

I-242 - COMPARAÇÃO DO USO DE DIÓXIDO DE CLORO EM RELAÇÃO AO OZÔNIO COMO PRÉ-OXIDANTE EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS EM ARAUCÁRIA – PR

Ronald Gervasoni⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tuiuti do Paraná. Mestre pelo Programa Internacional de Mestrado Profissional Meio Ambiente Urbano e Industrial da UFPR/SENAI/Universitat Stuttgart. Engenheiro de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.

Antônio Cavalcante de Souza Júnior

Filosofo pela Faculdade Padre João Bagozzi, pós graduado em Filosofia Clínica pelo Itecne, Instituto Tecnológico de Curitiba. Técnico em Química Industrial de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR.

André Luiz de Faria

Funcionário da Sanepar desde 1978, licenciado em Química, Físico e Matemático pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Arapongas, 1984. Químico/Analista na Gerência de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná-SANEPAR.

Alexandre Moreno Lisboa

Técnico Mecânico pelo C.T.I Colégio Técnico Industrial, Araucária – PR. Atua na Gerência de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR.

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151 - Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777-7311 - e-mail: ronaldg@sanepar.com.br

(2): Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151 - Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777-7331 - e-mail: antoniocsj@sanepar.com.br

(3): Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151 - Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777-7293 - e-mail: andrelf@sanepar.com.br

(4): Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151 - Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3777-7285 - e-mail: amlisboa@sanepar.com.br

RESUMO

A aplicação de dióxido de cloro (ClO_2) comumente utilizado por companhias de saneamento, apresentam benefícios já reportados em literatura em relação aos demais oxidantes tais como o cloro gasoso, não formando como subprodutos de oxidação os trihalometanos (THMs), no entanto seu preparo no local e logística aplicada no transportes dos reagentes para a sua produção trazem grande desafio para sistemas de médio e pequeno porte e isolados. Para a produção de uma água industrial a partir de um sistema convencional de tratamento, tendo como sua água bruta uma fonte de menor qualidade e com alguns poluentes aumentam exponencialmente este desafio citado anteriormente trazendo desafios para os operadores e técnicos, entretanto este presente estudo de caso se propõe estudar a substituição do ClO_2 por ozônio (O_3), avaliar suas potencialidades e expor os desafios do uso desta técnica a fim de disseminar a aplicação de O_3 nas companhias de saneamento. Como síntese o atual trabalho teve um resultado positivo em relação à remoção de alguns compostos para este trabalho como remoção de DQO, fósforo, cor aparente e condutividade, porém para parâmetros como surfactante não se obteve uma remoção satisfatória conforme como apresentado na literatura. Houve uma remoção dos parâmetros cloreto acima do reportado em literatura, porém a hipótese precisa ser confirmada em estudos complementares.

PALAVRAS-CHAVE: Dióxido de cloro, Ozônio, Água industrial.

INTRODUÇÃO

A água utilizada para processos industriais requer padrão de qualidade diferente da necessária para o tratamento de água potável. Geralmente as águas naturais captadas nos mananciais possuem uma série de elementos químicos e orgânicos, cujo percentual de composição e proporção estão relacionados com a constituição geológica dos terrenos atravessados nas proximidades de centros industrializados, além das

variações climáticas no decorrer do ano (SANTOS 2013). Essa água bruta captada na ETA possui elevado teor de sólidos totais, metais, matéria orgânica e outros compostos que para removê-los é necessária a utilização de pré-oxidantes.

O ozônio é capaz de reagir com uma numerosa classe de compostos orgânicos, devido principalmente, ao seu elevado potencial de oxidação superior ao de compostos como H_2O_2 e o próprio cloro. Em determinadas condições o ozônio leva à formação de radicais hidroxilas (OH), cujo potencial de oxidação é ainda mais elevado, podendo ser mais efetivo no tratamento de certos compostos recalcitrantes (ALMEIDA E., ASSALIN M. R., ROSA M. A, 2004). Dentre as substâncias químicas ordinárias, somente o flúor possui um potencial de oxidação maior que ele (MAHMOUD A. e FREIRE R. S., 2006). A ozonização envolve dois mecanismos de reação, o ataque direto do ozônio e o ataque através dos radicais $OH\cdot$ formados na decomposição do ozônio (MORAES, 2006).

