



Estudo espectrofotométrico de turbidez em água para as indústrias de bebidas e alimentos de origem animal

Spectrophotometric study of water turbidity for the beverage and food industries of animal origin

José Fernando Nardy¹, Juliano Gonçalves Pereira¹, Fernanda Raghianti², José Paes de Almeida Nogueira Pinto¹, Germano Francisco Biondi¹, Otávio Augusto Martins^{1*}

Resumo: A determinação de turbidez em água nas indústrias de bebidas e de alimentos de origem animal é de extrema importância para a qualidade final do produto. Com base nisso, o objetivo do presente trabalho consiste em avaliar uma nova alternativa de metodologia para determinar a turbidez em água de indústrias de bebidas e de produtos de origem animal através do espectrofotômetro a 550 nm. Foi analisada a amplitude, exatidão, precisão, curva padrão, cubetas de diferentes materiais (quartzo e metacrilato) e comparação de dois métodos (turbidímetro portátil e espectrofotômetro a 550 nm) à determinação de turbidez. Os principais resultados demonstraram que não existem diferenças estatísticas ($p>0,05$) entre os materiais das cubetas e na comparação dos métodos avaliados para a determinação de turbidez em água. Concluímos que a determinação de turbidez por espectrofotômetro utilizando cubetas de metacrilato de 10 mm de caminho óptico é uma alternativa de baixo custo para os laboratórios de físico-químicos nas indústrias de bebidas e de produtos de origem animal.

Palavras chaves: água; cubetas; espectrofotometria; turbidez.

Abstract: The determination of water turbidity in the beverage and food industries is extremely important for the final quality of the product. Based on this, the objective of the present work is to evaluate a new alternative methodology to determine the water turbidity of beverage and foods industries through the spectrophotometer at 550 nm using 10 mm optical path methacrylate cuvettes. The amplitude, accuracy, precision, standard curve, cuvettes of different materials (quartz and methacrylate) and comparison of two methods (portable turbidimeter and spectrophotometer at 550 nm) to determine turbidity were analyzed. The main results demonstrated that there are no statistical differences ($p>0.05$) between the materials of the cuvettes and in the comparison of the methods evaluated for the determination of turbidity in water. We conclude that the determination of turbidity by a spectrophotometer at 550 nm with 10 mm optical path methacrylate cuvettes is a low cost alternative for physicochemical laboratories in the beverage and food industries.

Keywords: cuvettes; spectrophotometry; turbidity; water.

<http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20200032>

* E-mail para correspondência: otavio.a.martins@unesp.br

¹ Residente em Medicina Veterinária. Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. CEP 18618-681, Distrito de Rubião Júnior, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: ze_fernando1993@hotmail.com

² Médico Veterinário. Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. CEP 18618-681, Distrito de Rubião Júnior, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: juliano.pereira@unesp.br

³ Médica Veterinária. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM – Campus Uberlândia). Rodovia Municipal Joaquim Ferreira, Fazenda Sobradinho s/n, Zona Rural, CP 1020, CEP 38400-970, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. E-mail: fernanda.raghianti@iftm.edu.br

⁴ Médico Veterinário. Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. CEP 18618-681, Distrito de Rubião

Júnior, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: jose.paes@unesp.br

⁵ Médico Veterinário. Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. CEP 18618-681, Distrito de Rubião Júnior, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: gfbio@gmail.com

⁶ Químico e Biólogo. Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. CEP 18618-681, Distrito de Rubião Júnior, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: otavio.a.martins@unesp.br

Introdução

A turbidez, a cor, o sabor e o odor da água, de origem natural ou de outra natureza, afetam as percepções e o comportamento do consumidor. Com base nisso, as indústrias de bebidas (alcoólicas e não alcoólicas) e de produtos de origem animal realizam controles físico-químicos e microbiológicos da água de forma periódica e constante para evitar um produto inadequado e repulsivo para o consumidor. Nesses casos extremos, os consumidores evitam consumir esses produtos e/ou água e procuram outros no mercado (WHO, 1997).

