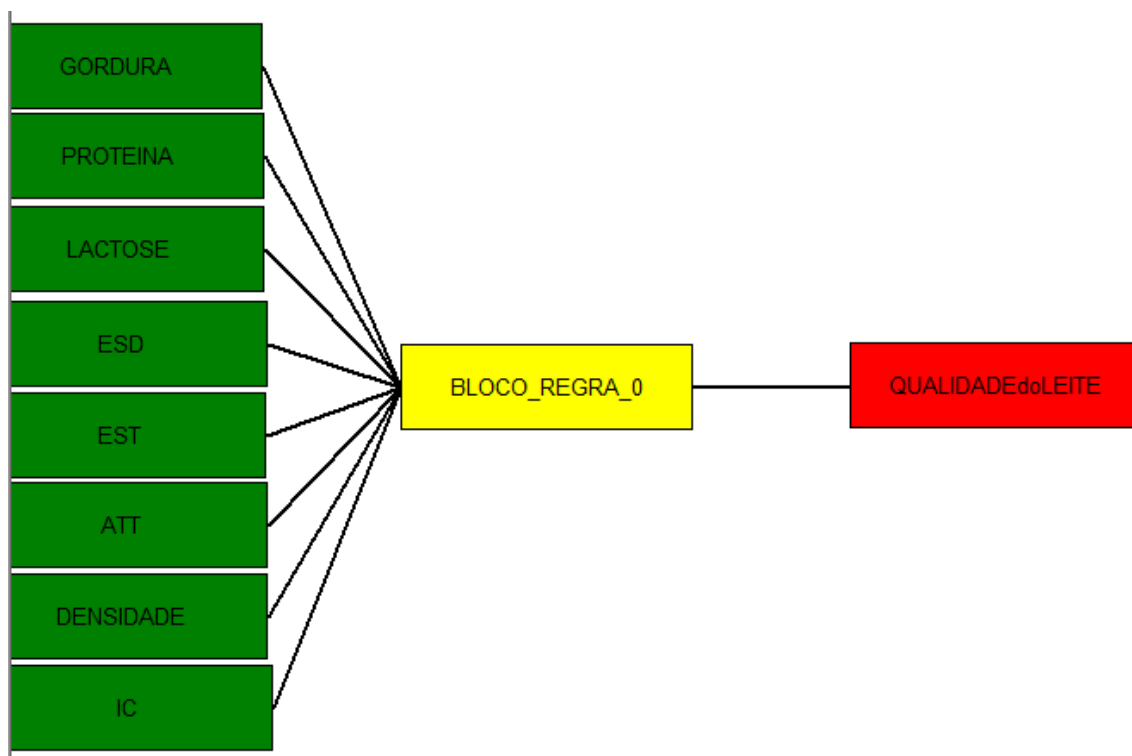


Figura 4. Diagrama caracterizando as entradas, regras e a saída.

Na aplicação da lógica Fuzzy no estudo estabeleceu-se as variáveis linguísticas e utilizou-se as funções de pertinência do tipo trapezoidal, seguindo o trabalho de MARTINS (2020). Dessa forma, utilizou-se as variáveis linguísticas e os parâmetros de entrada e saída, como descritas no Apêndice. As funções de pertinência são apresentadas nas Figuras 5 a 7.