A aplicação do processo de ozonização se mostra bastante eficiente na oxidação de compostos refratários, na remoção da toxicidade e no aumento da biodegradabilidade do efluente. É capaz de converter compostos de alto peso molecular em ácidos orgânico de reduzida massa molar, além de promover alterações na estrutura química da molécula (ALMEIDA E., ASSALIN M. R. , ROSA M. A. , 2004).

Quando a ozonização é instalada no início da planta de tratamento (pré-ozonização), seu principal objetivo é a oxidação do ferro (Fe) e manganês (Mn) livres, e melhorias no processo de coagulação (RAKNESS, 2005 apud CORAL, 2012). Devido à incapacidade do ozônio de manter residuais no sistema de distribuição pelo fato de ser muito instável e extremamente reativo, ele deve ser utilizado como desinfetante primário e deve receber uma aplicação de um desinfetante secundário, devido à possibilidade de haver contaminação da água tratada ainda dentro da estação de tratamento de água. Nesse caso recomenda-se a utilização de cloro antes da distribuição (ANDRADE, 2010).

As principais variáveis que determinam o efeito do ozônio na oxidação são: a dose, eficiência de transferência da relação gás/líquido, pH, alcalinidade, pressão, tempo de contato e a natureza do material orgânico. Em baixos níveis de pH, a destruição de precursores é bastante eficaz. Já em um pH crítico, o ozônio é menos efetivo (Metcalf & Eddy, 2003).

A decomposição do ozônio em águas naturais é caracterizada por uma rápida diminuição da concentração inicial do mesmo, seguida de uma segunda fase na qual a concentração de ozônio diminui segundo uma cinética de primeira ordem. Dependendo da qualidade do meio em que se encontra, o tempo de meia vida do ozônio varia de alguns segundos até horas. A estabilidade no meio depende de diversos fatores, dentre eles, o pH merece especial atenção, uma vez que os íons hidroxila iniciam o processo de decomposição do ozônio (ALMEIDA E., ASSALIN M. R., ROSA M. A, 2004). De acordo com Vidal (2003), o período de tempo para a vida média do ozônio em água destilada (pH = 7,0 e temperatura de 20°C) variam entre 20 - 30 minutos e 160 minutos, aumentando sua instabilidade em pH básico.

A capacidade de remoção de ferro na água é influenciada pela temperatura da água e pelo tempo de aplicação, sendo que o aumento do tempo de aplicação do ozônio na água promove um aumento no rendimento da reação. Os melhores valores são obtidos quando a temperatura da água é inferior a 25°C e o tempo de contato é de 10 min, situação em que ocorre a saturação da solução, ou seja, não admite mais ozônio dissolvido nesta solução (NETO, et. al, 2010).

Embora alguns estudos mostrem que os processos de ozonização também podem promover certa redução na demanda química de oxigênio (DQO) e no teor de carbono orgânico total (COT), geralmente os níveis de redução de matéria orgânica são menores que os obtidos com outros POAs (Processos avançados de oxidação) ou necessitam de um dispêndio maior de reagentes e/ou energia, tornando-os desfavoráveis do ponto de vista econômico com relação a esses parâmetros (MAHMOUD A. e FREIRE R. S., 2006).

OBJETIVO

Comparar por meio de análises físico-químico o uso de ozônio em relação ao dióxido de cloro como pré-oxidante em uma estação de tratamento de água para fins industriais em Araucária – PR.

METODOLOGIA

O método utilizado no estudo para produção de ozônio é a técnica de plasma frio, que consiste em passar o oxigênio através de um campo elétrico gerado por um eletrodo de média tensão (diferença de potencial de 10 a 20 kV) e um eletrodo de massa, gerando diversas espécies químicas excitadas. Foram realizadas análises de Ferro, Manganês, Alumínio, pH, Cor, Turbidez, Cloreto, Condutividade, ABS, OD, DQO, Alcalinidade, Fosfato, UV 254 e Dureza. Para a realização das análises físico-químicas foi utilizado o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

A avaliação da aplicação dos oxidantes foi realizada em dois formatos, em um momento foi aplicado o oxidante, efetuado jar-test e realizado as análises físico-químicas e em outro foi apenas aplicado o oxidante e efetuado as análises físico-químicas.