A determinação de turbidez é um dos parâmetros físico-químicos que indicam o estado higiênico e sanitário da água, podendo sinalizar se existe o risco biológico e/ou o químico para o consumidor. Os parâmetros recomendados para o monitoramento mínimo da água são: (a) verificar a presença de micro-organismos (*Escherichia coli* e o grupo dos coliformes); (b) verificar a concentração residual de cloro; (c) verificar os valores

de pH, e (d) verificar a concentração da turbidez. A concentração da turbidez da água com valores superiores a 5 NTU pode ser perceptível e consequentemente censurável pelos consumidores e pelos órgãos fiscalizadores (EPA, 1993; WHO, 1997; BRASIL, 2011).

MOORE (1999) descreve que a totalidade da luz espalhada em todas as direções a partir de um feixe incidente, quando o mesmo atravessa a suspensão, é medida pela turbidez (T). Se a intensidade I_0 de um feixe incidente se reduz até I como resultado da passagem através de uma distância x, temos a expressão $I/I_0 = \exp(-Tx)$. A turbidez é causada por pequenas partículas suspensas (não dissolvidas) que apresentam um índice de refração diferente do meio circundante. Isso resulta em reflexão, absorção e dispersão da luz irradiada (MOORE, 1999; MN, 2016).

A intensidade da luz dispersa é influenciada por vários parâmetros físico-químicos, por exemplo, o comprimento de onda da luz irradiada, o

tamanho e a forma das partículas, o índice de refração e a solução padrão do teste (MOORE, 1999; MN, 2016). MN (2016) descreve que para determinar a turbidez, a fotometria é o método que fornece os resultados mais objetivos. Se a amostra apresentar uma alta turbidez, recomenda a medição de absorvância no ângulo de 180°, e, se a amostra apresentar uma baixa turbidez, recomenda uma medição a 90° (turbidez nefelométrica).

Geralmente, os métodos de medição de turbidez utilizam uma substância de referência que é a formazina. As seguintes unidades de turbidez, baseadas nesta norma, incluem a letra F na abreviação. O método de medição da luz difusa é a nefelometria que compreende uma faixa recomendada de 1 a 40 FNU (DIN EN 27027/ISO 7027). Neste método, a fonte de luz e o detector estão alinhados em um ângulo de 90° e a intensidade da luz refletida pelas partículas não dissolvidas é mensurada. No Sistema Internacional a leitura é realizada utilizando a unidade de turbidez nefelométrica, NTU. Outras unidades utilizadas são FTU (unidade de turbidez de formazina) e FNU (unidade nefelométrica de formazina). Este último corresponde à unidade alemã

TE/F (*Trübungseinheit Formazin*) (MOORE, 1999; MN, 2016).

Outro método envolve a medição de absorvância (medição de luz transmitida) que compreende uma faixa recomendada de 40 a 4000 FAU (DIN EN 27027/ISO 7027). Nesse método, a fonte de luz e o detector estão alinhados em um ângulo de 180°, e a intensidade luminosa fica reduzida após o feixe atravessar a amostra. A unidade internacional é FAU (unidade de atenuação de formazina). Entretanto, na Alemanha utiliza o coeficiente de absorção espectral SAK (1/ m) (MN, 2016).

Devido à sua estrutura tridimensional, as partículas de turbidez apresentam uma absorção em quase todos os comprimentos de onda. A atenuação da transmitância é um grau de concentração de partículas que ocasiona a turbidez. A análise fotométrica de turbidez é geralmente realizada em comprimento de onda a 860 nm (DIN EN 27027/ISO 7027). Entretanto, EPA (1993) estabelece que nas medições de turbidez seja utilizada a luz de tungstênio (luz branca) que compreende uma faixa de comprimento de onda de 400 a 600 nm. Algumas empresas que fabricam kits recomendam o comprimento de onda a

550 nm para a determinação de turbidez (MERCK, 1999; MERCK, 2004).

