

TURBIDÍMETRO DE BAIXO CUSTO BASEADO EM PROCESSAMENTO DE IMAGENS

DIMITRI C. VIANA¹, ROBERTO A. BRAGA²

¹ Professor, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 2142.2021, dimitri@deg.ufla.br

² Professor, Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, (35) 3829-1672, robbraga@deg.ufla.br

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Dentre os diversos indicadores envolvidos na análise de qualidade e tratamento de água, a turbidez é considerada um “parâmetro chave”. Assim, a redução do custo financeiro associado à medição deste parâmetro se faz relevante, principalmente para estações de tratamento compactas que, por sua vez, são importantes para a universalização do acesso à água potável no meio rural. O medidor proposto neste trabalho constitui-se, basicamente, de um emissor de raio laser e de uma *webcam*. O raio laser incide na amostra de líquido a ser avaliada e a quantidade de luz que a atravessa é captada pela câmera. Por meio de um *software* relativamente simples, instalado no microcomputador em que a *webcam* está conectada, as imagens captadas podem ser processadas. Isso isenta o medidor de possuir circuitos eletrônicos dedicados a esse tipo de processamento e reduz significativamente seu custo. No primeiro experimento realizado, seis repetições de oito tratamentos foram analisadas e todas as médias diferiram estatisticamente entre si ao nível de 1%, de acordo com o teste de Tukey. No segundo experimento, medições realizadas em paralelo com um turbidímetro tradicional forneceram uma equação que permite converter os valores produzidos pelo processamento de imagens em valores do sistema internacional de medidas.

PALAVRAS-CHAVE: Turbidímetro, Laser, Câmera

INEXPENSIVE TURBIDIMETER BASED ON IMAGE PROCESSING

ABSTRACT: Among the various quality indicators involved in the analysis and treatment of water, the turbidity is considered a key parameter. Thus, the reduction of financial costs associated with the measurement of this parameter is relevant, especially for compact treatment stations which, in turn, are important for universal access to drinking water in rural areas. The meter proposed in this research is based on a laser emitter and a webcam. The laser beam focuses in the liquid sample to be evaluated and the amount of light passing therethrough is captured by the camera. Using a relatively simple software, installed on the PC where the webcam is connected, the captured images can be processed. This exempts the meter to have electronic circuits dedicated to such processing and significantly reduces its cost. In the first experiment conducted, six replicates of eight treatments were analyzed and all the means were statistically different at 1%, according to the Tukey test. In the second experiment, measurements performed in parallel with a traditional turbidimeter provided an equation to convert the values produced by the image processing to values in the international system of units.

KEYWORDS: Turbidimeter, Laser, Camera

INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial à vida, porém ao servir de veículo para agentes biológicos e químicos, também pode trazer riscos à saúde de seres humanos e animais. Por isso, o homem deve estar atento aos fatores que podem interferir negativamente na qualidade da água que utiliza (Heller

et al., 2003). Por ser fundamental para a saúde e higiene, o acesso à água tratada é um fator que caracteriza a qualidade de vida uma população, sendo também considerado um indicador universal de desenvolvimento sustentável (Salge *et al.*, 2007). Apesar desses fatos serem amplamente conhecidos e divulgados, a água potável está cada vez mais escassa, em decorrência do aumento da população mundial e da intervenção ativa do homem nos ambientes urbano e rural (Amaral *et al.*, 2006).

Dos diversos indicadores envolvidos na análise de qualidade e tratamento de água, a turbidez é considerada um “parâmetro-chave” pois, além de determinar a transparência, pode ser usada como indicador de probabilidade da presença de cistos e oocistos de protozoários. Tradicionalmente, os medidores eletrônicos de turbidez baseiam-se em um sensor que converte a intensidade luminosa que atravessa a amostra em análise em um sinal elétrico (de forma alternativa, pode-se avaliar a intensidade luminosa que é retida pela amostra). Em geral, esse tipo de sensor não é oneroso financeiramente, mas a eletrônica necessária para processar o sinal elétrico fornecido e apresentar os resultados em um mostrador de cristal líquido, bem como permitir que o usuário opere o aparelho por meio de botões, encarecem o medidor.

