

I-132 - REMOÇÃO DE ÁCIDOS HÚMICOS NA FILTRAÇÃO LENTA COM PRÉ-OXIDAÇÃO COM RADIAÇÃO SOLAR

Carlos Henrique Rossi⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista campus de Ilha Solteira- UNESP. Mestre em Hidráulica e Tecnologias Ambientais pela Universidade Estadual Paulista campus de Ilha Solteira (UNESP). Professor EBTT no IFSP - *campus* Avançado Ilha Solteira.

Edson Pereira Tangerino⁽²⁾

Graduado em Engenharia Civil pela UNILINS, Mestre pelo IPH – UFRGS, Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo-USP.

Tsunao Matsumoto⁽³⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Fundação Valeparaibana de Ensino (1979), Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo em 1987 e 1995, respectivamente. Livre-Docente pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” em 2008. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Campus de Ilha Solteira.

Anielle Ferreira de Jesus Prado⁽⁴⁾

Discente do Instituto Federal de São Paulo (IFSP) - Câmpus Votuporanga

Endereço⁽¹⁾: Rua José do Couto Moraes, 191 – Parque Baguaçu - Araçatuba - SP - CEP: 16018-530 - Brasil - Tel: (18) 3304-4237 - e-mail: rossi@ifsp.edu.br

Endereço⁽³⁾: Alameda Bahia, 550 - Centro, Ilha Solteira-SP, CEP: 15385-000, tsunao@dec.feis.unesp.br

RESUMO

O processo de oxidação com utilização de radiação solar seguida pelo processo de filtração lenta pode ser muito promissor no tratamento de água para pequenas comunidades ou comunidades rurais. A praticidade em conjunto com uma tecnologia alternativa vem mostrar a eficiência do uso de uma energia que não é aproveitada ou pouco aproveitada no mundo todo como a radiação solar. A incidência de raios Ultra Violeta presente na radiação solar pode quebrar as moléculas de ácido húmico facilitando desta forma a sua remoção pela camada biológica formadas nos filtros lentos. As moléculas resultantes poderão ser retiradas por adsorção pelo carvão ativado granular utilizando uma coluna de polimento. Os ácidos húmicos são moléculas difíceis de serem removidas da água em processo convencional de tratamento de água, tornando estes micros poluentes uma das causas de preocupação entre os estudiosos. Devido a esta dificuldade pensou-se em desenvolver um método que seja mais eficaz em tornar a água potável e financeiramente mais acessível pela população de baixa renda. Na presente pesquisa de tratamento da água obteve-se uma remoção de ácido húmico em torno de 55% utilizando um concentrador de radiação solar para a realização da quebra de moléculas do ácido.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração lenta, radiação solar, tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A água é o bem de consumo mais precioso da humanidade, porém será que a população mundial tem valorizado esse bem como realmente merece? A resposta é não. A cada dia, a água potável acessível tem sido um motivo de preocupação para muitos estudiosos que ressaltam a grande quantidade de água salgada existente em nosso planeta quando comparada com a quantidade de água doce, porém o seu percentual reduz drasticamente para o percentual de água doce potável acessível, valores realmente assustadores.

Devido a escassez de água potável, os processos de tratamentos de água têm sido muito pesquisados e cada vez mais procura de inovações tecnológicas. Em contrapartida, as tecnologias são financeiramente muito valorizadas e, às vezes, torna-os pouco acessíveis às comunidades carentes. Por este motivo, tem se investido em tecnologias que toda população tenha livre acesso, tal como o processo de potabilização por radiação solar. Os raios ultravioletas (UV) emitidos pela radiação solar podem ser aproveitados para realizar pré-tratamento por oxidação das moléculas de micro-poluentes existentes na água, e facilitar a remoção destes pelo tratamento biológico em filtros lento e posteriormente na coluna de carvão ativado granular.

Micros-poluentes muito encontrados em águas naturais são as substâncias húmicas (SH) que são moléculas de difícil remoção em um sistema de tratamento de água convencional. O pré-tratamento com raios UV pode ser de grande importância para o futuro das populações carentes devido à economia no tratamento da água e, também, para minimizar a escassez, num futuro próximo.