O objetivo do presente trabalho consiste em avaliar uma nova alternativa de metodologia para determinar a turbidez em água de indústrias de bebidas e de produtos de origem animal através do espectrofotômetro a 550 nm utilizando cubetas de metacrilato de 10 mm de caminho óptico.

Materiais e métodos

Local do experimento

Realizou-se o experimento no Laboratório de Físico-Química de Água e Produtos de Origem Animal do Serviço de Orientação à Alimentação Pública (SOAP) do Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – Campus de Botucatu), São Paulo, Brasil.

Equipamentos

Utilizou um espectrofotômetro Femto 600 Plus com comprimento de onda de 550 nm provido com cubetas de quartzo e de metacrilato de 10 mm de caminho óptico. Também foi utilizado um turbidímetro portátil Hach 2100P (HACH, 1998) com os seus respectivos reagentes para a aferição e cubetas do

fabricante Hach Company (mede entre 0,01 NTU e 1000 NTU).

Reagentes e padronizações

A - Solução padrão de turbidez de formazina 1000 NTU de estoque

O padrão de turbidez de estoque foi obtido pela polimerização da mistura de uma solução de hexametilenotretamina e sulfato de hidrazina em água tipo 1 ($> 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) formando uma suspensão do polímero formazina. Essa solução padrão foi obtida pelo fabricante Quimlab Produtos de Química Fina Ltda com o certificado de análise sob o número 077166 com o valor de $1000 \text{ NTU} \pm 20 \text{ NTU}$. A densidade da solução a 20°C foi $1,0017 \text{ g/mL}$, a matriz foi a água pura e o número do lote foi F17D0145D. O padrão foi rastreado gravimetricamente ao NIST (NIST Test 822/275197-07), gravimetricamente e volumetricamente à Rede Brasileira de Calibração (RBC). O fabricante da solução padrão de turbidez de formazina tem o sistema de gestão da qualidade certificado ISO 9001 (SPECSOL, 2015; QUIMLAB, 2017).

B - Solução padrão de turbidez de formazina 1000 NTU de uso

A solução padrão de turbidez de formazina 1000 NTU de estoque foi agitada para homogeneizar a suspensão.

A solução padrão de uso foi preparada sempre antes da utilização devido a instabilidade e depois foi descartada adequadamente. Para obter valores de turbidez menores que 1000 NTU foram diluídos em balão volumétrico de 50 mL com água pura. Cada 0,5 mL de solução padrão estoque correspondeu a 10 unidades de turbidez expressa na escala NTU (QUIMLAB, 2017).

C - Água pura

A água pura utilizado no experimento foi proveniente do sistema de osmose reversa. O sistema apresentou um elevado teor de pureza da água através do equipamento de osmose reversa Tecnal R-TE-4007/10.

Amplitude e exatidão do método espectrofotométrico de determinação de turbidez

Para uma coleção de dezesseis balões volumétricos de 50 mL, transferiram-se com precisão zero (branco) μL , 2,5 μL , 5 μL , 7,5 μL , 10 μL , 12,5 μL , 15 μL , 17,5 μL , 25 μL , 50 μL , 75 μL , 100 μL , 125 μL , 150 μL , 175 μL e 250 μL de solução padrão de turbidez de formazina 1000 NTU de estoque. Completaram-se os balões volumétricos com água pura, homogeneizaram-se e procederam-se as leituras em transmitância a 550 nm no

espectrofotômetro (RINGBOM, 1939; AYRES, 1949; GRANER, 1972; MARTINS, 2002; MARTINS; GRANER, 2005). Cada 0,5 mL de solução padrão estoque corresponde a 10 NTU.

Precisão do método espectrofotométrico de determinação de turbidez

A precisão do método em questão foi avaliada em função da reprodutibilidade dos valores das leituras de absorbâncias obtidos segundo o procedimento descrito no estudo da amplitude e exatidão, dentro do intervalo evidenciado como sendo ideal para as referidas medidas (MARTINS, 2002; MARTINS; GRANER, 2005).