Sendo assim, esforços para obtenção de medidores mais eficientes podem ser encontrados na literatura. As técnicas que se baseiam em processamento de imagens fornecem alguns exemplos nos quais, em geral, são utilizados um emissor de luz e uma *webcam*. O emissor é apontado para a amostra de líquido a ser avaliada, a quantidade de luz que a atravessa é captada pela câmera e as imagens adquiridas são processadas por *software*. Ou seja, a *webcam* deve ser conectada a um microcomputador, no qual as imagens são convertidas em valores de turbidez em unidade do sistema internacional. Isso desonera o medidor de possuir circuitos eletrônicos dedicados a esse tipo de processamento e pode reduzir significativamente seu custo de produção. Uma vez que os microcomputadores geralmente estão disponíveis em laboratórios e outras instalações em que se realizam análises de líquidos (e não precisam ser dedicados ao medidor, podendo realizar funções paralelas), esta estratégia se mostra uma alternativa interessante.

Por exemplo, em Kontturi *et al.* (2009), um método para medição de turbidez a partir de processamento de imagens foi investigado. No referido trabalho, os autores aplicam a técnica do Speckle Laser Dinâmico, cujos fundamentos podem ser encontrados em Rabal & Braga (2008), para quantificar a movimentação das partículas presentes no líquido que se deseja analisar. Sendo assim, esta técnica é sensível à concentração de partículas e robusta em relação à tonalidade das mesmas, o que muitas vezes representa uma vantagem. No entanto, para que a velocidade das partículas não influencie a medição, necessita-se de uma bomba peristáltica para que o líquido circule dentro do medidor de forma padronizada, aumentando sua complexidade. Além disso, o método é bastante sensível à vibração, o que pode inviabilizar sua aplicação prática em determinados ambientes.

Jamale & Pardeshi (2014) sugeriram um método para medição de turbidez que se baseia em uma câmera, um microcomputador e um *software* que processa as imagens captadas. Antes de realizar as medições, os referidos autores propõem que um banco de dados seja formado, da seguinte forma: para diferentes líquidos de turbidez conhecida, captura-se algumas imagens no padrão RGB (do inglês, *red, green, blue*). Dentre as imagens associadas a um líquido, os menores e os maiores valores de cada um dos três componentes (RGB) são armazenados. Ao se concluir esta etapa, os intervalos de variação dos componentes RGB de cada líquido utilizado estão registrados. Posteriormente, quando uma amostra de turbidez desconhecida é analisada, os valores de seus componentes RGB são apurados e um líquido conhecido, cujos intervalos comportem esses valores, é procurado no banco de dados. Ou seja, o referido método apenas identifica a turbidez de uma amostra se um líquido de tonalidade muito parecida estiver catalogado em seu banco de dados.

O método investigado no presente trabalho tem como hipótese a viabilidade de utilização de imagens em tons de cinza, em detrimento do sistema RGB, permitindo que os valores produzidos pelo processamento de imagens sejam convertidos em valores do sistema internacional de medidas por meio de uma equação polinomial. Similiarmente aos medidores disponíveis no mercado, essa

equação pode ser levantada em uma fase de calibração do instrumento, a partir de poucas amostras cujos respectivos valores de turbidez são conhecidos. Isto dispensa a construção de um banco de dados como realizado por Jamale & Pardeshi (2014) e torna a utilização do medidor muito mais prática.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é possibilitar a medição de turbidez de diversos tipos de líquidos por meio do uso de componentes alternativos em relação à tecnologia dos turbidímetros tradicionais. Futuramente, o uso de tais componentes poderá viabilizar a produção comercial de aparelhos cujo custo financeiro seja inferior ao dos medidores atualmente disponíveis no mercado, mantendo as mesmas características de desempenho ou melhorando-as.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da técnica aqui proposta utilizou um arranjo experimental composto por um emissor laser, um recipiente no qual a amostra a ser analisada é depositada e iluminada, um anteparo em que a luz que atravessa a amostra é projetada e uma *webcam*, para registrar imagens do anteparo. Além disso, para atenuar a quantidade de luz recebida pela câmera, um filtro neutro na forma de película foi instalado entre o suporte da amostra e o anteparo. A Figura 1 ilustra o arranjo dos elementos mencionados. Para evitar interferências de outras fontes luminosas, este aparato foi montado dentro de um recipiente preparado para evitar a entrada de luz externa.