Segue abaixo o fluxograma do processo de oxidação por ozônio (Figura 1):

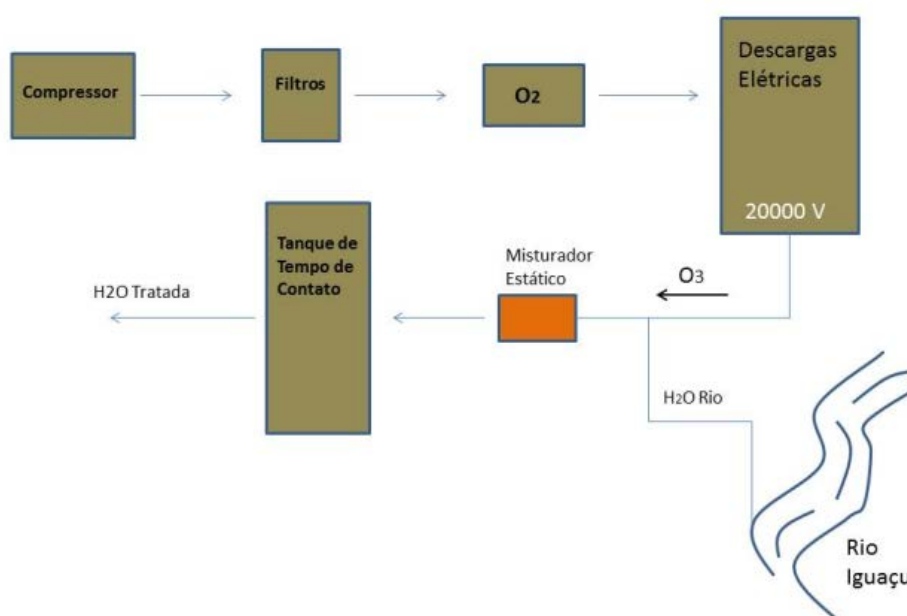


Figura 1 – Fluxograma do processo de ozonização.

O sistema de aplicação de ozônio utilizado neste experimento foi montado numa base tipo “skid”, podendo ser transportado para aplicação em diferentes aplicações em campo em qualquer unidade produtora da referida companhia de saneamento. O “skid” de ozonização contém: o compressor para a coleta de ar atmosférico, secador para a remoção de humidade do ar, filtro para materiais particulados, peneira molecular para remoção de nitrogênio, tanque de armazenamento de oxigênio purificado com 95% de pureza para alimentação de O₂ no gerador de ozônio, três sistemas de geração de O₃ com capacidade de 90 g/h, totalizando 270 g/h, todo este processo está exemplificado na Figura 1 acima apresentada.

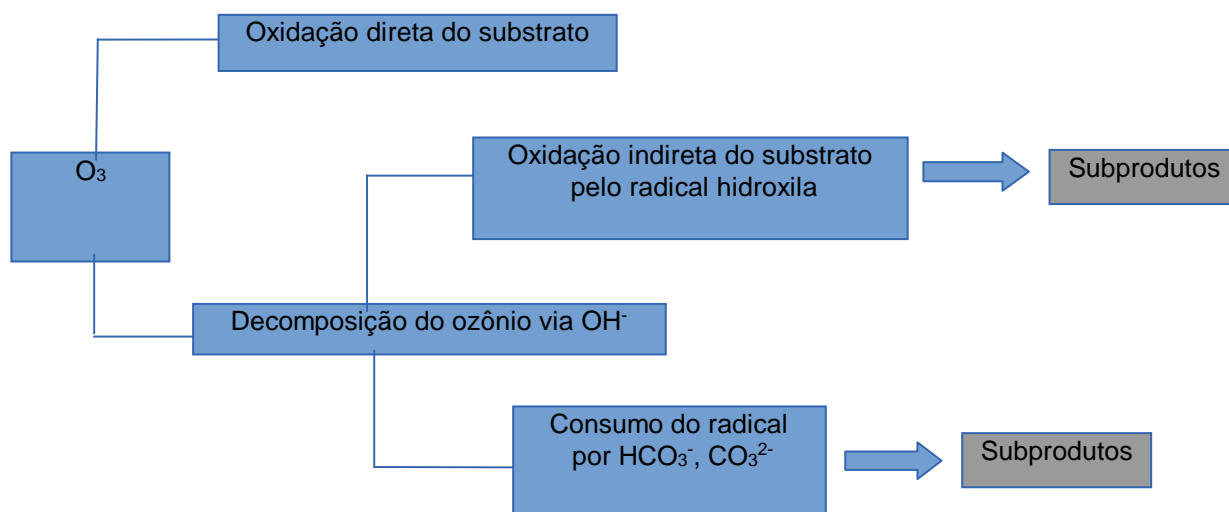
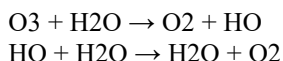
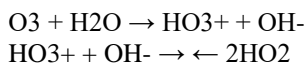