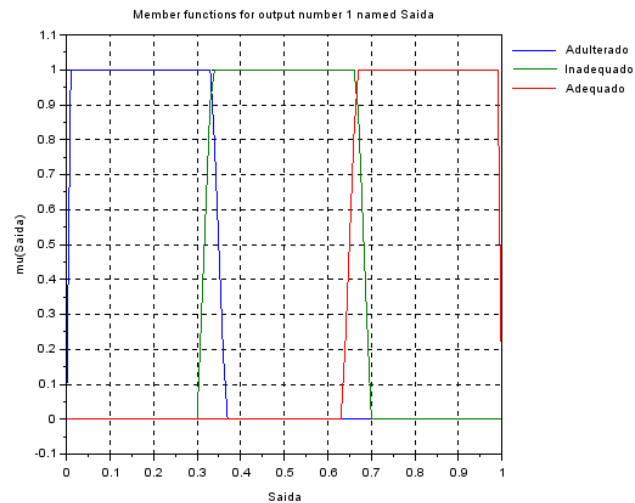


Figura 5. Funções de pertinências da variável de saída Qualidade do Leite

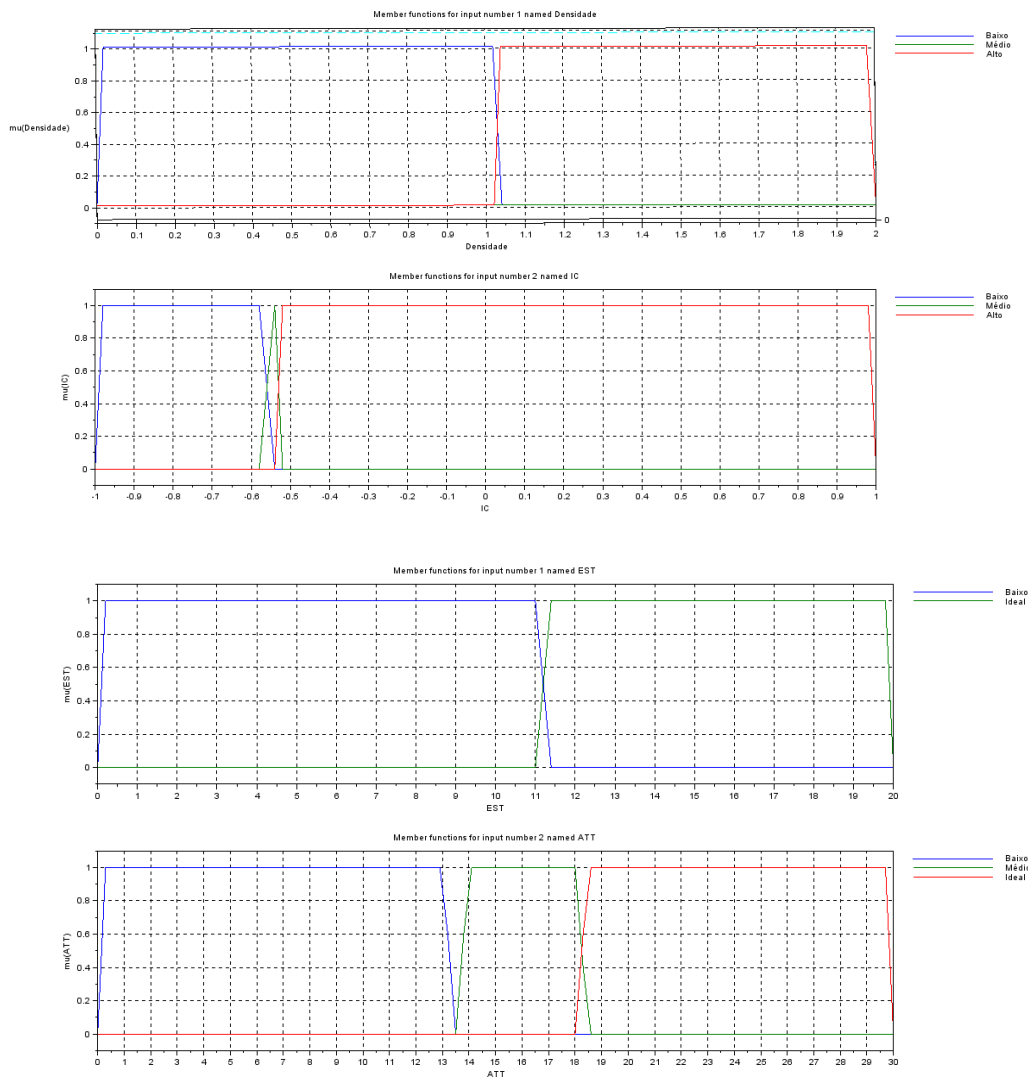


Figura 6. Funções de pertinências das variáveis de entrada Densidade, IC (Índice crioscópico), EST (Sólidos totais) e ATT (Acidez titulável).