Filtração Lenta

A filtração lenta em areia foi uma das primeiras técnicas de tratamento de água desenvolvidas para produção de água potável em larga escala. O primeiro filtro lento foi construído em Paisley, na Escócia, em 1804 por John Gibbs para abastecer uma indústria (MENDES et al., 2006). Em 1828 os filtros de areia, construídos por James Simpson em Londres, foram usados pela primeira vez para abastecimento público (FERRAZ, 2001).

Segundo Veras (1999) até o início do século XX, 1914, a filtração lenta permaneceu como sendo o único processo de tratamento de água. Após o surgimento da coagulação química seguida da filtração rápida houve o declínio no uso do processo de filtração lenta em areia (MENDES et al., 2006).

A filtração lenta é indicada para áreas com baixa densidade populacional. No caso do Brasil, áreas rurais e regiões carentes são indicadas por este sistema pela vantagem de não necessitar de mão de obra qualificada na manutenção dos filtros além de ser eficiente na remoção de patógenos.

Por muitas razões, a filtração lenta deixou de ser uma alternativa de tratamento adotada no Brasil a partir da década de 70, especialmente pela falta de pesquisas com o intuito de solucionar o problema relacionado com a piora da qualidade da água dos mananciais utilizados (DI BERNARDO et al., 1999).

A filtração lenta trabalha com taxas de filtração baixas e utiliza meio filtrante de granulometria fina. O uso de baixas taxas de filtração leva a necessitar de grandes áreas de filtração e também de um maior tempo de detenção da água sobre o meio filtrante e no próprio meio filtrante, o que pode favorecer uma intensa atividade biológica, garantindo a produção de água com qualidade apropriada para uma desinfecção efetiva (PERALTA, 2005).

A água bruta na unidade de filtração lenta permanece sobre o meio filtrante de três a doze horas, dependendo da velocidade de filtração (taxa de filtração) adotada. Nesse tempo, as partículas mais pesadas em suspensão sedimentam e as partículas mais finas se aglutinam, facilitando sua remoção posterior (HESPANHOL, 1987).

Na interface água/areia forma-se um biofilme chamado *schmutzdecke*, constituído de várias espécies microbianas, como por exemplo, bactérias, algas e protozoários, em complexas interações biológicas, como simbiose, competição por espaços ou por recursos alimentares comuns. Esse biofilme pode também conter material inerte com argila e minerais precipitados como: manganês e ferro (VARESCHE, 1989).

O biofilme é formado durante um intervalo de tempo chamado “tempo de maturação” (ou amadurecimento) do meio filtrante. Apenas após esse amadurecimento, o filtro se encontra em condições adequadas de produzir água tratada de boa qualidade. A atividade biológica presente no filtro depende essencialmente da quantidade de nutrientes presentes na água bruta e da temperatura (SÁ, 2002).

A atividade biológica é considerada a ação mais importante que ocorre na filtração lenta, sendo mais pronunciada no topo do meio filtrante, porém, se estendendo até cerca de 40 cm de profundidade (DI BERNARDO et al., 1999).

Visto que o rendimento do filtro lento depende principalmente do processo biológico, sua eficiência inicial é baixa, melhorando à medida que progride a carreira de filtração. O período de amadurecimento do filtro pode variar de alguns dias até cerca de dois meses em função das características da água afluente, do meio filtrante e dos parâmetros de operação adotados (DI BERNARDO et al., 1999).

Radiação UV

O sol apresenta uma temperatura superficial próxima de 6.000°C. A energia liberada pelo sol, transmitida para o exterior e denominada de radiação solar. A terra recebe esta radiação, a qual propicia a vida em nosso planeta e, além disso, é aproveitada como fonte de energia para diversas aplicações. A radiação recebida pela

terra não é constante uma vez que depende da época do ano, da latitude e da longitude do lugar. No nível do mar em dias limpos, pode ser recebida uma intensidade de radiação de até 1.000 W/m^2 (SOARES, 2004).

