

II-257 - SISTEMA DE FOTOOZONIZAÇÃO COM GERAÇÃO FOTOQUÍMICA DE OZÔNIO

Alexandre Straatmann

Engenheiro Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.

Carlos Alexandre Lutterbeck

Biólogo, Mestre em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Jonas John

Acadêmico do Curso de Biologia – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Rômulo de Oliveira Schwaickhardt

Químico Industrial, Mestre em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Ênio Leandro Machado⁽¹⁾

Químico Industrial, Doutor em Engenharia – Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC

Endereço⁽¹⁾: Universidade de Santa Cruz do Sul, Mestrado em Tecnologia Ambiental, Avenida Independência, 2293. Bairro Universitário. Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-900 - Brasil - Tel: (51) 3717-7545 - e-mail: enio@unisc.br

RESUMO

O desenvolvimento de sistema de tratamento capaz de tratar o efluente de *wetlands* *construídos* para realização de um polimento através de ozonização fotocatalítica foi o objetivo deste trabalho. A desinfecção foi o principal foco, associando a desinfecção, potencial detoxificação, remoção de cor e turbidez, possibilitando, assim, o contato direto com a água tratada e tornando o reuso mais amplo. Resultados preliminares demonstraram a potencialidade de desinfecção dos efluentes secundários advindos de sistema de fitorremediação. Desinfecção total de efluente secundário foi obtida com fotoozonização (UV/O₃) em sistema sequencial, com níveis de UFC/100 mL menores do que 18. O sistema foi operado com suprimento de energia com célula fotovoltaica. A redução de cor, devido ao material tânico, foi inferior a 10%. O aspecto principal foi que o efluente apresentou potencial de reuso para descarga em vasos sanitários, potencializando gestão mais sustentável para sistemas de saneamento.

PALAVRAS-CHAVE: Fotoozonização, Efluentes Urbanos, Desinfecção.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes com energias renováveis ou diretamente associadas à energia solar conferem várias aplicações e potencialidades de novos sistemas descentralizados de remediação de esgotos sanitários e de unidades de serviços, como lavanderias. O pós-tratamento de efluentes secundários para reuso advindo de *Wetlands* e/ou processos secundários foi referenciado para este trabalho.

Por meio de processos oxidativos avançados (POAs), considerando o processo de fotoozonização (UV/O₃) e potencialmente O₃/HO[•], foram estabelecidos nesta pesquisa a concepção de um sistema fotoquímico para a geração do ozônio.

O ozônio tem uma rápida taxa de reação, produzindo poucos subprodutos prejudiciais (bromo e bromato podem ser formados quando há brometo presente), e formando oxigênio dissolvido como reação final em uma água limpa (SUMMERFELT AND HOCHHEIMER, 1997; SUMMERFELT, 2003). O ozônio dissolvido é eficiente para a remoção de cor, oxidação de nitritos, controle de algas, remoção de turbidez, melhora na micro-floculação de particulados finos, etc. (SUMMERFELT, 2003).

Em geral, o ozônio é um eficiente bactericida e parasiticida (LILTVED, 2002), ele inativa microorganismos através da oxidação da dupla camada de lipídios dos organismos microbianos. Essa ação é uma função da dose, i.e., produto da concentração do ozônio dissolvido (mg/L) vezes o tempo de detenção hidráulico (min) em contato no reator. Em adição, o grau de qualidade da água pode afetar a habilidade de manter a concentração residual necessária de ozônio, ou seja, a dose necessária para a redução microbiológica. Em

estudos de bancada, Liltved et al. (1995), relatou uma inativação de 99,99% de quatro bactérias, (*Aeromonas salmonicida salmonicida*, *Vibrio anguillarum*, *V. Salmonicida* e *Yersinia Ruckeri*) em uma concentração de ozônio residual de 0,15-0,20 mg/L, sendo em água límpida e salobra.

A taxa de reação do ozônio depende da temperatura da água, dos constituintes e da sua concentração. Uma rápida reação com materiais inorgânicos e orgânicos oxidáveis irão manter um equilíbrio aparentemente baixo da concentração de ozônio dentro do líquido e tendo a taxa de transferência aumentada se comparado com uma água sem materiais inorgânicos e orgânicos oxidáveis. A força motriz para a transferência de ozônio é maximizada quando o ozônio absorvido é rapidamente consumido por reações com os constituintes que se encontram na água.

