

## CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE NYQUIST PARA IDENTIFICAÇÃO DE CONCENTRAÇÕES DE UREIA NO LEITE ADULTERADO<sup>1</sup>

Gabriel da Silva Dariz<sup>2</sup>, Beatriz França<sup>2</sup>, Alessandro Cazonatto Galvão<sup>3</sup>, Weber da Silva Robazza<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Estudo da detecção de adulterantes no leite através de Espectrofotometria no Infravermelho por Transformada de Fourier”<sup>\*</sup>

<sup>2</sup> Acadêmico(a) do Curso de Engenharia de Alimentos – CEO – Bolsista PROBIC/UDESC <sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química – CEO – Bolsista PROBIC/UDESC <sup>4</sup> Orientador, Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química – CEO – Email: weber.robazzi@udesc.br

O leite possui grande importância nutricional, o que o torna um dos principais produtos da agropecuária brasileira, dessa forma estimulando o crescimento do agronegócio e o faturamento das indústrias. Atualmente, observou-se uma alta elevação no custo de produção, avaliada em mais de 8% no ano de 2021, isto devido principalmente ao aumento do preço dos insumos e da desvalorização cambial. O processo de adulteração do leite é considerado um método viável para a indústria, visto que podem ser adicionados aditivos com baixo valor agregado para aumento do volume, além de alterar algumas propriedades como a vida útil do produto e outros parâmetros físico-químicos.

A adição de ureia tem como objetivo devolver ao leite adulterado com adição de água, o seu teor proteico. É utilizada devido ao seu baixo custo e fácil disponibilidade, além de que, como a ureia já está presente na composição do leite, quando adicionada em maior quantidade, mantém as características similares do leite natural, dificulta a sua detecção.

A detecção da adulteração por muitas vezes não se torna perceptível durante uma análise de qualidade preliminar do leite. Por essa razão, são utilizadas outras técnicas para realizar essa análise. Quando o leite é adulterado, perde-se uma parte do seu valor nutritivo, e a maior preocupação está no uso abusivo desses aditivos, tornando o produto final prejudicial para a saúde do consumidor. Entre alguns métodos analíticos para a detecção de adulterante, a técnica de espectroscopia de impedância elétrica pode ser uma alternativa útil, por ser um método rápido e eficiente, o qual pode verificar a presença, através das medições da variação da impedância e da capacitância das amostras de leite adulterado. A partir dos valores obtidos no espectro em função da frequência de um sinal de corrente alternada aplicado à amostra, é possível obter diagramas que indicam a variação da concentração de adulterantes em relação a uma amostra controle sem a adição de aditivos.

O objetivo deste estudo foi verificar a eficácia desta técnica em identificar a presença de ureia adicionada intencionalmente como adulterante em amostras de leite cru. Foi assumido que as propriedades elétricas das amostras compostas por leite e adulterante podem ser descritas por um modelo de circuito equivalente constituído por um capacitor e uma resistência associados em paralelo. Após o ajuste do modelo de circuito equivalente aos dados experimentais da impedância resultante, foi construído o diagrama de Nyquist para visualmente identificar se era possível distinguir as diferentes concentrações de ureia utilizadas no estudo (frações em massa iguais a 0, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 16, 25 e 31%, respectivamente).

Na Tabela 1, estão representados os valores obtidos para os parâmetros do modelo de circuito equivalente. O parâmetro  $R_{sol}$  é a resistência da solução, e  $C_{sol}$  é a capacitância da solução. Para verificar a qualidade do ajuste, foram calculados os índices RMSE (raiz do erro quadrático

médio) e MAE (erro absoluto médio). A partir dos valores obtidos na tabela 1, foi possível utilizar os dados da resistência e da capacitância para elaborar o diagrama de Nyquist (Figura1).

Tabela1. Valores de Rsol, Csol, MAE, RMSE para o circuito equivalente.

	<b>Rsol</b>	<b>Csol</b>	<b>MAE</b>	<b>RMSE</b>
<b> z a1</b>	1.07E+02	5.63E-09	2.67E+00	3.83E+00
<b> z a2</b>	1.08E+02	5.49E-09	2.55E+00	3.65E+00
<b> z a3</b>	1.07E+02	5.59E-09	3.20E+00	4.23E+00
<b> z a4</b>	1.11E+02	5.35E-09	3.23E+00	4.70E+00
<b> z a5</b>	1.11E+02	5.65E-09	2.64E+00	3.85E+00
<b> z a6</b>	1.14E+02	5.35E-09	2.53E+00	3.94E+00
<b> z a7</b>	1.19E+02	5.40E-09	2.02E+00	3.07E+00
<b> z a8</b>	1.25E+02	5.59E-09	2.48E+00	3.74E+00
<b> z a9</b>	1.28E+02	5.56E-09	2.48E+00	3.14E+00
<b> z a10</b>	1.44E+02	5.50E-09	2.48E+00	4.37E+00
<b> z a11</b>	1.52E+02	5.71E-09	2.48E+00	4.13E+00

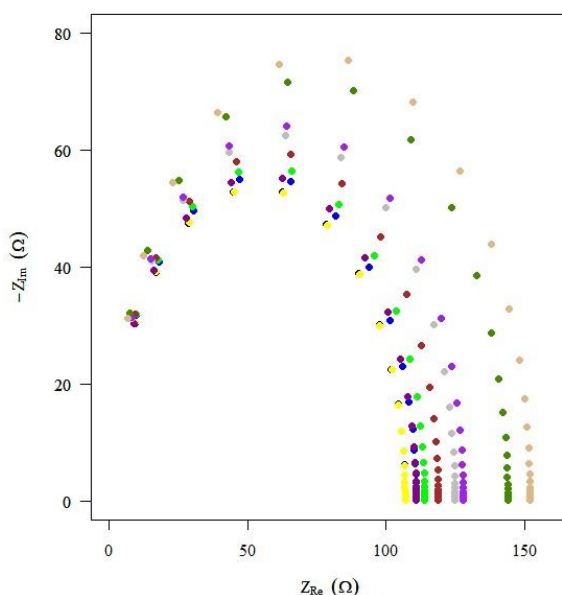


Figura1. Diagrama de Nyquist

Na Figura 1, a amostra controle corresponde à cor amarela e conforme se move para a direita, aumenta a concentração de adulterante. Portanto, através do gráfico foi possível identificar quais concentrações não seriam e quais seriam perceptíveis identificar no leite adulterado, dessa forma validando o método utilizado.

**Palavras-chave:** Leite, adulteração, ureia, circuito equivalente.

\* Devido à pandemia, não foi possível o deslocamento dos bolsistas para realização das medidas com FTIR. Por essa razão, foi feita uma parceria com uma empresa start-up da região, a qual cedeu o equipamento para realização das medidas de espectroscopia de impedância elétrica.