Segundo Soares (2004), a energia solar é uma realidade que deverá ser contemplada dentro de um enfoque científico e tecnológico, coerente com sua condição de energia diluída, mas que mesmo assim põe à disposição da humanidade uma potência solar da ordem de 1 KW/m^2 da superfície do globo.

A exposição ao calor e as radiações ultravioletas, provenientes da radiação solar, são estudadas como processo de desinfecção desde a década de 1970 no Líbano, sendo que nos últimos anos vem sendo dado um enfoque de alternativa de baixo custo para desinfecção de água uma vez que está comprovada a capacidade de eliminação de patógenos (WEGELIN et al, 1994).

A utilização de luz UV na desinfecção da água é um tratamento que apresenta inúmeras vantagens que podem ser citadas como um método rápido, barato, confiável, não deixa odores presentes na água, não agride o meio ambiente, sem apresentar problemas com manuseio ou estocagem de produtos químicos, não há adição de produtos químicos, sem o risco de formação de subprodutos como trihalometanos, simplicidade e facilidade de manutenção, limpeza periódica, com a troca anual das lâmpadas quando fonte artificial, entre várias outras.

Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas (SHs), apesar de sua estrutura conhecida e definida, sua macroestrutura é constituída por múltiplos componentes moleculares enlaçados com diferentes tipos de ligações que dificultam seu estudo (HAYES, 1991).

Segundo Sargentini Junior et. al. (2001), as SHs, devido suas características estruturais, podem interagir com metais e compostos orgânicos como, por exemplo, pesticidas e herbicidas presentes no ambiente. O nível mais baixo da água ocorre entre novembro e dezembro e o mais alto entre junho e julho. Com o período de enchente as águas do Rio Negro alagam as florestas, várzeas e igarapés (SARGENTINI JUNIOR et. al., 2001), carregando assim em suas águas as SHs presentes no solo na época de seca.

Ácido húmico e fúlvico são bem conhecidos como os maiores precursores na formação de compostos de trihalometanos (THM) e outros produtos de desinfecção. Estudos laboratoriais detalhados de ozonização de ácidos fúlvicos aquáticos têm indicado uma redução sistemática de THM com doses de ozônio (LANGLAIS et al., 1991). Entretanto a remoção é significativamente menor em águas com baixa alcalinidade sugerindo que o ataque da direção molecular é também muito seletivo para precursores de THM que a reação radical, ou forma poucos precursores como subprodutos (LANGLAIS et al., 1991).

Os precursores da formação de THM nos mananciais para abastecimento podem variar sazonalmente e dependem do tipo de manancial (rios, lagos, reservatórios, ou represas), tipo do solo, vegetação predominante, mata ciliar, ocupação urbana, industrial e agrícola (PARDO, 1996).

Segundo Muttamara et al. (1995), o cloro pode formar THM quando em contato com substâncias húmicas. Para Paschoalato (2005), a concentração de substâncias húmicas, o tempo de contato e a temperatura da água em estudo influenciam na formação dos THM.

Atualmente a concentração máxima permitida de THM é de $0,1 \text{ mg/L}$ em água para abastecimento público no Brasil de acordo com a Portaria 2914/2010, do Ministério da Saúde.

Substâncias húmicas na água são de certa forma, biodegradáveis. No entanto, devido à grande dimensão das moléculas, a biodegradabilidade não é rápida. Sobre o ponto de vista de modelagem, várias substâncias apresentam complicações, entre elas as húmicas. A maioria dos modelos de biodegradação pode assumir uma taxa limite do substrato (HUCK, 1999).

METODOLOGIA UTILIZADA

Para atingir o objetivo principal dessa pesquisa, que foi o de avaliar o efeito do pré-tratamento com oxidação por radiação solar de substâncias húmicas, presentes na água a ser tratada pela tecnologia de filtração lenta,

foram utilizados concentradores solares na pré-oxidação de SH, filtros lentos e colunas de polimento final, com carvão ativado granular.

