

ANÁLISE DE ESTABILIDADE TÉRMICA DO LEITE COM MODELOS NÃO LINEARES DE ESPECTROSCOPIA DE BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA¹

Ana Luiza de Freitas dos Santos², Mario Sergio Zimmermann², Shaeen Inaê da Luz Kunz³, Bruna Klein⁴, Juliana Antunes Radwanski², Patrik Breitenbach⁵, Emiliano A. Veiga⁵, Gabriela Regina Matté⁵, Fernanda Antunes Martins⁵, Elisane de Fatima Almeida⁵, Aline Zampar⁶, Rogério Ferreira⁶, Ana Luiza Bachmann Schogor^{6*}

¹ Vinculado ao projeto “Qualidade do leite em tempo real: o que a cadeia láctea pode ganhar com isso?” O presente trabalho foi realizado com apoio da FAPESC, Termos de Outorga 2019TR729 e 2021TR937. Parte do trabalho de conclusão de curso do segundo autor.

² Acadêmicos do Curso de Zootecnia – CEO – Bolsistas PROBIC e PROBITI

³ Mestranda em Zootecnia, PPGZOO, UDESC Oeste

⁴ Doutora em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Bolsista FAPESC, Edital FAPESC 05/2021

⁵ Colaboradores – Bionexus Tecnologia Ltda., Chapecó, SC.

⁶ Professores do Departamento de Zootecnia – CEO. *Orientadora, ana.schogor@udesc.br

A estabilidade do leite ao calor indica a capacidade que o leite possui em resistir ao tratamento térmico sem formar coágulo. A coagulação ocorre em virtude da desestabilização das moléculas constituintes do leite, a qual provoca a sedimentação proteica e separação da fração gordurosa durante o armazenamento. O leite instável gera prejuízos às agroindústrias, pois afeta a qualidade dos produtos, apresenta menor rendimento e muitas vezes precisa ser descartado. O tratamento térmico é realizado para inativação da ação de microrganismos e de enzimas que degradam e reduzem a vida de prateleira dos produtos.

Atualmente a análise que determina a estabilidade do leite nas propriedades rurais é o teste do alizarol, realizado a partir da análise visual da coloração do leite. Este gera resultados imprecisos, subjetivos a interpretação das cores e tendenciosos a quem está o realizando. Desta forma, o objetivo do projeto foi desenvolver metodologias de análise mais precisas e assertivas, utilizando a espectroscopia de bioimpedância elétrica (EBE), para determinar a estabilidade térmica e identificar a correta condição do leite, de forma prática e rápida.

Foram analisadas 95 amostras oriundas de tanque de expansão entre 2 e 12 horas após a coleta. O teste de estabilidade térmica foi realizado segundo metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), entre 70% e 82% (v/v). Para a realização dos testes de EBE, foi utilizado espectrômetro comercial, utilizando-se 50 ml de leite com temperatura entre 8 e 15° C. As amostras eram colocadas em contato com os eletrodos responsáveis pela emissão de corrente elétrica, e leitura de retorno da corrente emitida que interagia com o fluido. Neste trabalho foram utilizadas 29 frequências entre 8 kHz e 832 kHz.

Os valores de impedância entre os eletrodos de medição foram gerados em Ohms (Ω), representados por um número complexo Z . Este é composto por uma parte real ($\text{Re}\{Z\}$; denominado impedância real) e outra imaginária ($\text{Im}\{Z\}$; impedância imaginária). Cada amostra foi analisada em triplicata. Com os valores gerados pelo espectrômetro comercial foi gerada uma equação não linear de para estimar a estabilidade à cada graduação alcoólica. Os resultados fornecidos pelo equipamento foram apresentados por faixas de graduação em que o leite era considerado positivo (reagente), e foi denominado nos resultados como “original”. Para geração

de novos modelos preditivos, foram desenvolvidos modelos lineares e não lineares. Todavia, neste trabalho será dada ênfase somente aos modelos não lineares, como segue.