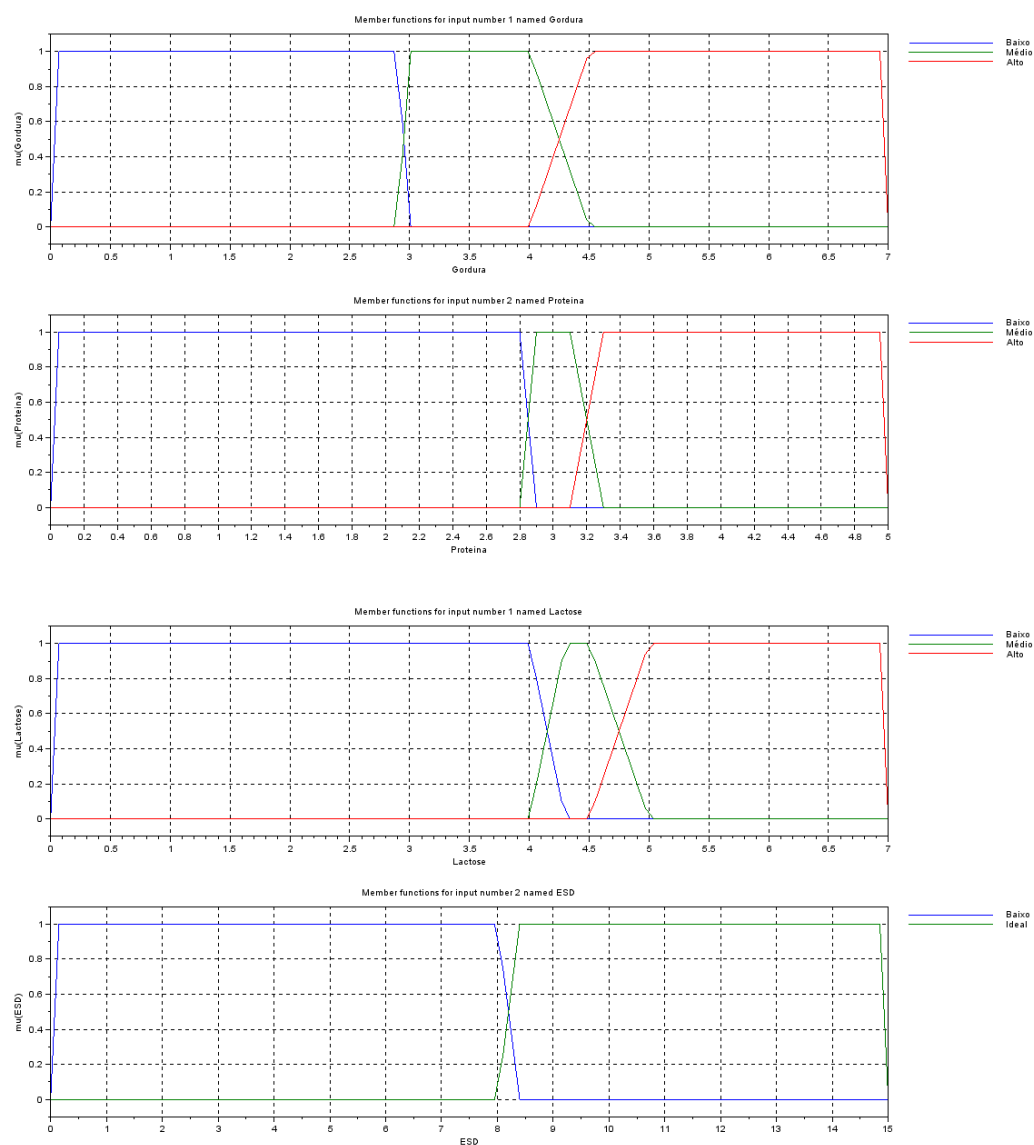


Figura 7. Funções de pertinências das variáveis de entrada Gordura, Proteína, Lactose e ESD (Sólidos não Gordurosos)

A Tabela 2 ilustra as variáveis de entrada, intervalo utilizado, os termos linguísticos, as funções de pertinência e os parâmetros utilizados quando se fez o uso do software In_Fuzzy.

Tabela 2. Variáveis, intervalo, termos linguísticos, funções de pertinência e parâmetros utilizados na construção do Sistema IN_FUZZY para avaliação da qualidade do leite. (Própria Autora).