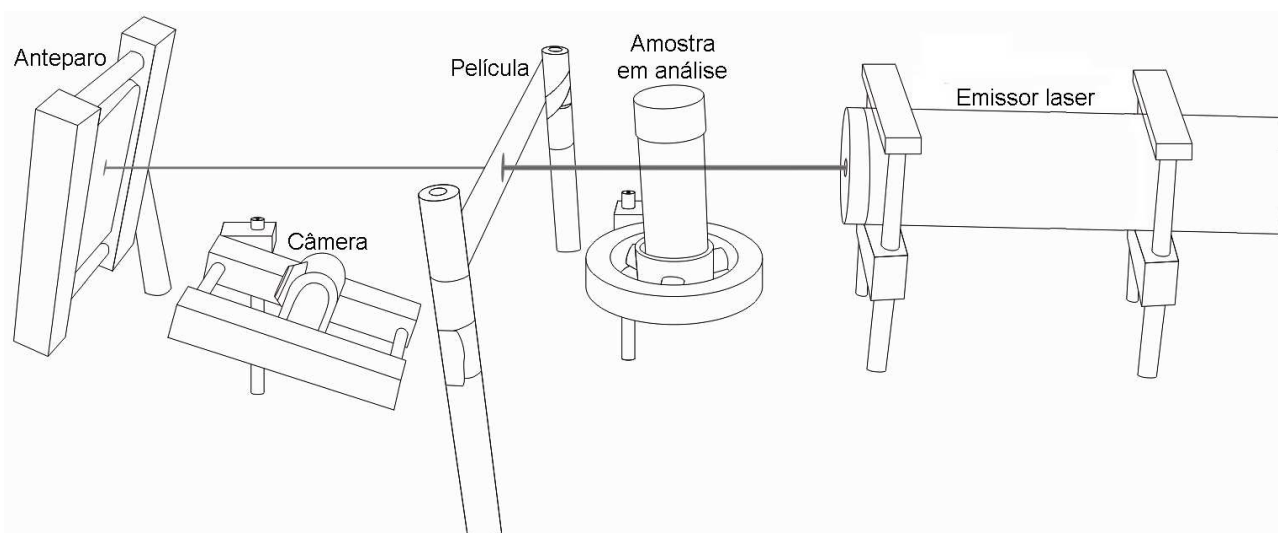


FIGURA 1. Arranjo experimental composto por um emissor laser (HeNe), cubeta de vidro (15 ml), película semitransparente, *webcam* (modelo Labtec 1200) e anteparo (isopor branco de baixa rugosidade).

O princípio de funcionamento é o seguinte: quanto mais turvo for o líquido em análise, menos intensa é a luz que chega ao anteparo e, conseqüentemente, mais escuras são as imagens deste último. Dessa forma, por meio de um *software*, instalado no microcomputador em que a câmera está conectada, a intensidade dos *pixels* que formam as imagens registradas para uma determinada amostra pode ser avaliada e, com o uso de uma equação polinomial, convertida em um valor que expresse a turbidez do líquido em unidade do sistema internacional, por exemplo, NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

A plataforma de desenvolvimento MATLAB[®] foi escolhida para elaboração das rotinas e funções computacionais utilizadas neste trabalho. A primeira tarefa realizada foi a configuração dos circuitos eletrônicos da câmera, na qual os recursos de compensação automática de luz e cálculo do tempo de exposição foram desativados, eliminando a influência de tais funcionalidades no posterior processo de quantificação de intensidade luminosa. Para isso, as funções “*imaqhwinfo*” e “*getselectedsource*”, da biblioteca “*Image Acquisition Toolbox*” (Versão 4.2), foram utilizadas. Por

meio da primeira, é possível listar as características construtivas e os recursos passíveis de configuração de uma câmera. Já com a segunda função, pode-se selecionar o atributo desejado e posteriormente fazer a alteração de seu valor por meio da instrução “*set*” (nota: a quantidade de recursos cuja desativação é recomendada pode variar de acordo com o modelo da *webcam*).