Quanto a geração fotoquímica, comprimentos de onda próximos a 185 nm são mais efetivos para a geração do ozônio, sendo entre 250 a 260 nm a faixa que gera, mas também pode decompor o ozônio residual.

A luz UV é efetiva contra todos patógenos transmitidos pela água. Subprodutos perigosos não são gerados se lâmpadas de baixa pressão são utilizadas. Estas lâmpadas emitem 85-95% de sua potência de saída a 254 nm (HIJNEN et al., 2006). A fotoirradiação com luz UV é um processo rápido, então um tempo curto de contato é necessário (segundos ao invés de minutos) e os dispositivos UV ocupam menos espaço do que o requerido por um sistema de cloração (BOLTON e COTTON, 2008; CHIU et al., 1999). Em adição, o *design* de fotorreatores e a tecnologia das lâmpadas tem se desenvolvido consideravelmente (CASSANO et al., 1995). Estes fatos levaram ao reconhecimento da US Environmental Protection Agency (USEPA) que o UV é a atual melhor tecnologia para desinfecção (HIJNEN et al., 2006).

Um dos poucos problemas encontrados na desinfecção por UV é que após passar pelo processo, não há nenhuma forma de desinfecção residual, uma vez que a água passou pelo tratamento UV, ela se encontra suscetível a um novo desenvolvimento microbiológico.

O pós-tratamento de efluentes secundários para reuso advindo de *Wetlands* e/ou processos secundários foi definido como foco para este trabalho. Por meio de processos oxidativos avançados (POAs), considerando o processo de fotoozonização (UV/O₃) e potencialmente O₃/HO[•], foram estabelecidos nesta pesquisa, a concepção de um sistema fotoquímico.

A primeira meta do estudo incluiu avaliar a funcionalidade, eficiência e durabilidade do equipamento, já que como protótipo, possa haver falhas na execução e pontos que podem ser melhorados, desta maneira, é possível formar diferentes configurações durante a pesquisa objetivando a máxima eficiência do conjunto.

Dentre as análises laboratoriais foi necessário determinar a concentração de ozônio no ar para avaliar se há geração suficiente, tornando possível uma taxa de ozônio dissolvido na água que pudesse ser satisfatória e tida como capaz de oxidar matéria orgânica, reduzir a cor, remover agentes patogênicos e impedir o crescimento microbiológico em geral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Construção do reator UV_{185nm}/O₃/UV_{254nm}

O reator foi concebido para ter seu funcionamento em três etapas: tanque pulmão, reator fotoquímico e tanque de armazenamento com desinfecção UVC, respectivamente (Figura 1). O sistema é automático, necessitando apenas da adição do efluente para que se tenha início o processo de tratamento. A transferência do efluente advindo dos WCs é feita por baldes até atingir o volume de 80 L.