Na primeira fase: foram realizados ensaios para definir qual concentrador solar foi o mais eficiente para ser utilizado na segunda fase.

Na sequência foram realizados os ensaios para avaliar o efeito da radiação solar sobre a biodegradabilidade das substâncias húmicas.

A segunda fase foi dividida em 4 etapas e foi utilizado o concentrador solar do tipo parabólico, dois filtros lentos e duas colunas de carvão ativado granular.

Os pontos de coleta a serem considerados neste trabalho são: P1- ponto de coleta de água sem radiação solar na entrada do filtro lento de areia; P2- ponto de coleta de água com radiação solar na entrada do filtro lento de areia; FL1- ponto de coleta de água sem radiação solar após o filtro lento de areia; FL2- ponto de coleta de água com radiação solar após o filtro lento de areia; CL1- ponto de coleta após o filtro de carvão ativado granular; CL2- ponto de coleta após o filtro de carvão ativado granular.

A primeira fase constou inicialmente da maturação dos filtros lentos, sendo utilizada água do lago do bairro do Ipê, localizado no município de Ilha Solteira-SP. Esta etapa aconteceu nos meses de junho e julho de 2009, em um período de temperaturas relativamente baixas, mas com clima atípico para a época, devido a chuvas em toda a região.

A segunda fase foi realizada após o período de maturação dos filtros. Nessa etapa foi aplicada água natural e com adição de ácido húmico (AH) de grau técnico. A concentração de AH foi de 8 mg/L, para se obter cor verdadeira 100 uH. A duração desse ensaio foi de 30 dias, durante o mês de agosto. A água de estudo foi exposta à radiação UV no concentrador parabólico diariamente para o pré-tratamento. Um dos filtros lentos recebeu essa água pré-oxidada e o outro recebeu água sem pré-oxidação. As águas dos filtros lentos passaram por colunas com carvão ativado granular auxiliando na remoção das SH.

Na pesquisa foram montados dois filtros lentos de areia, denominados FL1 e FL2 constituídos de PVC com as seguintes características geométricas: 100 mm de diâmetro e 2300 mm de altura, espessura do leito de areia de 700 mm e granulometria entre 0,08 a 1 mm e coeficiente de desuniformidade maior que 3. A base do filtro foi construída com 4 sub-camadas de 750 mm cada e respectivas variações granulométricas, a partir da camada mais abaixo: 15,9 a 23,4 mm; 7,9 a 12,7 mm; 3,2 a 6,4 mm e 1,4 a 3,2 mm.

Um concentrador parabólico foi construído em madeira com 11 espelhos planos cada um com 10 cm de largura e 100 cm de comprimento, instalados de tal forma a concentrar os raios solares no foco situado a dez centímetros da base. O concentrador foi instalado voltado para o norte e com inclinação variável em relação à vertical (Figura 1), correspondendo ao ângulo de incidência do sol no período da realização dos ensaios.



Figura 1: Concentradores Solar Parabólico

ENSAIOS COM ÁGUA NATURAL MISTURADA COM ÁCIDO HÚMICO

Os ensaios de oxidação com adição de ácido húmico foram realizados com uma concentração de 8,0 mg/L para que a cor verdadeira da água em estudo atingisse um valor próximo de 100 uH.

A água foi preparada em galão de 50 L, homogeneizada e colocada em garrafas PET de 2,5 litros. Foram instalados dispositivos nas tampas das garrafas para funcionarem como respiro que permitiam a saída dos gases gerados com o aumento da temperatura, que chegou até 120⁰C no interior das garrafas fechadas.

As garrafas ficaram expostas ao sol no concentrador parabólico, durante o período de 8h da manhã às 17 h, ou seja, recebiam em média 9 h de radiação UV por dia.

A água retirada pela manhã foi colocada no reservatório 2 para que seguisse no sistema de tratamento da água passando pelo filtro lento. A água passou pelo filtro lento com uma taxa de 3 m³/m²d

RESULTADOS

Primeira fase

Na Figura 2 são representados os valores de turbidez no período de maturação dos filtros utilizados no experimento. Observou-se que entre as coletas 30 e 35 houve um pico devido à chuva ocorrida neste período.