Sistema INFUZZY				
Variáveis	Intervalo	Termo linguístico	Funções de Pertinência	Parâmetros
Gordura [g/100g]	[0,0 - 7,0]	Baixo	Rampa esquerda	[2,90; 3,00]
		Médio	Trapézio	[2,90; 3,00; 4,00; 4,50]
		Alto	Rampa direita	[4,00; 4,50]
Proteína [g/100g]	[0,0 - 5,0]	Baixo	Rampa esquerda	[2,80; 2,90]
		Médio	Trapézio	[2,80; 2,90; 3,10; 3,30]
		Alto	Rampa direita	[3,10; 3,30]
Lactose [g/100g]	[0,0 - 7,0]	Baixo	Rampa esquerda	[4,00; 4,30]
		Médio	Trapézio	[4,00; 4,30; 4,50; 5,00]
		Alto	Rampa direita	[4,50; 5,00]
ESD [g/100g]	[0,0 - 15,0]	Baixo	Rampa esquerda	[8,00; 8,40]
		Ideal	Rampa direita	[8,00; 8,40]
EST [g/100g]	[0,0 - 20,0]	Baixo	Rampa esquerda	[11,00; 11,40]
		Ideal	Rampa direita	[11,00; 11,40]
ATT [oD]	[0,0 - 30,0]	Baixo	Rampa esquerda	[13,00; 13,50]
		Médio	Trapézio	[13,50; 14,00; 18,00; 18,50]
		Alto	Rampa direita	[18,00; 18,50]
Densidade [g/mL]	[1,01 - 1,05]	Baixo	Rampa esquerda	[1,01; 1,02]
		Médio	Trapézio	[1,01; 1,02; 1,03; 1,04]
		Alto	Rampa direita	[1,03; 1,04]

		Baixo	Rampa esquerda	[-0,56; -0,55]
IC [oH]	[-0,60 - -0,50]	Médio	Trapézio	[-0,56; -0,55; -0,53; -0,52]
		Alto	Rampa direita	[-0,53; -0,52]

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo MARTINS (2020), foram escritas 5832 regras Fuzzy utilizando o conectivo “E” para a etapa de inferência. No presente trabalho, depois de vários testes e simulações, chegou-se ao resultado com a construção de somente 15 regras Fuzzy, que podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3: Conjunto de regras Fuzzy utilizado na construção do sistema de apoio de decisão utilizando nos softwares In_Fuzzy e Scilab®.

Variável / Regras	SE								ENTÃO
	Gord.	Prot.	Lact.	ESD	EST	ATT	Dens.	IC	Qualidade
1	Médio	Alto	Médio	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	Adequado
2	Médio	Médio	Alto	Ideal	Baixo	Médio	Médio	Médio	Adulterado
3	Médio	Médio	Alto	Ideal	Ideal	Médio	Baixo	Médio	Adulterado
4	Médio	Baixo	Médio	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	Adulterado
5	Médio	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Adulterado
6	Alto	Alto	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Adulterado
7	Alto	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Médio	Médio	Médio	Adulterado
8	Médio	Médio	Alto	Ideal	Baixo	Médio	Médio	Médio	Adulterado
9	Médio	Baixo	Baixo	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	Adulterado
10	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Inadequado
	Médio	Alto	Médio	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	
11	Alto	Alto	Alto	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	Inadequado
12	Médio	Alto	Médio	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	Inadequado
13	Alto	Médio	Médio	Não Baixo	Não Baixo	Médio	Médio	Médio	Inadequado
14	Médio	Alto	Alto	Ideal	Ideal	Médio	Médio	Médio	Inadequado
15	Alto	Médio	Alto	Não Baixo	Ideal	Médio	Médio	Médio	Inadequado

Legenda: Gord.: gordura; Prot.: Proteína; Lact.: Lactose; ESD: Sólidos não Gordurosos; EST: Sólidos totais; ATT: Acidez titulável; IC: Índice crioscópico.

Pode-se observar que o sistema apresentará um padrão de qualidade alto somente quando todos os parâmetros utilizados estiverem dentro do que é considerado ideal pelas normas vigentes de fiscalização (Regra 1). Nos demais casos, quando se tem alguma variável fora das normas (Regras 1 a 14), o resultado pode ser considerado Adulterado ou Inadequado.

