

II-434 – EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE E DO PH DA SOLUÇÃO NA REMOÇÃO DE TURBIDEZ DA VINHAÇA

Juliana Campos Amorim⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras.

Fernanda Ribeiro Pinheiro⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras.

Fátima Resende Luiz Fia⁽³⁾

Engenheira Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre e Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora do Departamento de Engenharia da UFLA.

Ronaldo Fia⁽⁴⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela UFV. Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela UFV. Professor do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

Luiz Fernando Coutinho de Oliveira⁽⁵⁾

Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Doutor Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Bolsista em Produtividade pelo CNPq.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras - Lavras - MG - CEP: 37200-000 - Brasil - Tel: (35) 3829-1481 - e-mail: juamorim01@hotmail.com

RESUMO

A grande concentração de compostos orgânicos presentes na vinhaça, faz com que esta seja considerada um grande problema ambiental. Por esse motivo, seu tratamento vem sendo cada vez mais estudado, verificando-se a sua viabilidade com coagulantes naturais e artificiais. Este trabalho teve como objetivo avaliar o processo de coagulação/floculação usando sulfato de alumínio (SA), cloreto férrico (CF) e semente de moringa (SM) como coagulantes no tratamento da vinhaça, procurando-se determinar a dose dos coagulantes e a faixa de pH que proporcionassem maior eficiência na remoção de turbidez presente na água avaliada. Para os ensaios de coagulação/floculação, transferiu-se um volume de 1,5 L da vinhaça (com o pH natural ou corrigido) para cada uma das 6 (seis) cubetas, com exceção do teste realizado com extrato de semente de moringa, que foi de 1,0 L em cada cubeta. Em seguida, adicionou-se o coagulante e fez-se o ajuste manual da velocidade referente à mistura rápida e lenta. Decorrido os tempos de mistura, a solução ficou em repouso por uma hora, e em seguida, amostras foram coletadas para determinação da turbidez resultante. Com os resultados dos testes foi possível perceber que as maiores eficiências de remoção de turbidez foram de 99,3% para CF; 96,8 para SA e 95,9% para SM obtidas para as concentrações de coagulante e valores de pH de 3 g L⁻¹ e 5,85; 3 g L⁻¹ e 7,35 e 0 g L⁻¹ e 2,85, respectivamente. Para a semente de moringa constatou-se que nem o pH nem a concentração do coagulante apresentaram efeito significativo na remoção de turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Vinhaça, Coagulação, Floculação, Turbidez, Jar Test.

INTRODUÇÃO

A vinhaça é um líquido denso, de cor escura, com elevada quantidade de matéria orgânica e pH ácido entre 3,7 e 5,0, o que lhe confere características corrosivas, gerado no processo de produção de cachaça, açúcar e álcool. Ela é rica em nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre e é composta por 93% água e 7% sólidos (orgânicos e minerais). Sabendo que a vinhaça possui tanto a demanda biológica de oxigênio (DBO) quanto a demanda química de oxigênio (DQO) elevadas, e são gerados de 8 a 15 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido (MOHANA et al., 2008), torna-se necessário o tratamento adequado antes da disposição no ambiente.

Entre as formas alternativas de descarte da vinhaça no ambiente está a sua disposição no solo como fertilizante (NAVARRO et al., 2000). É comprovado que a vinhaça promove a adição de nutrientes, elevação da umidade e pH e melhora a resistência do solo à erosão (LYRA et al., 2003). Porém, o tratamento primário para a remoção de sólidos torna-se necessário, com vistas a reduzir impactos negativos no solo, como o selamento

superficial. Para tal fim pode ser aplicado o tratamento primário quimicamente assistido, envolvendo a coagulação, a floculação e a sedimentação.

A coagulação é o processo de neutralização das cargas negativas das partículas. Dessa maneira elas se aproximam umas das outras, promovendo sua aglomeração, o que leva a formação de partículas maiores, as quais irão apresentar maior velocidade de sedimentação.