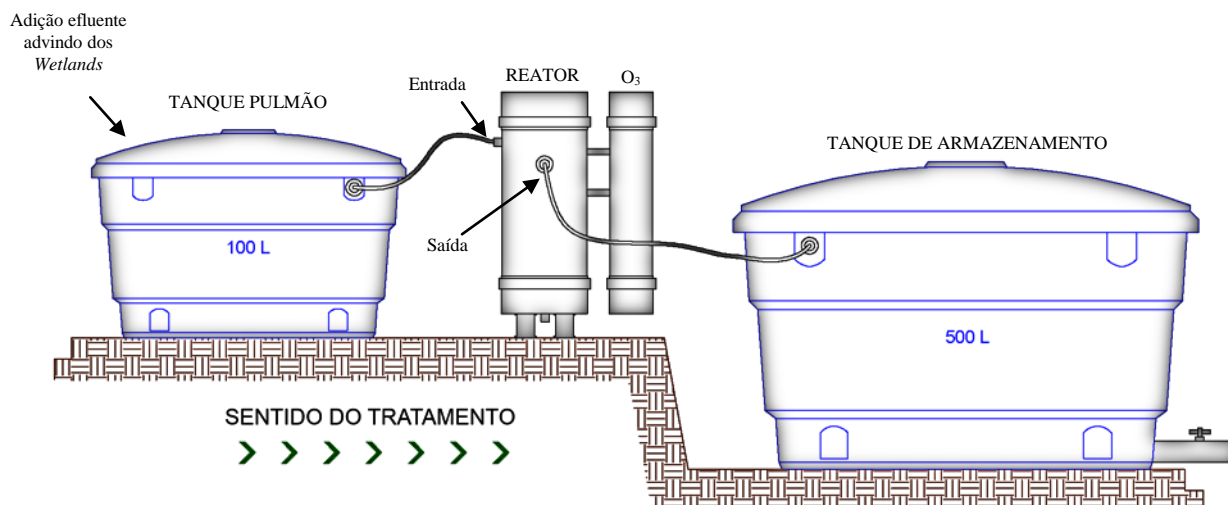


Figura 1: Sistema UV_{185nm}/O₃/UV_{254nm} desenvolvido

A estrutura principal do reator fotoquímico é composta por um cilindro (PVC- 200mm) com volume útil de 10 L, contém uma mangueira porosa, suspiro e um sifão. O ozônio é gerado fotoquimicamente em uma câmara secundária (PVC - 100mm) por uma lâmpada UVC 14W de 185 nm especificamente projetada para a geração do gás. A injeção do ozônio é realizada por um compressor de ar eletromagnético de 16W com capacidade de 454 L.h⁻¹ através de uma mangueira porosa de 105 cm de comprimento localizada na base do reator. A transferência do gás ocorre em função da diferença de pressão existente entre as duas câmaras

Para a determinação da eficácia no tratamento, realizou-se análises de acordo com o que estabelece a norma NBR 13969 (1997), que caracteriza a classe 1 para água de reúso, sendo elas: pH; Turbidez; Coliformes termotolerantes; Sólidos totais dissolvidos (STD) e Coliformes totais.

Os parâmetros de pH e turbidez foram realizados *in situ*, com equipamentos do Laboratório de Tecnologia de Tratamento de Água e Efluentes (LATTAE). Para análise de cor foi estabelecido o comprimento de onda de 420 nm, caracterizado como a cor amarelada do efluente bruto, a leitura é feita utilizando um espectrofotômetro. Foi possível também a aplicação de um espectro de varredura a fim de avaliar todos os comprimentos de onda dentro da faixa de (190 - 700 nm), tendo assim um perfil de degradação dentro das faixas do espectro UV e visível. Todas as análises, incluindo a alcalinidade correspondente, os sólidos totais dissolvidos, foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2005.

Os coliformes totais foram realizados utilizando placas Petrifilm da 3M, mas referendando os demais procedimentos recomendados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2005

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ozônio gerado

A determinação de ozônio gerado foi realizada de acordo com o método iodométrico e com o uso de bolhometro foi possível determinar a taxa de geração em função da vazão de ar. Também foi possível calcular a taxa de geração em relação ao consumo em função dos dados disponíveis: potência das lâmpadas, bomba submersa e compressor.

Para avaliar a eficiência do reator os valores encontrados foram comparados com os de lâmpadas germicidas (UVC).

Tabela 1: Comparativo de lâmpadas UVC na geração fotoquímica de ozônio

Modelo	Consumo do sistema utilizado (W)	Taxa de geração de ozônio (mg.h ⁻¹)	Geração/Consumo (mgO ₃ .W.h ⁻¹)
2 Lâmpadas UVC 15 W (G13/T8) 254 nm	75	42	0,56
1 Lâmpada UVC 14 W (GPH287T5VH/4P) 185 nm	50	81,75	1,635

Ao longo dos últimos anos foram utilizadas diversas metodologias para a geração fotoquímica e tomando-se por base nos resultados fora constatado que havia deficiência da geração de ozônio. O reator atual foi comparado com um sistema que utilizava duas lâmpadas germicidas de 15 W, os valores obtidos com a lâmpada 14W de 185nm possibilitou uma maior taxa de geração, em um reator que possui uma demanda de potência menor, portanto mais econômico.

O teste para determinação espectrofotométrica de ozônio dissolvido utilizando o método Índigo trissulfonato mostrou-se ineficaz nas leituras. Houve variações significativas (desvios superiores a 20%), não sendo possível confiabilidade mínima para a divulgação de algum resultado. Assim sendo, os resultados finais com o sistema UV_{185nm}/O₃/UV_{254nm} segue no próximo item.