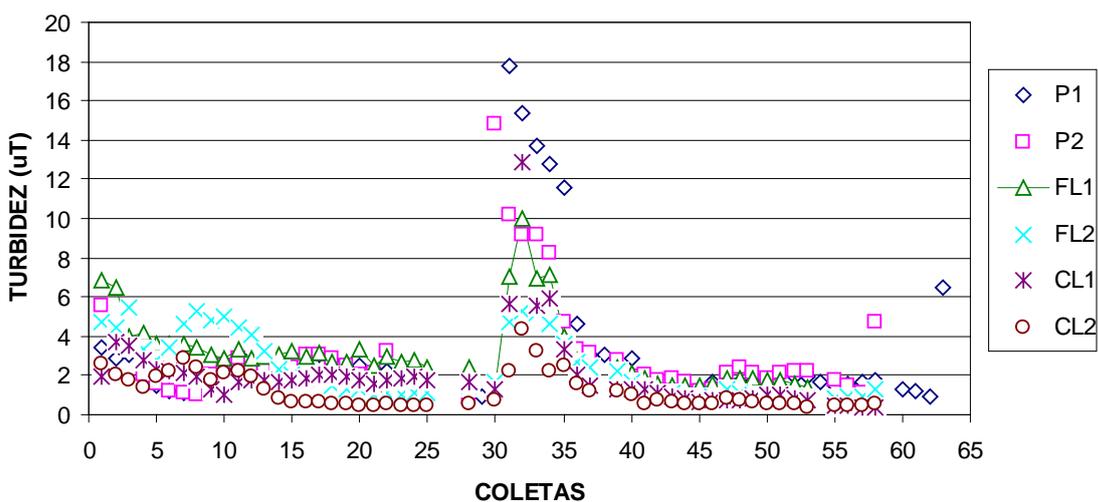


Figura 2: Valores de Turbidez no período de maturação

Nas coletas 30 a 40 houve um pico na cor aparente acompanhando o pico da turbidez, como se pode observar na Figura 3, devido às chuvas ocorridas no período. O desempenho do filtro 2 continuou melhor em comparação com o filtro 1, a coluna CL 2 removeu mais cor do que a CL 1.

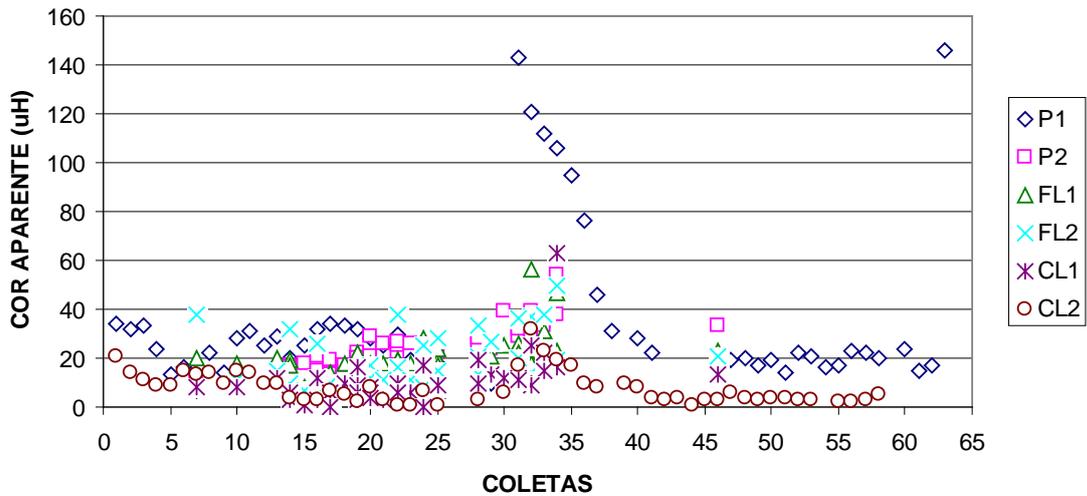


Figura 3: Valores de Cor aparente no período de maturação

Segunda fase

Na segunda etapa os principais resultados estão demonstrados na Figura 4 e na Tabela 1. A Figura 4 apresenta os valores de turbidez no período em que ácido húmico foi adicionado à água.