O sulfato de alumínio é o coagulante químico mais comumente utilizado no processo de tratamento de águas, devido a sua alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e pelo custo relativamente baixo em sua aquisição. Este apresenta maior eficiência quando o pH da suspensão estiver entre 5,0 e 8,0 (VIANNA et al., 2002). A maior desvantagem desse sal refere-se à disposição do lodo formado, uma vez que o alumínio é um elemento tóxico para plantas e microrganismos. Além disso, de acordo com (MARTYN et al., 1989), elevadas concentrações de alumínio no meio podem ocasionar problemas à saúde humana, inclusive acelerando o processo do Mal de Alzheimer. Ainda, de acordo com (SILVA et al., 2007), a utilização de sais de alumínio proporciona consumo da alcalinidade da água em tratamento, acarretando custos adicionais com produtos químicos utilizados na correção de seu pH.

Os sais de ferro são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH (MATOS et al., 2007). Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular desse elemento, comparado ao do alumínio; por conseguinte, os flocos são mais densos, e o tempo de sedimentação é reduzido significativamente (PAVANELLI, 2001).

Uma alternativa à utilização dos sais de ferro e alumínio, é o uso de *Moringa oleifera*, uma planta tropical de grande importância industrial e medicinal, cujas sementes contêm proteínas solúveis em água que são usadas como coagulantes (BHUPTAWAT et al., 2006). SILVA et al. (2001) estudaram a utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluentes da indústria têxtil e observaram que, comparativamente aos coagulantes químicos convencionalmente utilizados, a *Moringa oleifera* foi uma alternativa promissora no tratamento físico-químico dessas águas residuárias, podendo ser empregada como auxiliar no tratamento primário, já que proporciona aumento na eficiência dos decantadores na remoção de sólidos em suspensão. NDABIGENGESERE et al. (1994) concluíram que a ação coagulante da *Moringa oleifera* deve ser atribuída à presença de proteínas catiônicas solúveis na semente. A *Moringa oleifera* requer, entretanto, mais tempo para a formação de flocos do que outros coagulantes químicos (AL AZHARIA JAHN et al., 1986).

Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o processo de coagulação/floculação usando sulfato de alumínio (SA), cloreto férrico (CF) e semente de moringa (SM) como coagulantes no tratamento da água residuária proveniente do processamento da cana-de-açúcar para produção de cachaça, também conhecida como vinhaça, procurando-se determinar a dose e a faixa de pH dos coagulantes que proporcionassem maior eficiência na remoção de turbidez presente na água avaliada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no Laboratório de Análise de Água (LAADEG) do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras em um aparelho Jar-test, dotado de 6 cubetas com volume total de 2 L cada, com água residuária do processamento da cana-de-açúcar (vinhaça) proveniente da Cachaçaria Bocaina, localizada no município de Lavras. O Jar-test utilizado permite a dosagem simultânea dos coagulantes nas seis cubetas, além de possuir um visor para a leitura da velocidade angular (rotações por minuto) e dispositivo de ajuste de velocidade e coleta das amostras.

As sementes de moringa utilizadas foram adquiridas em empresa especializada na venda de sementes nativas. Para preparar a solução de extrato de semente de moringa, as sementes foram selecionadas, retirando-se a casca e os grãos perfeitos foram triturados em almofariz. O pó obtido foi diluído em água destilada e a solução estocada resultante, de aproximadamente 67,7 g L⁻¹, foi agitada durante 1 hora em agitador magnético.

Os agentes coagulantes adicionados à vinhaça foram cloreto férrico, sulfato de alumínio e semente de moringa. As concentrações utilizadas dos dois primeiros coagulantes foram de 0; 0,75; 1,5; 2,25; 3,0 e 3,75 g L⁻¹. As doses utilizadas de extrato de sementes de moringa foram: 0; 0,55; 1,1; 1,65; 2,2 e 2,75 g L⁻¹. No primeiro ensaio, analisou-se, para cada coagulante, o pH natural da vinhaça que foi de 2,85. Assim, manteve-se constante o pH da água e variou-se a concentração do coagulante em cada cubeta. Nos demais ensaios seguiram-se os mesmos procedimentos, no entanto fez-se a correção do pH da vinhaça para os valores de 4,35; 5,85 e 7,35, utilizando-se para isso hidróxido de sódio 40% (m/v).