Figura 2 - Reações de oxidação de compostos durante o processo de ozonização.

Fonte: Adaptado USEPA (1999) citado por NUVOLARI, TELLES, RIBEIRO, et al., 2003

Geração de Ozônio

Como o ozônio não pode ser armazenado nem transportado, já que seu tempo de vida é muito curto, ele deve ser gerado no próprio local onde será utilizado mediante um processo, relativamente caro, que envolve cargas elétricas (20000 volts) em ar seco (BAIRD, 2002). O campo elétrico aplicado fornece suficiente energia aos elétrons, para que estes rompam as duplas ligações da molécula de O_2 , gerando átomos de oxigênio atômico. Esses átomos reagem com outra molécula de O_2 para formarem as moléculas de O_3 (MACÊDO, 2004). Em pH 7, acredita-se que o ozônio se decompõe conforme as equações a seguir.



Ozônio no tratamento de água para remoção de poluentes

De acordo com Vidal (2003), o ozônio é um eficiente oxidante para espécies inorgânicas reduzidas como o Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-} , NH_3 , NO^{2-} e CN^- . A presença de compostos contendo ferro e manganês pode resultar em coloração e favorecer o crescimento de bactérias nas águas. Estes compostos podem ser oxidados mais rapidamente por meio da ozonização do que por outros métodos de tratamento.

Na eliminação de compostos naturais que dão odor e sabor à água, como a geosmina e o 2-metilisoborneol (MIB), o ozônio também se mostra eficiente. De acordo com Vidal (2003), o método de eliminação mais eficaz é a combinação da ozonização e a filtração em leito de carvão ativado.

Outro fator que tem comprometido a qualidade das águas em mananciais de abastecimento é a floração de cianobactérias, comprometendo significativamente a qualidade da água após o seu tratamento (CORAL, 2012), sendo que a remoção das cianobactérias tem sido um grande desafio aos gestores de sistemas de tratamento atuais.

Segundo Coral (2012) os processos convencionais de tratamento de água permitem a remoção de algas, incluindo as cianobactérias. Há o risco de acumulação de cianobactérias na unidade de sedimentação e filtração, por este motivo para águas que possuam esta característica se indica a utilização de unidade de flotação, a fim de evitar que a toxina intracelular seja liberada em etapas subsequentes do tratamento.

A adoção de processos oxidativo tendo o cloro e seus derivados como agente oxidativo, e o ozônio em um estágio de tratamento preliminar, têm apresentado uma elevada eficiência na degradação de diferentes toxinas (CORAL, 2012). Na eliminação ou inativação de bactérias, vírus e protozoários, o ozônio é o agente mais eficiente. Sua única limitação refere-se ao fato de ser instável em água, e não formar um residual desinfetante na rede de distribuição, sendo necessária a utilização de outro agente desinfetante como o cloro para suprir essa necessidade (VIDAL, 2003).

Assim como qualquer outro desinfetante e oxidante, a aplicação do ozônio na água pode gerar a formação de subprodutos, em especial na presença de compostos halogenados, como o brometo, que pode haver a formação de trihalometanos bromados (VIDAL, 2003). Segundo estudos a utilização da ozonização em águas residuárias, efluentes domésticos, apresenta pequena viabilidade econômica, devido ao alto teor de sólidos em suspensão, elevada demanda bioquímica e química de oxigênio e altos teores de carbono orgânico total (USEPA, 1999).