Estudo das medidas de absorbância da turbidez em cubetas de quartzo e metacrilato

Para uma coleção de quatro balões volumétricos de 50 mL, transferiram-se com precisão zero (branco) μL , 25 μL , 125 μL e 250 μL de solução padrão de turbidez de formazina 1000 NTU de estoque. Completaram-se os balões volumétricos com água pura, homogeneizaram-se e procederam-se as leituras em absorbância a 550 nm no espectrofotômetro (RINGBOM, 1939;

AYRES, 1949; GRANER, 1972, MARTINS, 2002; MARTINS; GRANER, 2005). Usaram-se cubetas de 10 mm de caminho óptico de quartzo e de metacrilato (MARTINS, 2002; MARTINS; GRANER, 2005). O procedimento foi realizado em triplicata. Cada 0,5 mL de solução padrão estoque corresponde a 10 NTU.

Curva padrão de turbidez pelo espectrofotômetro a 550 nm

Para uma coleção de nove balões volumétricos de 50 mL, transferiram-se com precisão zero (branco) μL , 25 μL , 50 μL , 75 μL , 100 μL , 125 μL , 150 μL , 175 μL e 250 μL de solução padrão de turbidez de formazina 1000 NTU de estoque. Completaram-se os balões volumétricos com água pura, homogeneizaram-se e procederam-se as leituras em transmitância a 550 nm no espectrofotômetro com cubetas de metacrilato de 10 mm de caminho óptico, imediatamente. Cada 0,5 mL de solução padrão estoque corresponde a 10 NTU. Através do método estatístico dos mínimos quadrados obteve a equação de regressão.

Amostras

Foram coletadas trinta amostras de água potável provenientes das indústrias de bebidas e de produtos

de origem animal nas cidades de Botucatu, São Manuel, Agudos, Bauru, Tietê, Lençóis Paulista do Estado de São Paulo, Brasil. As amostras foram coletadas em frasco de vidro âmbar limpo e seco. O volume coletado de amostra foi de 100 mL. Os frascos com as amostras foram encaminhados ao Laboratório de Físico-Química de Água e Produtos de Origem Animal em caixas térmicas refrigeradas a 4°C – 7°C. As determinações de turbidez foram realizadas em triplicadas nos métodos do espectrofotométrico (n = 90) e do turbidímetro portátil (n = 90).

Comparação dos métodos para a determinação de turbidez nas amostras de água

A – Turbidímetro portátil

A calibragem e as medições de turbidez das amostras de água seguiram os procedimentos do manual do fabricante Hach Company. O turbidímetro portátil modelo 2100P Hach continha cubetas cilíndricas com tampas e soluções de calibragem (padrões de fábrica) e outros acessórios do aparelho. As análises das amostras de água foram realizadas em triplicatas.

B – Espectrofotômetro a 550 nm

As amostras homogeneizadas foram colocadas em cubetas de

metacrilato de 10 mm de caminho óptico. Realizou um branco com água pura. A leitura das absorvâncias foi realizada no espectrofotômetro Femto 600 Plus a 550 nm. Foi calculada a concentração da turbidez (NTU) das amostras de água através da curva padrão.

Análise estatística

As análises estatísticas dos resultados de absorvância da turbidez em cubetas (quartzo e metacrilato) e a comparação dos métodos (turbidímetro portátil e espectrofotômetro a 550 nm) foram realizadas através da técnica da

análise de variância (5 % de significância) complementadas com o teste de Tukey (MONTGOMERY, 1991).

Resultados e discussão

Amplitude e exatidão do método espectrofotométrico de determinação de turbidez

Segundo a técnica de Rigbom (1939), o erro fotométrico absoluto de 1 % é definido pela expressão $E = 230/\Delta T$ (equação de Rigbom), onde ΔT é a variação na porcentagem de transmitância quando a concentração varia de dez vezes (Tabelas 01 e 02).

Tabela 01. Variação na transmitância (T%) e na absortância (100 – T%) com diferentes concentrações de solução padrão de turbidez de formazina a 550 nm.