Para os ensaios de coagulação/floculação, transferiu-se um volume de 1,5 L da vinhaça (com o pH natural ou corrigido) para cada uma das 6 (seis) cubetas, com exceção do teste realizado com extrato de semente de moringa, que foi de 1,0 L em cada cubeta. Em seguida, adicionou-se o coagulante e fez-se o ajuste manual da velocidade referente à mistura rápida (120 rpm). Decorrido o tempo de mistura rápida de um minuto, ajustou-se a velocidade de mistura lenta em 20 rpm durante dez minutos, e desligou-se o aparelho. A solução ficou em repouso por uma hora, e em seguida, amostras foram coletadas em cada cubeta para determinação da turbidez resultante.

A vinhaça, por conter alto teor de sólidos sedimentáveis, foi submetida, antes dos ensaios ao processo de sedimentação, a fim de remover estas partículas e evitar sua interferência nos resultados. Esse efluente foi deixado em repouso durante duas horas e somente o sobrenadante foi utilizado nos ensaios. A caracterização do sobrenadante em termos de pH, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT), sólidos voláteis totais (SVT), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total kjeldahl (NTK), fósforo total alcalinidade total (AT), ácidos voláteis totais (AVT) e fenóis totais (APHA, 2005) encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização inicial da vinhaça após o processo de sedimentação

Amostra	pH	AT	AVT	ST	SFT	SVT	DQO	DBO	NTK	PT	Fenol
		mg L ⁻¹									
Vinhaça	2,9	0	918	18.292	1.056	17.236	36.446	30.125	153	26	74

AT = mg L⁻¹ de CaCO₃; AVT = mg L⁻¹ de HAc.

RESULTADOS

Na Tabela 2, estão apresentados os valores obtidos para a turbidez nas suspensões, após terem sido misturadas no “Jar-test”. De acordo com os resultados obtidos nota-se influência do pH e das interações pH x coagulante, pH x concentração e pH x coagulante x concentração na remoção de turbidez da água da vinhaça.

Para cada tipo de coagulante e concentração aplicada, observa-se uma tendência de redução nos valores de turbidez com o aumento do pH da solução, exceto para a semente de moringa, o que demonstra que o pH foi um fator importante na remoção de sólidos suspensos da vinhaça para estes coagulantes. No entanto, as maiores eficiências de 99,3% para CF; 96,8 para SA e 95,9% para SM foram obtidas para as concentrações de coagulante e valores de pH de 3 g L⁻¹ e 5,85; 3 g L⁻¹ e 7,35 e 0 g L⁻¹ e 2,85, respectivamente.

SANTOS (2001) avaliando o processo de coagulação/floculação no tratamento de esgoto sanitário obteve valores de eficiência superiores a 96% com a utilização do coagulante cloreto férrico, na faixa de 6 a 7 e o sulfato de alumínio, na faixa de pH 7 a 8, condições semelhantes às observadas no presente trabalho.

Tabela 2: Turbidez (UTN) da vinhaça tratada com diferentes doses de agentes coagulantes e condições de pH do meio

Agente coagulante	Dose (g L ⁻¹)	pH			
		2,85	4,35	5,85	7,35
Cloreto férrico (CF) Ti = 1210 UNT	0,00	967	648	31,7	71
	0,75	1045	327	18,1	49,3
	1,50	1060	436	17,9	12,9
	2,25	459	40,5	11,8	12
	3,00	496	40,7	8,91	10,6
	3,75	600	36,8	8,51	11,9
Sulfato de alumínio (SA) Ti = 576 UNT	0,00	73,3	29,6	26,4	45,1
	0,75	70,6	28,4	24,6	29,3
	1,50	70	27,8	19,5	25,9
	2,25	68,9	26	23,2	24,2
	3,00	63,2	26,6	27,8	18,4
	3,75	61,8	25,9	34,9	18,4
Extrato de semente de moringa (SM) Ti = 576 UNT	0,00	23,4	30,5	24,8	57,3
	0,55	65,7	68,8	41,5	39,5
	1,10	61,5	51,2	32,4	39,5
	1,65	60	67	36,6	44,6
	2,20	88,3	174	59,5	51,5
	2,75	325	221	53,6	34