Após a configuração da câmera, iniciou-se o processo de captura das imagens. Como o delineamento de blocos casualizados (DBC) foi adotado neste trabalho, para cada bloco, foi desenvolvida uma subrotina para solicitar aleatoriamente os tratamentos. Após o usuário confirmar o posicionamento de uma amostra, 128 imagens de formato 352x288 eram capturadas em intervalos de 33,3 milissegundos e armazenadas em formato “*bitmap*” em um determinado subdiretório do microcomputador. Para aumentar robustez da coleta de dados, foi adotada a triplicata deste último procedimento. Os processos de captura e armazenamento de imagens, respectivamente, basearam-se nas funções “*getdata*” e “*imwrite*”; a primeira pertencente à biblioteca “*Data Acquisition Toolbox*” (Version 3.0) e a última nativa do MATLAB®.

Por fim, o processamento digital para obtenção da intensidade luminosa associada a uma determinada amostra se deu da seguinte forma: para cada conjunto de 128 imagens, 50% dos *pixels* da primeira imagem eram selecionados aleatoriamente e acompanhados ao longo das demais 127 imagens do conjunto. Como a tonalidade de cinza de cada *pixel* é representada por um escalar entre 0 (preto) e 255 (branco), a rotina computacional responsável por essa tarefa apenas realiza a média aritmética dos valores associados aos $0,5 \times (352 \times 288) \times 128 = 6.488.064$ *pixels* selecionados. Assim, com a adoção do sistema de triplicata, cada amostra foi caracterizada pela intensidade de quase 20 milhões de *pixels*.

Com relação à validação experimental, o uso de processamento de imagens para medição de turbidez foi avaliado por meio de testes estatísticos e por comparação entre resultados obtidos com o método proposto e obtidos com um turbidímetro tradicional. Em todos os experimentos, as amostras analisadas foram produzidas a partir de dois líquidos, chamados a partir desse ponto de: base clara (água mineral comum) e base escura (250 ml de água mineral com acréscimo de duas medidas (CS) de café solúvel). Dessa forma, as misturas necessárias puderam ser realizadas por meio de uma pipeta automática.

No primeiro experimento, a hipótese de nulidade do teste estatístico foi a seguinte: não existe diferença entre as intensidades luminosas atribuídas às amostras pelo método proposto em função da concentração de produto turvador presente nas mesmas. Para verificar essa hipótese, as amostras do tratamento T_N foram produzidas da seguinte forma: $N \times 100[\mu\text{l}]$ de base escura em 15[ml] de base clara, para $N = 0,1, \dots, 7$. Após a análise de variância, realizada com 6 repetições de cada tratamento, a capacidade de diferenciação das amostras foi verificada por meio do teste de Tukey. Uma vez que há pouco interesse prático em uma relação matemática que forneça a concentração de produto turvador em função da intensidade luminosa, toda amostra avaliada com o método proposto foi, logo em seguida, analisada com o uso de um turbidímetro tradicional. Assim, foi possível encontrar uma equação para converter as intensidades luminosas associadas às amostras em valores cuja unidade seja NTU. O turbidímetro utilizado foi fabricado pela TecnoPON, modelo TB-1000, cuja exatidão é de 0,1 NTU para a faixa de trabalho entre 0 e 100 NTU. Novamente, visando minimizar eventuais erros no processo de coleta de dados, o sistema de triplicata foi adotado nas medições realizadas com este aparelho.