Concentração de turbidez (NTU/50 mL)	Transmitância (T %)	Absortância (100 – T %)
0,05	99,99	0,01
0,10	99,97	0,03
0,15	99,94	0,06
0,20	99,92	0,08
0,25	99,89	0,11
0,30	99,86	0,14
0,35	99,84	0,16
0,50	99,76	0,24
1,00	99,49	0,51
1,50	99,23	0,77
2,00	98,97	1,03
2,50	98,71	1,29
3,00	98,45	1,55
3,50	98,19	1,81
5,00	97,41	2,59

Esse erro assume níveis elevados quando se trabalha com concentrações extremas que fornecem valores de transmitância correspondentes também aos extremos da escala de leitura, e um valor mínimo

quando se trabalha numa amplitude ideal daquelas concentrações; daí a sua determinação permite o estabelecimento de um intervalo de concentrações nas curvas de referência ou padrão no qual o erro fotométrico seja mínimo

(GRANER, 1972; ROCHA, 1987; MARTINS, 2002; MARTINS; GRANER, 2005).

Os resultados da Tabela 01 foram agrupados em variações de dez vezes para obter os valores de

amplitudes da Tabela 02. Verifica-se pelos dados obtidos da Tabela 02 que a amplitude com o menor erro relativo de concentrações compreende as faixas de 0,50 NTU/50 mL a 5,00 NTU/50 mL ($E = 97,87$).

Tabela 02. Variação do erro relativo da concentração quando se considera o erro fotométrico absoluto de 1 % para diferentes amplitudes de concentração de turbidez (NTU/50 mL). Leituras a 550 nm.

Amplitude de turbidez (NTU/50 mL)	ΔT	$E = 230/\Delta T$
0,05 – 0,50	0,23	1.000
0,10 – 1,00	0,48	479,17
0,15 – 1,50	0,71	323,94
0,20 – 2,00	0,95	242,11
0,25 – 2,50	1,18	194,92
0,30 – 3,00	1,41	163,12
0,35 – 3,50	1,65	139,39
0,50 – 5,00	2,35	97,87

Precisão do método espectrofotométrico de determinação de turbidez

A precisão do método em questão foi estudada em função da reprodutibilidade das leituras das absorvâncias obtidas na confecção da curva de referência ou padrão de

turbidez no intervalo de 0,50 NTU/50 mL a 5,00 NTU/50 mL, evidenciado anteriormente. Os dados da Tabela 03 são referentes a três repetições para cada ponto da curva e verificou-se pelos valores de desvio padrão que o método é suficientemente preciso nas condições experimentais estabelecidas.

Tabela 03. Precisão do método espectrofotométrico de turbidez através dos pontos (NTU/50 mL) da curva padrão com os valores médios de absorvâncias e os desvios padrões. Leitura a 550 nm.

Turbidez (NTU/50 mL)	Absorvância	Desvio padrão
0,5	0,00105	$\pm 0,00001$
1,0	0,00220	$\pm 0,00001$
1,5	0,00335	$\pm 0,00000$
2,0	0,00450	$\pm 0,00000$
2,5	0,00565	$\pm 0,00001$
3,0	0,00680	$\pm 0,00000$
3,5	0,00795	$\pm 0,00000$
5,0	0,01140	$\pm 0,00001$

Estudo das medidas de absorvância da turbidez em cubetas de quartzo e metacrilato

A Tabela 04 demonstra que não existem diferenças estatísticas ($p>0,05$) entre os valores de absorvâncias de diferentes concentrações de turbidez (0,5 NTU/50 mL, 2,5 NTU/50 mL e 5,0 NTU/50 mL) entre as cubetas de quartzo e de metacrilato de 10 mm de caminho óptico.

Este estudo demonstrou estatisticamente que as medidas de absorvâncias da turbidez foram idênticas nas cubetas de quartzo e de metacrilato. Isso também foi comprovado nos experimentos de

MARTINS (2002) que avaliou as cubetas de quartzo e de metacrilato para a determinação espectrofotométrica de nitrito e nitrato (MARTINS; GRANER, 2005).