O efeito das variáveis predictoras sobre a estabilidade ao álcool à 76, 78 e 80° como variáveis binomiais (estável ou não à cada graduação alcoólica) foi avaliado por regressão logística. O modelo não linear final foi estabelecido para obtenção de uma maior capacidade de predição se uma amostra é estável ou não à uma determinada graduação alcoólica. Após definido o modelo de regressão logística, a probabilidade de uma amostra ser ou não estável a uma determinada graduação alcoólica foi estabelecida pelas equações descritas em Zimmermann (2022). As análises foram realizadas no software JMP Pro (SAS Institute Inc.).

Os resultados obtidos considerando o modelo não-linear são apresentados na Figura 1. O modelo foi 100% assertivo para estimar a estabilidade térmica do leite para as concentrações de 76, 78 e 80% de álcool. O modelo não linear, ao lado do teste de bancada, dada em frequência, gerou um gráfico isométrico, tendo em vista que este método teve 100% de acerto (Figura 1A).

O modelo não linear foi comparado com a predição atual do espectrômetro (original) e com a estabilidade ao álcool (Figura 1B). As colunas do modelo não linear e o método de referência mostram resultados iguais, enquanto o modelo original do espectrômetro prediz uma porcentagem muito maior de amostras estáveis para todas as graduações. Ainda, a assertividade dos modelos foi comparada em relação ao método de bancada (*gold standard*). O modelo não linear obteve 100% de acerto em todas as graduações alcólicas. Os resultados obtidos pela atual configuração do espectrômetro de EBE (barra “original”) foram menos assertivos para as graduações 76, 78 e 80%, sendo 36, 18 e 18%, respectivamente (Figura 1C).

Concluímos que o método de análise pela EBE é capaz de mensurar com precisão a graduação alcoólica em que o leite se mantém estável. Os resultados são promissores para o desenvolvimento e difusão desta nova tecnologia para análise da estabilidade do leite.

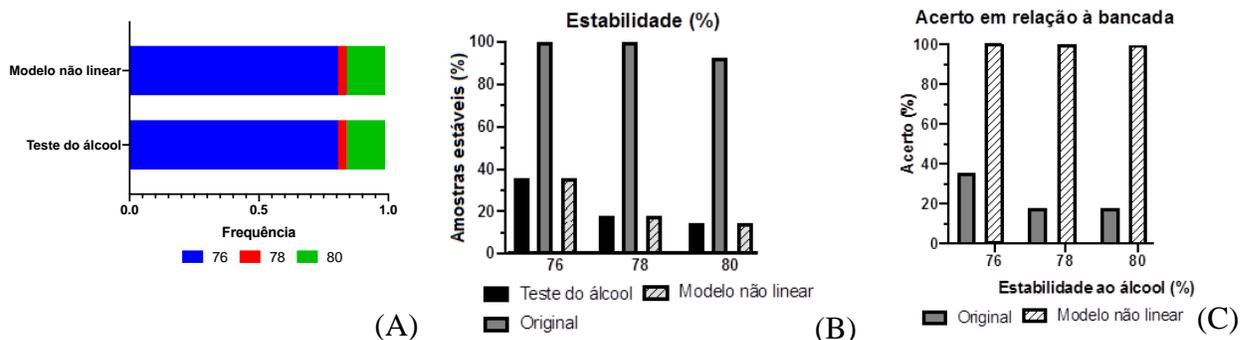


Figura 1. Frequência de amostras estáveis em diferentes graduações alcólicas obtidas por estimativa não linear da espectroscopia de bioimpedância elétrica e o teste do álcool. (A) Porcentagem amostras estáveis por graduação, utilizando três métodos. (B) Teste do álcool, como metodologia de referência. Coluna original sendo o resultado predito com a calibração atual do espectrômetro. Modelo não linear obtido com regressão logística, pelos dados gerados pelo espectrômetro nas faixas de frequência e Ph. (C) Porcentagem de acerto em relação a metodologia de referência.

Palavras-chave: Metodologia. Tecnologia. Teste do álcool.