Com o objetivo de validar a equação obtida no experimento anterior, um novo experimento foi realizado. Para tal, as amostras de validação V_M foram produzidas com o seguinte padrão: $M \times 75[\mu\text{l}]$ de base escura em 15[ml] de base clara, para $M = 1,2, \dots, 9$. O procedimento utilizado foi o seguinte: cada amostra foi analisada pelo método proposto e, logo em seguida, com o uso do turbidímetro utilizado anteriormente. Em ambos os casos, o sistema de triplicata foi adotado. Após finalizar as medições, as intensidades luminosas apuradas foram convertidas para valores em NTU, por meio da equação em questão, e estes foram comparados com os valores fornecidos pelo turbidímetro. O erro absoluto médio foi utilizado como critério de avaliação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para demonstrar a eficiência e a viabilidade prática do método proposto, dois experimentos foram conduzidos. Nesse sentido, a primeira tarefa realizada foi a utilização do processamento de imagens para a análise de 8 tratamentos. As respostas apresentadas na Tabela 1 são as médias das intensidades luminosas obtidas a partir de 3 avaliações de cada amostra, para 6 blocos casualizados. Após verificar que todas as pressuposições para uma análise de variância foram atendidas, este procedimento matemático foi realizado, resultando nos valores apresentados na Tabela 2.

TABELA 1. Médias das intensidades luminosas (tonalidades de cinza entre 0 e 255) obtidas a partir de três avaliações de cada amostra.

TRATAMENTOS	BLOCOS					
	I	II	III	IV	V	VI
T0	125,86	125,01	126,64	125,71	126,05	126,01
T1	121,78	121,68	121,89	123,57	124,70	122,24
T2	118,50	117,70	116,88	118,38	118,11	118,48
T3	115,38	112,95	114,92	115,02	116,21	114,42
T4	110,53	110,43	109,56	111,65	111,89	110,38
T5	106,32	106,08	106,33	105,93	108,28	107,40
T6	103,05	102,79	103,48	102,08	102,45	103,08
T7	97,44	98,29	97,42	99,25	99,89	98,24

TABELA 2. Análise de variância para a intensidade luminosa atribuída às amostras por meio do processamento de imagens.

FV	GL	SQ	QM	F _C	p
Tratamentos	7	3875,7420	553,6774	1015,939**	0,0000
Blocos	5	11,9160	2,3832	4,373	0,0034
Resíduos	35	19,0747	0,5450		
Total	47	3906,7326			

NS: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01).

Dessa forma, deve-se rejeitar a hipótese de nulidade declarada na seção anterior, ao nível de significância de 1%. Ou seja, pelo menos dois tratamentos apresentaram efeitos diferentes na intensidade luminosa atribuída às amostras por meio da técnica proposta. Assim, como os tratamentos são quantitativos, seria possível obter uma equação para fornecer a concentração de produto turvador em função da intensidade luminosa associada a uma amostra, porém esta relação é de pouco interesse prático. Dessa forma, o teste de Tukey foi aplicado para avaliar a capacidade de discernimento do método proposto, sendo que todos os tratamentos diferiram estatisticamente entre si ao nível de 1%.

Conforme planejado, com o objetivo de investigar a conversão dos valores obtidos com o processamento de imagens em valores cuja unidade seja internacionalmente conhecida, toda amostra avaliada com o método proposto foi, logo em seguida, analisada com o uso de um turbidímetro tradicional. Cada amostra foi verificada três vezes, resultando nos valores médios mostrados na Tabela 3. Neste ponto, é interessante notar que o coeficiente de variação dos dados obtidos com a técnica proposta é 0,66[%], ao passo que o valor 8,70[%] foi encontrado ao se analisar as medições realizadas de forma tradicional. A relação entre os dois conjuntos de dados é mostrada de forma cartesiana na Figura 2, na qual uma tendência linear pode ser visualmente percebida.

TABELA 3. Médias das análises de turbidez [NTU] obtidas a partir de três avaliações de cada amostra por meio de um turbidímetro tradicional.