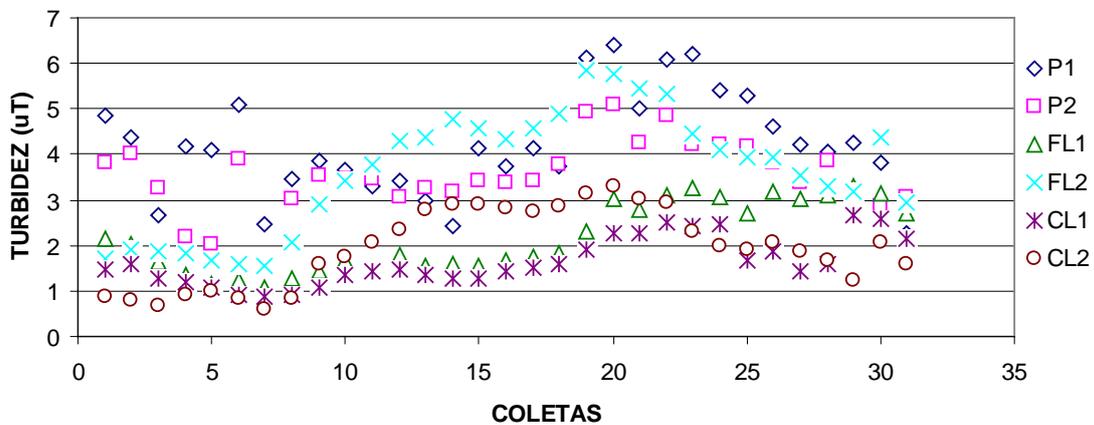


Figura 4: Valores de Turbidez no período de adição de AHgt

As porcentagens de remoção dos filtros de areia (FLs) estão apresentadas por meio da remoção de cor verdadeira em relação à entrada dos filtros (pontos P), conforme mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Porcentagem de remoção de cor verdadeira dos efluentes em relação aos afluentes.

PONTO	COLETAS REALIZADAS										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FL1	55	23	31	27	19	11	15	14	27	21	10
FL2	52	22	0	16	18	12	10	4	16	11	17
CL1	62	65	55	64	60	58	55	53	76	77	48
CL2	62	64	80	68	55	52	61	58	65	65	60

DISCUSSÕES

Nos primeiros dias o FL2 mostrou resultados similares ao do FL1, porém entre as coletas 10 e 25 houve um aumento nos valores de turbidez no período de adição de Ácido Húmico de grau técnico (AHgt). Possivelmente ocorreu uma perda da camada biológica por algum acidente físico no experimento. A coluna CL2 acompanhou os resultados do FL2 fazendo com que, neste período, a água preparada que foi colocada em uma sala escura apresentasse menores resultados que o exposto a radiação (Figura 4).

No ensaio os resultados de cor verdadeira (Tabela 1), demonstraram que não houve uma pequena melhora na água exposta à radiação UV, principalmente ao comparar os resultados do FL1 e do FL2, pois ao observar-se o valor de cor na entrada, o P1 foi maior que o P2 e após os filtros não houve diferença quanto à remoção. As porcentagens de remoção dos filtros de areia (FLs) estão apresentadas por meio da remoção de cor verdadeira em relação à entrada dos filtros (pontos P).

CONCLUSÕES

- Quando a água passa pelo pré-tratamento por radiação solar, as substâncias húmicas são removidas com maior facilidade tanto no filtro de areia quanto no filtro de carvão ativado granular.

- A radiação solar influenciou na biodegradabilidade das substâncias húmicas, influenciando na cor aparente das águas antes e após a exposição.