A utilização de cubeta de metacrilato de 10 mm de caminho óptico para medidas de turbidez em espectrofotômetro a 550 nm (EPA, 1993; MERCK, 1999; MERCK, 2004) é interessante pelo seu baixo custo comparada com a cubeta de quartzo. Entretanto, em muitos países considerados economicamente desenvolvidos, a cubeta de metacrilato é considerada descartável devido ao baixo custo de aquisição (MARTINS, 2002; MARTINS; GRANER, 2005).

Tabela 04. Média \pm desvio padrão de absorvâncias de diferentes concentrações (0,5 NTU/50 mL, 2,5 NTU/50 mL e 5,0 NTU/50 mL) da solução padrão de turbidez formazina 1000 NTU. Leitura em espectrofotômetro a 550 nm com cubetas de quartzo e metacrilato de 10 mm de caminho óptico. Análise estatística Anova complementada com o teste de Tukey a 5 % de significância.

Material da cubeta	Concentração de turbidez (NTU/50 mL)		
	0,5	2,5	5,0
Quartzo	0,00105 \pm 0,00001 a ¹	0,00565 \pm 0,00001 a	0,01140 \pm 0,00001 a
Metacrilato	0,00106 \pm 0,00001 a	0,00565 \pm 0,00001 a	0,01139 \pm 0,00001 a

¹Média \pm desvio padrão seguidos de pelo menos uma mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Curva padrão de turbidez pelo espectrofotômetro a 550 nm

Os dados da Tabela 05 foram utilizados para a obtenção da equação de regressão: $A = - 0,0001 + 0,0023 \cdot$ NTU/50 mL. Os coeficientes de determinação (r^2), linear e angular

foram 1,0000, - 0,0001 e 0,0023, respectivamente. O coeficiente de determinação ($r^2 = 1,0000$) demonstra que a curva padrão está suficientemente precisa nas condições experimentais estabelecidas.

Tabela 05. Curva padrão de turbidez (NTU/50 mL) pelo método do espectrofotômetro a 550 nm.

Turbidez (NTU/50 mL)	Absorbância ± desvio padrão
0,5	0,00105 ± 0,00001
1,0	0,00220 ± 0,00001
1,5	0,00335 ± 0,00000
2,0	0,00450 ± 0,00000
2,5	0,00565 ± 0,00001
3,0	0,00680 ± 0,00000
3,5	0,00795 ± 0,00000
5,0	0,01140 ± 0,00001

Comparação dos métodos à determinação de turbidez nas amostras de água

A Tabela 06 demonstra que os métodos analisados (turbidímetro portátil e o espectrofotômetro a 550 nm) não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$).

Muitas indústrias de bebidas e de produtos de origem animal utilizam um equipamento para determinar a turbidez da água. O presente trabalho sugere uma alternativa de determinação de turbidez em água. Visto que muitos equipamentos para determinação de turbidez tem um alto custo para

pequenas e médias indústrias. Isso também ocorre com muitos laboratórios de análises clínicas, farmacêuticos, cosméticos, alimentícios e outros que precisam determinar a turbidez da água. Acreditamos que outros estudos metodológicos para turbidez são necessários para aprofundar a eficácia do ensaio porque existem interferentes físicos e químicos que precisam ser questionados. Independente dessas observações, o presente artigo poderá auxiliar de forma prática e econômica muitos laboratórios que não possuem um equipamento específico para determinar a turbidez da água.

Tabela 06. Média ± desvio padrão da turbidez (NTU) das amostras de água provenientes das indústrias de bebidas e produtos de origem animal. Os métodos comparados foram: (a) turbidímetro portátil modelo 2100P Hach e (b) espectrofotômetro Femto 600 Plus a 550 nm. Análise estatística complementada com o teste de Tukey a 5 % de significância.