TRATAMENTOS	BLOCOS					
	I	II	III	IV	V	VI
T0	-0,20	0,18	-0,23	-0,47	0,10	0,12
T1	4,63	4,80	4,40	4,27	4,23	4,50
T2	8,37	8,37	10,70	11,00	7,33	10,77
T3	13,30	14,80	15,63	15,17	10,73	11,70
T4	20,20	18,93	20,30	18,90	17,67	20,33
T5	25,33	27,00	21,33	24,33	22,33	24,67
T6	31,00	29,00	29,33	30,33	26,67	31,33
T7	38,67	39,33	37,33	36,00	31,00	39,33

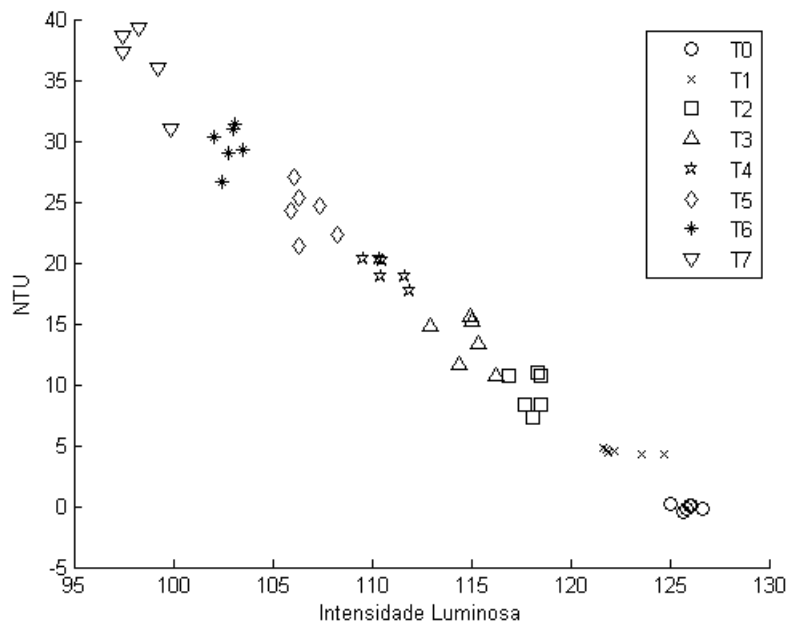


FIGURA 2. Representação cartesiana da correspondência entre os dois conjuntos de dados obtidos a partir da análise das 48 amostras envolvidas no experimento: valores de intensidade luminosa no eixo das abscissas e valores fornecidos pelo turbidímetro tradicional no eixo das ordenadas.

Portanto, a partir desses dois conjuntos de dados, é possível encontrar uma equação para converter a intensidade luminosa associada a uma amostra em um valor cuja unidade seja NTU. Porém, deve-se observar que a utilização de muitos pontos correspondentes entre os dois conjuntos pode ser um empecilho prático. Em geral, a calibração dos turbidímetros tradicionais se dá por meio de 5 ou 6 amostras padrão, permitindo que as intensidades luminosas detectadas em cada uma delas sejam associadas a valores previamente conhecidos da escala desejada, por exemplo, NTU. Assim, para manter essa filosofia, apenas os 8 resultados do terceiro bloco de cada conjunto de dados foram considerados para a determinação da Equação 1, obtida pelo método dos mínimos quadrados.

$$T = -1,267 \cdot I + 159,467 \quad (1)$$

em que,

T – turbidez [NTU];

I – intensidade luminosa.

Com o objetivo de validar a Equação 1, um segundo experimento foi realizado. Conforme descrito na seção anterior, as novas amostras foram produzidas a partir de outro padrão para as concentrações de produto turvador. No entanto, o procedimento de avaliação não foi alterado, ou seja, cada amostra foi analisada pelo método proposto e em seguida pelo turbidímetro, sempre em triplicata. A Tabela 4 apresenta as médias das intensidades luminosas e dos valores obtidos com as medições realizadas de forma tradicional.

TABELA 4. Médias das três avaliações realizadas por processamento de imagens (tonalidades de cinza entre 0 e 255) e por meio do turbidímetro tradicional [NTU], para as 9 amostras de validação produzidas para o segundo experimento.

ORIGEM DOS DADOS	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Processamento de imagens	124,56	121,19	116,42	113,37	110,64	106,92	104,47	100,54	98,40
Medição com turbidímetro	3,53	6,50	13,43	16,23	16,90	21,00	26,67	31,33	37,33

Ao se converter, por meio da Equação 1, os resultados obtidos por processamento de imagens mostrados na Tabela 4, é possível compará-los, em mesma escala, com os resultados fornecidos pelo turbidímetro. A Figura 3 apresenta graficamente esta comparação. O erro absoluto médio, calculado a partir das 9 amostras avaliadas, é de 1,50 [NTU].