O quadro a seguir reúne as principais vantagens e desvantagens do uso da ozonização para tratamento da água, efluentes e saúde ocupacional.

Vantagens	Desvantagens
O ozônio é mais eficaz que o cloro na destruição de vírus e bactérias.	Baixas dosagens podem não ser eficientes na inativação de alguns vírus, esporos e cistos.
O processo de ozonização requer menor tempo de contato (aproximadamente 10 a 30 minutos).	A ozonização é uma tecnologia mais complexa que a cloração ou a desinfecção por ultravioleta (UV), requerendo equipamentos complicados e eficientes sistemas de contato.
Não há residuais perigosos que precisem ser removidos após a ozonização porque o ozônio se decompõe rapidamente.	O ozônio é mais reativo e corrosivo, e por isso requer materiais resistentes à corrosão como aço inoxidável.
Após a ozonização, não há o novo crescimento de microrganismos, exceto por aqueles que foram protegidos pelos particulados contidos na água.	A ozonização não é econômica para efluentes com altos níveis de sólidos suspensos (SS), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), ou carbono orgânico total.
O ozônio é gerado no local, e por isso há menos problemas de segurança associados ao transporte e manuseio.	O ozônio é extremamente irritante e tóxico, para tanto o gás não utilizado no processo deve ser destruído para prevenir a exposição dos trabalhadores. É necessário um dispositivo para exaustão do ozônio do reator para prevenir a toxicidade.
O ozônio eleva o oxigênio dissolvido (OD). No tratamento de efluentes, a elevação do OD elimina a necessidade de reaeração e também eleva o nível de OD no corpo receptor.	O custo do tratamento pode ser relativamente alto em capital e intensidade de energia.

Fonte: adaptado de USEPA (1999).

RESULTADOS OBTIDOS

Os dados compilados durante a execução dos ensaios foram ilustrados nas tabelas e nos gráficos abaixo e a análise dos resultados será discutida na próxima seção.

PARÂMETROS	RESULTADOS O ₃	RESULTADOS ClO ₂	RESULT IN NATURA
Ferro	0,05	0,01	2,43
Manganês	0,169	0,128	0,253
Alumínio	0,026	0,025	0,047
pH	7,07	6,6	6,96
Cor	12	51	445
Turbidez	0,68	0,91	45,1
Cloreto	76,58	76,82	47,98
Condutividade	591	641	543
Dureza	72	72	72
ABS	2,42	2,09	3,7
OD	6,07	4,21	1,37
DQO	33	135	50
UV 254	76,60%	80,30%	24,70%
Fósforo	0,03542	0,0483	1,8354
Alcalinidade	132,6	126,4	160
Fosfato	0,11	0,15	5,7