Referência dos padrões de reuso para água residuária

Os dados de caracterização para reuso incluem o efluente tratado como classe 1, exceto pela condição do STD

Tabela 2: Comparativo dos resultados obtidos com ABNT 13969/1997

Parâmetros	CLASSE 1	REATOR UV _{185nm} /O ₃	UV _{185nm} /O ₃ + UV _{254nm}
Turbidez (NTU)	< 5 uT	10,73	3,29
Coliformes Termotolerantes(NMP/100mL)	<200	0*	0*
Sólidos Totais Dissolvidos	< 200mg L ⁻¹	(330-420)	(330-420)
pH	≥6 ≤ 8	6,97	7,33
Cloro residual	≥0,5 ≤ 1,5mg L ⁻¹	-	-

* Valores de referência em UFC/100 mL.

Os valores de STD determinados apresentaram concentrações na faixa de 330 a 420 mg L⁻¹. Este parâmetro merece maiores investigações, podendo ser associado a oxidação das peças metálicas de chumbo (Pb) (mangueira de aspersão) e de inox. Ácidos húmico e fúlvico podem formar complexos especialmente com o ferro trivalente.

Durante a confecção do reator foi utilizada uma bomba submersa que é responsável pela transferência do efluente para o cilindro de ozonização, tendo esta bomba uma regulação em sua vazão, possibilitando que cada batelada tenha um tempo mínimo de 20 min e máximo de 60 min. O tempo de detenção hidráulico (TDH) do sistema influencia diretamente na operacionalidade do reator, uma vez que o torna apto a tratar águas mais límpidas e de maior qualidade até efluentes de características variáveis.

Através dos resultados obtidos ao longo dos testes foi observado que esta variação de tempo pode ser ainda maior. Os índices de desinfecção mostram que é possível reduzir o TDH de cada batelada para verificar qual o tempo mínimo necessário a fim de obter uma desinfecção eficiente com o máximo de economia energética.

O sistema de desinfecção composto pela lâmpada germicida 15W que se encontra no Tanque de Armazenamento final do reator tem a capacidade de variação no tempo de irradiação, sempre controlado por timer. Inicialmente foi determinado o uso desta lâmpada com um tempo de irradiação de 15 min para cada hora. Em função dos resultados obtidos de Coliformes Totais foi possível reduzir este tempo, sendo então configurado para 15 min a cada duas horas.

Ao longo da pesquisa, o reator ficou em operação por oito meses, durante este tempo ocorreram ajustes, manutenções e algumas observações foram feitas em prol de um melhor desenvolvimento em projetos futuros. Primeiramente foi detectado um sistema deficiente de injeção de ozônio, associado com dilatações da tampa de vedação da unidade fotoquímica geradora de ozônio, especialmente em função de mudanças de temperatura. Isto promovia alívio de pressão, diminuindo assim a aspersão do gás no efluente. Para solucionar tal problema bastou uma vedação mais eficiente e reparos nos engates que prendem o ozonizador ao corpo do reator.

Outra necessidade de melhoria detectada foi em relação à bomba submersa existente no tanque pulmão e responsável pela transferência do efluente para o reator. Uma vez que a bomba trabalha com um efluente que possui particulados (como areia e restos de gramíneas) é necessário uma potência maior para evitar sobrecarga e desgaste precoce do equipamento. Ocasionalmente ocorria a situação de falta de potência da bomba para iniciar o processo de tratamento, sendo necessário um maior volume de efluente. Isto promovia o aumento da pressão hidrostática e facilitava o bombeamento. Para garantir a melhor operação deve ser considerada bomba de maior potência (10 W, por exemplo).

Ao longo da operação do reator foi observada também a formação de um composto de cor branca na superfície interna do Tanque de Armazenamento (Figura 16). É possível que a lâmpada germicida seja responsável pela degradação de algum componente existente na fibra de vidro do tanque. Para futuras aplicações é sugerido a mudança no método de irradiação, fazendo com que não haja incidência direta com o tanque ou mudança no material de construção do mesmo.