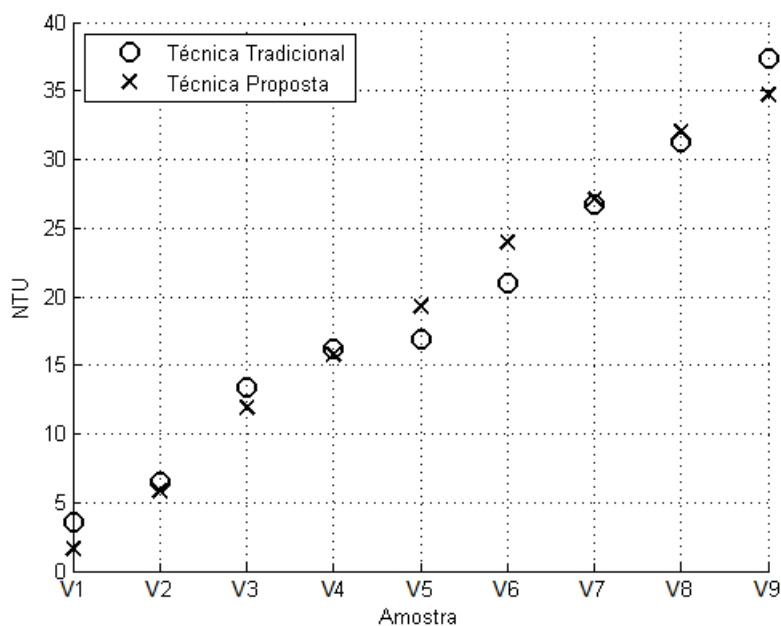


FIGURA 3. Comparação gráfica dos resultados obtidos por meio do método proposto com os resultados fornecidos pelo turbidímetro tradicional, para as 9 amostras produzidas para validar a equação utilizada para converter intensidade luminosa em valores NTU.

O valor 1,50 [NTU] representa o melhor caso apurado para erro absoluto médio, que ocorre quando os resultados do terceiro bloco das Tabelas 1 e 3 são utilizados para se determinar os coeficientes da Equação 1. O pior cenário acontece quando se utiliza os resultados do segundo bloco, elevando este erro para 2,19 [NTU]. No entanto, é interessante notar que a concentração de produto turvador aumenta linearmente ao se tomar em sequência as 9 amostras de validação. Assim, ao se verificar a relação linear entre estas concentrações e as intensidades luminosas produzidas pelo processamento de imagens, encontra-se um coeficiente de determinação $R^2 = 99,51\%$. Sendo que, se esta relação for investigada para os valores fornecidos pelo turbidímetro, o coeficiente encontrado é $R^2 = 97,81\%$. Ou seja, há indícios de que o método proposto esteja fornecendo resultados mais precisos do que o turbidímetro tradicional.

Como visto, a principal inovação proposta neste trabalho está na forma de captação e quantificação da luz que atravessa a amostra. Os medidores tradicionais geralmente utilizam um sensor que fornece uma pequena tensão elétrica, proporcional à intensidade da luz que captam. Esta tensão é processada por circuitos eletrônicos internos e o resultado da conversão para unidade de turbidez é disponibilizada aos usuários. Já o medidor proposto dispensa o uso de circuito eletrônicos internos, ao passo que usa o poder de processamento de um microcomputador. Vale ressaltar que, com o poder dos microprocessadores atuais, a utilização de milhões de *pixels* para caracterização de uma amostra não implica em tempos de análise muito mais longos do que os despendidos pelos turbidímetros tradicionais. Além disso, caso desejado, a quantidade de *pixels* e outros parâmetros dos programas desenvolvidos podem ser facilmente alterados.