A Tabela 4 ilustra os resultados obtidos na simulação utilizando o Software In_Fuzzy. Após toda a construção do sistema de apoio à decisão pela Lógica Fuzzy, foi realizada a simulação com valores distintos para cada uma das variáveis com base na literatura para testar a veracidade do sistema Fuzzy criado. Esses valores foram estipulados para gerarem resultados com qualidade Adequado, Inadequado e Adulterado do leite. Os valores utilizados das variáveis de entrada para a simulação foram obtidos de MARTINS (2020).

Tabela 4. Resultados das simulações utilizando o software In_Fuzzy

Sim.	Gord.	Prot.	Lact.	ESD	EST	ATT	Dens.	IC	Qualidade do Leite (%)
1	3,50	3,79	4,44	12,29	11,95	16,85	1,03	-0,54	82,5
2	3,50	3,74	5,31	12,02	12,43	15,75	1,03	-0,55	49,7
3	3,03	3,06	5,71	9,99	12,87	15,71	1,03	-0,55	50,0
4	4,63	3,08	5,39	9,44	12,53	14,21	1,03	-0,54	49,7
5	3,56	2,93	5,28	12,76	11,63	17,40	1,03	-0,53	50,0
6	3,66	2,96	5,32	9,38	10,76	11,45	1,03	-0,53	50,0
7	3,09	3,45	5,78	8,72	12,73	15,12	1,03	-0,59	50,0
8	4,62	2,39	4,35	12,50	11,68	16,70	1,02	-0,54	50,0
9	4,68	3,35	3,13	9,82	11,85	17,40	1,03	-0,53	50,0

Legenda: Gord.: gordura; Prot.: Proteína; Lact.: Lactose; ESD: Sólidos não Gordurosos; EST: Sólidos totais; ATT: Acidez titulável; IC: Índice crioscópico.

Por meio da Tabela 3 é possível constatar que para quando as variáveis de entrada do sistema estão de acordo com as normas da IN 62, a qualidade do leite ficou em 82,5 %, ou seja, é considerado um leite Adequado. Entretanto, nos demais casos, a qualidade do leite determinado pelo sistema de apoio de decisão fuzzy indicou uma qualidade entre 49,0 e 50,0 %, o que indicaria que o leite estaria determinado como Inadequado, o que pode ser observado também pela Figura 7.

As Figuras 8 e 9 ilustram os resultados obtidos pelo software Scilab® para as variáveis quando se faz a avaliação de gordura e proteína, umas das variáveis mais importantes

quando se deseja realizar a avaliação da qualidade do leite. Ao analisar a Figura 8, observa-se que o resultado é considerado adequado quando os valores de gordura estiver entre 3,0 e 5,0 % e proteína acima de 3,5 %. Quando o valor de proteína for menor que 2,5 %, a qualidade do leite é baixa, menor de 50 %, o que indica um leite Inadequado, o que corrobora com os resultados fuzzy obtidos pelo software In_Fuzzy.

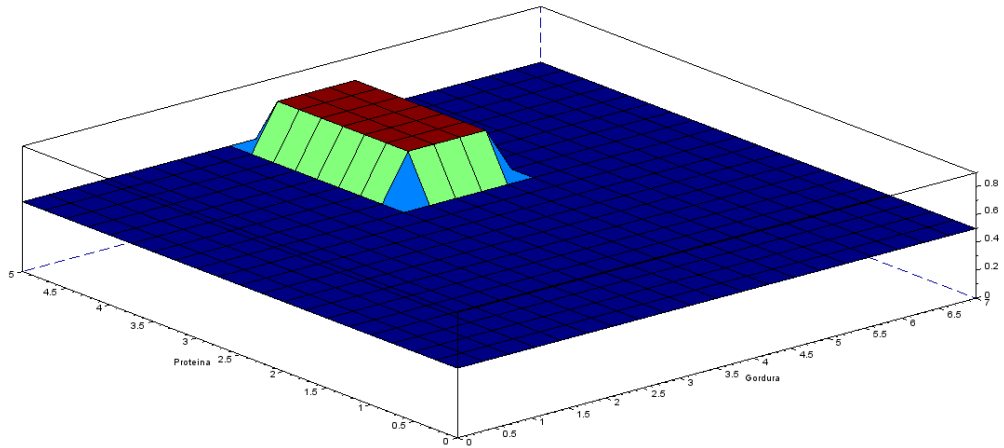


Figura 8. Superfície de resposta quando a qualidade do leite é Adequada considerando Proteína x Gordura

Ao analisar a Figura 9, quando novamente se faz a análise de gordura e proteína, mas para um leite considerado Inadequado, pode-se observar que o valor da qualidade está em torno de 50,0 %, atingindo uma qualidade Adulterado (abaixo de 20,0 %) quando o valor de proteína for menor que 3,0 % e gordura entre 3,0 e 4,0 %.