Método de análise	<i>n</i>	Média ± desvio padrão
Turbidímetro portátil	90	0,51 NTU ± 0,26 NTU a ¹
Espectrofotômetro a 550 nm	90	0,52 NTU ± 0,24 NTU a

¹Média ± desvio padrão seguidos de pelo menos uma mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Conclusão

Com base nas informações apresentadas no presente trabalho, podemos concluir que:

- A amplitude e a exatidão do método espectrofotométrico a 550 nm de determinação de turbidez em água estão no intervalo de 0,5 NTU a 5,0 NTU;
- Os valores de desvio padrão demonstraram que o método espectrofotométrico a 550 nm é suficientemente preciso nas condições experimentais estabelecidas;
- As medidas de absorbância da turbidez em cubetas de quartzo e metacrilato de 10 mm de caminho óptico no espectrofotômetro a 550 nm não apresentaram diferenças estatísticas;
- Os coeficientes de determinação, linear e angular da curva padrão

do método espectrofotométrico a 550 nm estão suficientemente

precisos nas condições experimentais estabelecidas;

- Não apresentaram diferenças estatísticas os métodos comparados (turbidímetro portátil e espectrofotômetro a 550 nm) à determinação de turbidez nas amostras de águas provenientes das indústrias de bebidas e de produtos de origem animal.

Agradecimentos

Ao Serviço de Orientação à Alimentação Pública (SOAP/FUNVET) do Departamento de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP – *Campus* Botucatu) pelo suporte físico e financeiro.

Referências

AYRES, G.H. Evaluation of accuracy in photometric analysis. *Analytical Chemistry*, v. 21, n. 6, p. 652-657, 1949.

- BRASIL. Ministério da Saúde do Brasil. *Portaria MS n. 2914 de 12/12/2011*. Diário Oficial da União 14/12/2011.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. *Method 180.1: determination of turbidity by nephelometry*. USA: EPA, p. 180.1-1/180-1-10. 1993.
- GRANER, C.A.F. *Determinação do cromo pelo método colorimétrico da difenilcarbazona*. 1972.112p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, Botucatu, São Paulo, Brasil.
- HACH. Hach Company. *Turbidímetro portátil – modelo 2100P – manual de operação*. 7 ed. EUA: Hach Company, 80p. 1998.
- MARTINS, O.A. *Determinações espectrofotométricas de nitrito e nitrato em sais de cura*. 2002. 46p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo, Brasil.
- MARTINS, O.A.; GRANER, C.A.F. Determinações espectrofotométricas de nitrito e nitrato em sais de cura. *Higiene Alimentar*, v. 19, n. 137, p. 73-80, 2005.
- MERCK. *Merck – Manual Spectroquant Nova 60 – Número del método: 077 - Turbidez*. Merck, 1999.
- MERCK. *Merck – Spectroquant Nova 60 – Métodos de análisis. Número del método: 077 – Turbidez – análogamente a EN ISO 7027*. Merck, 2004.
- MN. Macherey-Nagel. *Turbidity measurements with nanocolor*. Germany: Macherey-Nagel GmbH & Co.Kg, p.1-4, 2016.
- MONTGOMERY, D.C. *Design and analysis of experiments*. 3 ed. New York: John Wiley, 1991. 649p.
- MOORE, W. J. *Físico-química – volumes 1 e 2*. 4 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 866p. 1999.
- QUIMLAB. Quimlab Produtos de Química Fina Ltda. *Certificado de análise do padrão de turbidez formazina 1000 NTU – número 077166*. Jacareí: Quimlab Produtos de Química Fina Ltda, p. 01, 2017.
- RINGBOM, A. Uber die genauigkeit der colorimetrischen analysenmethoden I. *Zeitschrift fur Analytische Chemie*, Wiesbaden, n. 115, p. 332-343, 1939.
- ROCHA, J. C. *Determinação de nitrogênio em carnes e produtos afins*. 1987. 146p. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Araraquara, São Paulo, Brasil.
- SPECSOL. Héxis Científica Ltda. *Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ) – solução padrão de turbidez de formazina NTU*. Jundiaí: Héxis Científica Ltda, p. 01-05, 2015.
- WHO. World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality- Volume 3 - Surveillance and control of community supplies*. Second Edition. Geneva: WHO, 1997. 250p.