CONCLUSÃO

A água de reuso tem condições de aplicação para descargas sanitárias, porém o aspecto de cor e sólidos sedimentáveis é problemática para aceitação pelos usuários. Aqui é novamente considerada a continuidade das pesquisas com sistema de tratamento UASB/WCFSS/UV_{185nm}/O₃/UV_{254nm}. A redução de cor é um dos pontos a ser aprimorado, bem como maior controle dos STD.

A sustentabilidade do sistema terá que ser avaliada, pois a logística reversa para lâmpadas traz maior possibilidade de o sistema fotoquímica reduzir o impacto ambiental para aplicação. Se luz solar é possível para o tratamento, deve ser considerado também sua limitação para dias inadequados e proteção residual. Assim o sistema fotoquímico artificial é importante como sistema alternativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BABLON, G., et al. Aquacultural Engineering 28 21_/36 1991. Fundamental aspects. In: Langlais, B., Reckhow, D.A., Brink, D.R. (Eds.), Ozone in Water Treatment: Application and Engineering. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, pp. 11_/132., 2003.
2. BLANCHETON, J.P., CANAGUIER, B. Bacteria and particulate materials in recirculating seabass (*Dicentrarchus labrax*) production system. Aquaculture 133, 215–224, 1995.
3. BOLTON JR, COTTON CA. The ultraviolet disinfection handbook. 1st ed. Denver: American Water Works Association (AWWA); 2008.
4. BRAZIL, B.L., Impact of ozonation on system performance and growth characteristics of hybrid striped bass (*Morone chrysops* XM. *saxatilis*) and tilapia hybrids (*Sarotherodon* sp.) reared in recirculating aquaculture systems. Ph.D.Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 1996..

5. CASSANO AE, MARTIN CA, BRANDI RJ, ALFANO OM. Photoreactor analysis and design: fundamentals and applications. *Ind Eng Chem Res*;34:2155–201, 1995.
6. CHIU K, LYN DA, BLATCHLEY ER. Integrated UV disinfection model based on particle tracking. *J Environ Eng*;7–16,1999
7. CHRISTENSEN, J.M., RUSCH, K.A., MALONE, R.E.,. Development of a model for describing accumulation of color and subsequent destruction by ozone in a freshwater recirculating aquaculture system. *Journal of World Aquaculture Society* 31, 167–174,2000.
8. HIJNEN WAW, BEERONDONK EF, MEDENA G.J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. *Water Res*;40(1):3–22, 2006.
9. KRUMINS, K., EBELING, J.M., WHEATON, F., Part-day ozonation for nitrogen and organic carbon control in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 24, 231–241, 2001A.
10. KRUMINS, K., EBELING, J.M., WHEATON, F., Ozone's effects on power-law particle size distribution in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 25, 13–24, 2001B..
11. LILTVED, H., Ozonation and UV-irradiation. In: Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., 2002.
12. SUMMERFELT, S.T., VINCI, B.J. (EDS.), *Recirculating Aquaculture Systems*, NRAC Publication No. 01-002. 2nd ed. Cayuga Aqua Ventures, NY, pp. 393–425.
13. OPPENHEIMER, J.A., MONTGOMERY, W., PASADENA, C.A., HOAGLAND, J.E., LAINE, J.M., JACANGELO, J.G., BHAMRAH, A. Microbial inactivation and characterisation of toxicity and by products occurring in reclaimed wastewater disinfected with UV radiation. *Alit Water Environ. Fed. Plan. Des, Operations of effluent Disinfection Syst. Whippany, NJ*, 23±25 May, p. 13, 1993.
14. OWSLEY, D.E., Ozone for disinfecting hatchery rearing water. In: Colt, J., White, R.J. (Eds.), *Proceedings of the American Fisheries Society Symposium*, vol. 10. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp. 417–420,. 1991.
15. RAKELMANN, U.V., HILGE, V. Influence of anodic oxidation on selected parameters in recycled fish culture waters. *Aquacult. Eng.* 2, 81–92, 1983.
16. SUMMERFELT, S.T. Ozonation andUVirradiation—an introduction and examples of current applications. *Aquacult. Eng.* 28, 21–36, 2003.
17. SUMMERFELT, S.T., HOCHHEIMER, J.N., Review of ozone processes and applications as an oxidizing agent in aquaculture. *Prog. Fish Cult.* 59, 94–105, 1997.