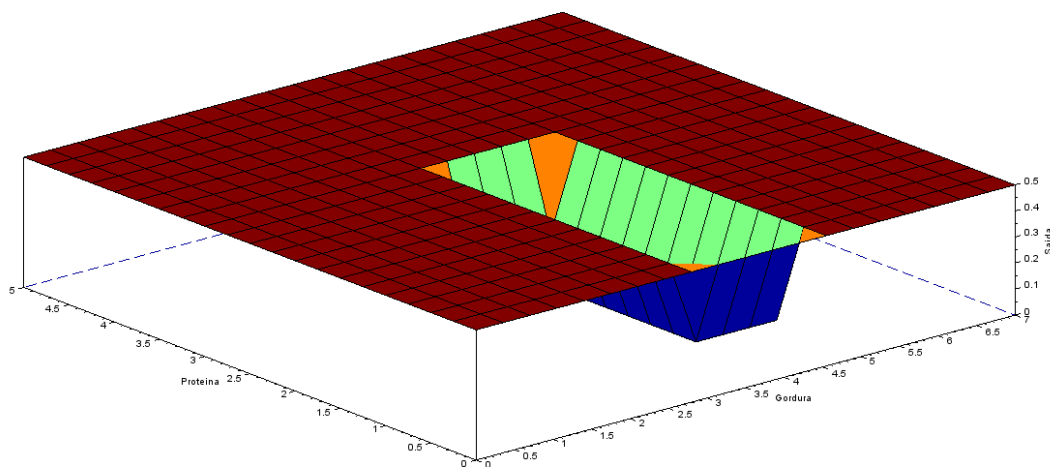


Figura 9. Superfície de resposta quando a qualidade do leite é Adulterada considerando Proteína x Gordura

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, por meio da pesquisa realizada, que é possível utilizar a lógica fuzzy como sistema complementar de apoio à decisão para o controle da qualidade do leite, com otimização de tempo e recursos financeiros e humanos. Embora se reconheçam os ganhos provenientes da automação da decisão, o sistema de inferência fuzzy criado deve ser utilizado em conjunto com as análises físico-químicas, que continuam sendo indispensáveis.

REFERÊNCIAS

AGNESE, A. P.; NASCIMENTO, A. M. D. do; VEIGA, F. H. A.; PEREIRA, B. M.; OLIVEIRA, V. M. de. Avaliação físico-química do leite cru comercializado informalmente no Município de Seropédica – RJ. Revista Higiene Alimentar, v.16, n. 94. p. 58-61, 2002.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria Nº 146, de 07 de março de 1996. Regulamento técnico para fixação da identidade e qualidade do leite UHT. Brasília, 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, em conformidade com o anexo desta Instrução Normativa, determinando que sejam utilizados nos Laboratórios Nacionais Agropecuários. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 8, 14 dez. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 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, Seção 1, 30 dez. 2011.

CASTANHEIRA, Ana Carolina Guimarães; Manual básico de controle de qualidade de leite e derivados comentado, baseado em metodologias de análises físico-químicas e microbiológicas, contidas nas instruções normativas 68/2006 e 62/2003. Caplab indústria e comércio Ltda. São Paulo, julho de 2010.

COX, E. “The Fuzzy Systems Handbook”. Boston: AP Professional; 1994.

CZARNOBAY, Manuela. Estudo da qualidade do leite produzido na IFRA Campus Bento Gonçalves. Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia Rio Grande do Sul – Campus Bento Gonçalves, 2010.

Gonzalez H.L., Fischer V., Ribeiro M.E.R., Gomes J.F., Stumpf Jr W. & Silva M.A. 2004 Avaliação da qualidade do leite na bacia leiteira de Pelotas, RS. efeito dos meses do ano. Revta Bras. Zootec. 33(6):1531-1534.