Ti - Turbidez da água (sobrenadante) antes do ensaio de coagulação/floculação

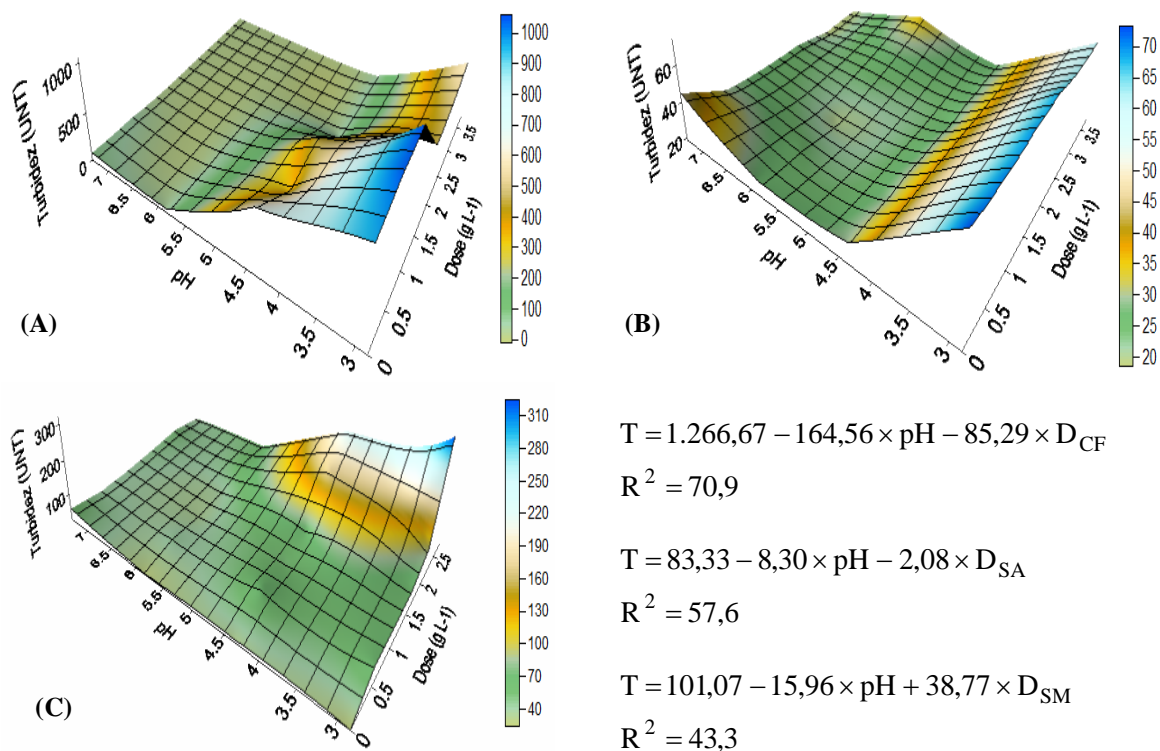


Figura 1: Superfícies de resposta da turbidez (T) em função da variação dos valores de pH e das concentrações de CL - cloreto férrico (A), SA - sulfato de alumínio (B) e SM - semente de moringa (C) obtidas nos ensaios de coagulação da vinhaça; e as respectivas equações ajustadas.

Analisando os resultados do ensaio com semente de moringa, conclui-se que nem o pH nem a concentração do coagulante apresentaram efeito significativo na remoção de turbidez, fato que também foi constatado por MATOS et al. (2007). Os autores obtiveram a maior eficiência de remoção de turbidez em pH natural da água (sem correção) e com baixa concentração da solução coagulante. LO MONACO et al (2010) ressaltam que o tipo de sólidos em suspensão ou de íons em solução parece ser fator de importância na remoção de turbidez das águas, acreditando-se que a remoção proporcionada pelo extrato de semente de moringa é, preferencialmente, de sólidos inorgânicos em solução. Tal fato, justifica-se, provavelmente pela baixa concentração de sólidos inorgânicos, representados pelo SFT, em relação a concentração de sólidos voláteis totais (SVT) presentes na vinhaça (Tabela 1)

Apesar da máxima eficiência de remoção para sulfato de alumínio ter ocorrido em pH de 7,35, nota-se que eficiências equivalentes foram obtidas em pH de 4,35, o que não justifica a adoção de um maior pH de trabalho, o que resultaria em um maior gasto de alcalinizante no tratamento. Sabendo-se, então que os valores de pH ótimos no processo de coagulação/floculação utilizando CF e SA foram de 5,85 e 4,35, respectivamente, obteve-se com os dados experimentais, equações que relacionam a eficiência de remoção de turbidez em função da concentração do coagulante (Figura 2).