As rotinas e funções computacionais utilizadas neste trabalho foram desenvolvidas por meio da plataforma MATLAB[®]. No entanto, deve-se observar que é possível substituir essa ferramenta por produtos gratuitos, ou mesmo por *softwares* dedicados que, uma vez desenvolvidos, não causem impacto no custo financeiro do método proposto. Os novos desenvolvimentos devem incorporar uma interface gráfica para permitir a operação intuitiva do medidor, a partir da qual o usuário poderá executar ações de calibração e medição, além de visualizar os resultados das análises ou mesmo armazená-los em banco de dados, e posteriormente aplicar procedimentos estatísticos. Logicamente, antes de entrar em uma possível fase de comercialização, protótipos precisam ser construídos e características instrumentais como faixa de medição, resolução e precisão devem ser levantadas por meio de ensaios específicos.

Além de permitir a construção de um instrumento para análises laboratoriais de turbidez, o método proposto pode ainda viabilizar duas variações deste aparelho: na primeira, a câmera integrada e o poder de processamento dos *smartphones* seriam utilizados de forma similar ao que foi descrito neste trabalho. Ou seja, um acessório contendo um emissor laser e um repetáculo para a amostra a ser analisada pode ser acoplado a um *smartphone*, permitindo avaliações *in loco*. Na segunda variação, a utilização de válvulas elétricas na entrada e na saída do instrumento permitiriam análises cíclicas de turbidez. Como os resultados fornecidos pelo processamento de imagens são valores digitais, eles podem ser transmitidos para um controlador que regula a quantidade de produto coagulante a ser adicionado durante um processo de tratamento de água, caracterizando um sistema de automação de baixo custo, o que pode ser um fator significativo para a viabilidade econômica de estações compactas, como as utilizadas no meio rural.

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um método que possibilita a medição de turbidez de diversos tipos de líquidos por meio de componentes alternativos em relação à tecnologia dos turbidímetros tradicionais. O uso de tais componentes pode reduzir de forma significativa o custo de produção de aparelhos com este propósito. Para demonstrar a eficiência do método proposto, seis repetições de oito tratamentos foram analisadas em paralelo com o método tradicional, sendo que o coeficiente de variação das medidas realizadas por meio do processamento de imagens foi significativamente menor do que o obtido ao se utilizar um turbidímetro atualmente disponível no mercado. Além disso, com o uso de poucas amostras tomadas como referência, foi possível obter uma relação matemática para converter os valores fornecidos pelo processamento de imagens em valores expressos em NTU. Esta relação foi validada ao se analisar diferentes amostras preparadas com acréscimos lineares de produto turvador e produziu resultados mais coerentes em relação aos esperados do que os fornecidos pelo turbidímetro tradicional, uma vez que uma maior linearidade foi identificada no primeiro conjunto de respostas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prof^ª. Dr^ª. Josefina Aparecida de Souza, do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras, pelo cordial empréstimo de equipamentos.

REFERÊNCIAS

- Amaral, L.A., Rossi, O.D.J., Nader, A.F., Barros, L.S.S., & Silveiras, P.M. 2006. Água utilizada em propriedades rurais para o consumo humano e na produção de leite como veículo de bactérias do gênero *Aeromonas*. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*, **101**, 103–107.
- Heller, L., Colosimo, A.E., & Antunes, C.M.F. 2003. Environmental sanitation conditions and health: impact: a case-control study. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, **36**, 41–50.
- Jamale, R. S., & Pardeshi, S. A. 2014. Turbidity Measurement Using Video Camera. *International Journal of Electrical, Electronics and Computer Systems*, **2**, 17–20.
- Kontturi, V., Turunen, P., Uozumi, J., & E., Peiponen K. 2009. Robust sensor for turbidity measurement from light scattering and absorbing liquids. *Optics Letters*, **34**, 3743–3745.
- Rabal, H.J., & Braga, R.A. 2008. *Dynamic Laser Speckle and Applications*. Taylor & Francis.
- Salge, P., Arten, A., Santiago, A., Wisnieki, E., Pierri, Naina., Chang, M., & Kaick, T.S.V. 2007. Soluções de saneamento para comunidades rurais costeiras: Um modelo tecnicamente apropriado e com participação social. In: *VI Encontro de Extensão e Cultura da UFPR: entendendo a extensão*.