MAGGI, Blairo. Nova Regulamentação do mercado do leite. Disponível em: <https://portal.sistemapamasul.com.br/artigos/nova-regulamenta%C3%A7%C3%A3o-do-mercado-do-leite>. Acesso em: 11 set. 2022.

MAPA DO LEITE: Políticas públicas e privadas para o leite. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite>. Acesso: 16 de agosto de 2022.

MARTINS, Jousiane Alves. LÓGICA FUZZY PARA A AUTOMAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE LEITE. 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Produção Animal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020.

NORO, G. Síntese e secreção do leite. 2001. Disponível em: http://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/sintese_leite.pdf Acesso em: 06/06/2022

OLIVEIRA, J. Uso de critérios para avaliação da qualidade microbiológica de um laticínio. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 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. TCC (Trabalho de Conclusão em Tecnologia em Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2011.

Pedrycz, W. (1994) Why triangular membership functions? Fuzzy Sets and Systems, v. 64, p. 21-30

POSSELT, E. L.; FROZZA, R.; MOLZ, R. F. INFUZZY: Ferramenta para desenvolvimento de aplicações de sistemas difusos. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**. Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 42-52, 2015.

TRONCO, V.M. Manual para Inspeção da Qualidade do Leite. 3 ed. Santa Maria RS: Ed da UFSM, 2008. P. 59-61. VENTURINI, K. S.; SARCINELLI, M. F.; SILVA, L. C. Características do Leite. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – Espírito Santo, 2007.

Zadeh, L.A. (1976). "A Fuzzy Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts". Int. Journal of Man-Machine Studies, Vol. 8:249-291

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Leite e derivados. In: ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. Cap. 27, p. 823-881.

Apêndice

A variáveis de entrada e os parâmetros utilizadas no Software Scilab® foram:

- Gordura com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=2.9$, $d=3,0$), médio ($a=2,9$, $b=3,0$, $c=4,0$, $d=4,5$) e alto ($a=4,0$, $b=4,5$, $c=7,0$, $d=7,0$);
- Proteína com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=2.8$, $d=2.9$), médio ($a=2,8$, $b=2.9$, $c=3.1$, $d=3.3$) e alto ($a=3.1$, $b=3.3$, $c=5,0$, $d=5,0$);
- Lactose com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=4.0$, $d=4.3$), médio ($a=4.0$, $b=4.3$, $c=4.5$, $d=5.0$) e alto ($a=4.5$, $b=5.0$, $c=7,0$, $d=7,0$);
- Sólidos não gordurosos (ESD) com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=8,0$, $d=8,4$), Ideal ($a=8,0$, $b=8,4$, $c=15,0$, $d=15,0$);
- Sólidos totais (EST) com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=11,0$, $d=11,4$), Ideal ($a=11,0$, $b=11,4$, $c=20,0$, $d=20,0$);
- Acidez titulável com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=13,0$, $d=13.5$), médio ($a=13.5$, $b=14,0$, $c=18$, $d=18.5$) e alto ($a=18$, $b=18.5$, $c=30,0$, $d=30,0$);
- Densidade relativa a 15 °C com as funções de pertinência baixo ($a=0$, $b=0$, $c=1.020$, $d=1.028$), médio ($a=1.020$, $b=1,028$, $c=1.034$, $d=1.040$) e alto ($a=1.034$, $b=1.040$, $c=2,000$, $d=2,000$);
- Índice crioscópico com as funções de pertinência baixo ($a=-1,00$, $b=-1,00$, $c=-0,565$, $d=-0.555$), médio ($a=-0.565$, $b=-0.555$, $c=-0.530$, $d=-0,520$) e alto ($a=-0,530$, $b=-0,520$, $c=1,00$, $d=1,00$); e Teste de alizarol (binário).

As variáveis de saída utilizadas foram:

- adulterado ($a=0.000$, $b=0.000$, $c=0.333$, $d=0.366$);
- inadequado ($a=0.300$, $b=0.333$, $c=0.666$, $d=0.699$);
- adequado ($a=0.633$, $b=0.666$, $c=1,000$, $d=1,000$).