AGRADECIMENTOS

A UNESP pelo apoio logístico para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
2. COLLINS, M.R.; AMY, G.L.; KING, P.H. Removal of organic matter in water treatment. **Journal of Environmental Engineering**, New York, v.111, N.8, p.850– 864, 1985.
3. COUTINHO, A.R.; BARBIERI, F.C.; PAVANI, P.A. Preparação de carvões ativados a partir de fibras de cellulose. In: 2º Encontro brasileiro de adsorção, maio de 1998, Florianópolis, Santa Catarina. Anais de trabalhos apresentados, Leonel T. Pinto (editor), p. 139-144, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Brasil, 2000.
4. DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.C.S. ; HELLER,L. **Tratamento de água de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 114p. (Programa de pesquisa em saneamento básico).
5. FERRAZ, C. F. **Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento**. 2001. 199 f. Dissertação

- (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
6. HAYES, M. H. B. Advances in soil organic matter research; the impact on agriculture and the environment. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.119, p.149-150, 1992.
 7. HESPANHOL, I. Filtração lenta. In: AZEVEDO NETTO, J.M. (Ed.). **Técnicas de abastecimento de água**. São Paulo: CETESB, 1987. v.2, p.229-273.
 8. HUCK P.M. **Development of a framework for quantifying the removal of Humic Substances by biological filtration**. **Water Science and Technology**, Canadá, v. 40, n.9, p.149-156, 1999.
 9. LANGLAIS, B.; RECKHOW, D.A.; BRINK, D.R. **Ozone in water treatment: application and engineering**. Chelsea: Lewis Publishers, 1991. 569 p.
 10. MENDES, C. G. N. et al. **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactériase microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: PROSAB, 2006. p.237-274. (Programa de pesquisa em saneamento básico-PROSAB, 4).
 11. MUTTAMARA, S.; SALES, C. I.; GAZALI, Z. The formation of thrialomethanos from chemical desinfectantes and humic substances in drinking water. **Water Supply**, Oxford, v.13, n.2, p.105-117, 1995.
 12. OTOWA, T.; NOJIMA, Y.; MIYAZAKI, T. Desenvolpente of KOH activated high surface area carbon and its application to drinking water purification. **Carbon**, Elmsford, v.35, n.9, p. 1315-1319, 1997.
 13. PARDO, S.D.A. **Avaliação do potencial de formação de trihalometanos em sistemas de abastecimento de água**. 1996. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
 14. PASCHOALATO, C. F. P. R. **Efeito da pré-cloração, coagulação, filtração e pos cloração na formação de subprodutos orgânicos halogenados em águas contendo substâncias húmicas**. São Carlos, 2005. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
 15. PERALTA, C. C. **Remoção do indicador Clostridium perfringens e de Ooscistos de cryptosporidium parvum por meio da filtração lenta – avaliação em escala piloto**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.
 16. SÁ, J.C. Remoção de microcystis aeruginosa pelo processo de filtração lenta. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2002, Cancun. **Anais...** Cancun: FEMISCA, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-023.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2010.
 17. SARGENTINI JUNIOR, E. ; ROCHA C. J.; ROSA H. A.; ZARA F. L.; SANTOS A. Substâncias húmicas aquáticas: fracionamento molecular e caracterização de rearranjos internos após complexação com íons metálicos. **Química Nova**, São Paulo, v24, n.3, p.339-244, 2001.
 18. SOARES, C. **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
 19. TANGERINO, E. P. **Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e filtração lenta**. 2003. 265 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
 20. VARESCHE, M.B.A. **Estudo sobre a interferência de algas no sistema de filtração lenta em areia**. 1989. 417 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.
 21. VERAS, L. R. V. **Tratamento de água superficial por meio de diferentes alternativas da tecnologia de filtração em múltiplas etapas**. 1999. 243 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
 22. WEGELIN, M.; CANONICA,S.; MECHSNER, K.; FLEISHMANN, T.; PESARO,F.; METZLER,A. Solar water disinfection: scope on process and analysis of radiation experiments. **Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua**, London, v. 43, n.3, p.154 – 169, 1994.