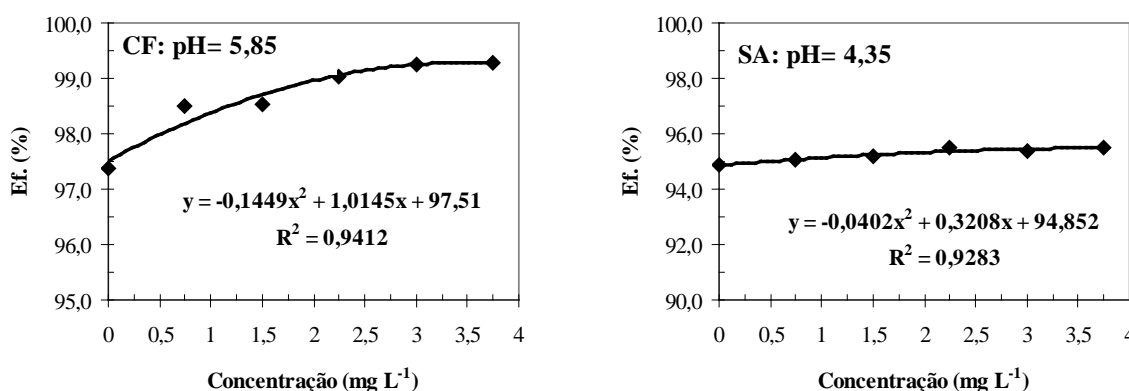


Figura 2: Curvas e equações de ajuste da eficiência de remoção em função da concentração do coagulante em valor de pH ótimo

CONCLUSÕES

As maiores eficiências de remoção de turbidez foram de 99,3% para CF; 96,8 para SA e 95,9% para SM obtidas para as concentrações de coagulante e valores de pH de 3 g L⁻¹ e 5,85; 3 g L⁻¹ e 7,35 e 0 g L⁻¹ e 2,85, respectivamente.

Para a semente de moringa constatou-se que nem o pH nem a concentração do coagulante apresentaram efeito significativo na remoção de turbidez.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo aporte financeiro para a apresentação deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL AZHARIA JAHN, S. Proper use of African natural coagulants for rural water supplies: research in the Sudan and guide for new projects. Eschborn: GTZ, 1986. 541p.
2. APHA [AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION]; AWWA [AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION]; WEF [WATER ENVIRONMENT FEDERATION]. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].

3. BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S.. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating *Moringa oleifera* seeds coagulants. Journal of Hazardous Materials, v.142, n.1-2, p.477-482, 2007.
4. LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. S.; SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento da água para abastecimento e águas residuárias. Ambi-Água, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.
5. LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.3, p.523-532, 2003.
6. MARTYN, C. N.; BARKER, D. J.; OSMOND, C.; HARRIS, E. C.; EDWARDSON, J. A.; LACEY, R. F. Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. The Lancet, v.333, n.8629:p.61-62, 1989.
7. MATOS, A. T.; CABANELLAS, C. F. G.; CECON, P. R.; BRASIL, M. S.; MUDADO, C. S. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. Revista Engenharia Agrícola, v. 27, n.2, p. 544-551, 2007.
8. MOHANA, S.; ACHARYA, B.; MADAMWAR, D.. Distillery spent wash: Treatment technologies and potential applications, Journal of Hazardous Materials, v.163, n.1, p.12-25. 2008.
9. NAVARRO, A. R.; SEPÚLVEDA, M. C.; RUBIO, M. C. Bio-concentration of vinasas from the alcoholic fermentation of sugar cane molasses, Waste Management, v.20, n.7, p.581-585, 2000.
10. NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S.; TALBOLT, B.G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Research, v.29, n.2, p.703-10, 1994.
11. PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
12. SANTOS, H.R. Aplicação de coagulantes no afluente de reator anaeróbio de efluente expandido alimentado com esgoto doméstico. 2001. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
13. SILVA, F. J. A.; SILVEIRA NETO, J. W.; MOTA, F. S. B.; SANTOS, G. P. Descolorização de efluentes da indústria têxtil utilizando coagulante natural (*Moringa oleifera* e quitosana) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. CD-ROM.
14. SILVA, M. E. R.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários por coagulantes naturais e não-naturais. Revista Tecnologia, v.28, n.2, p.178-190, 2007.
15. VIANNA, M.R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002. 576p.