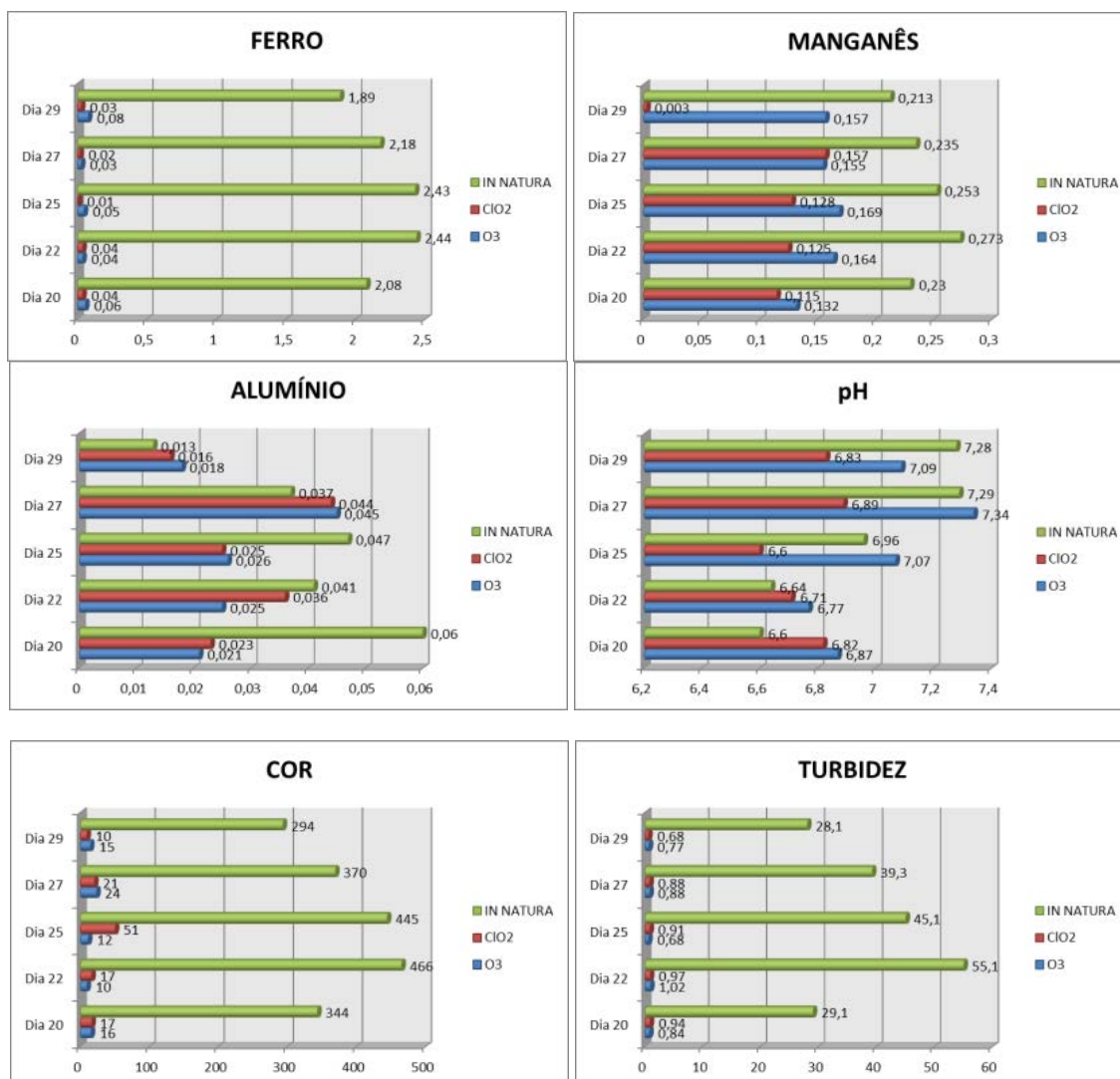
Tabela comparativa 1.

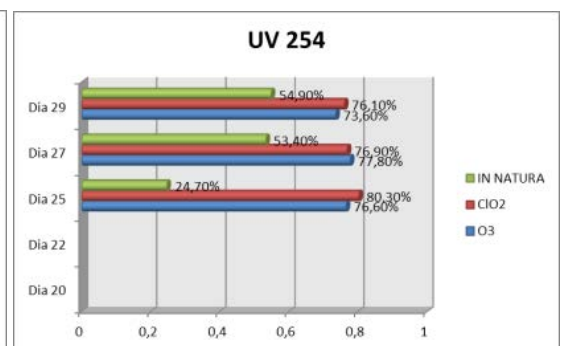
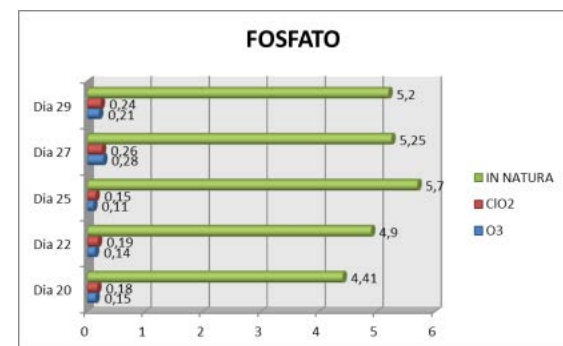
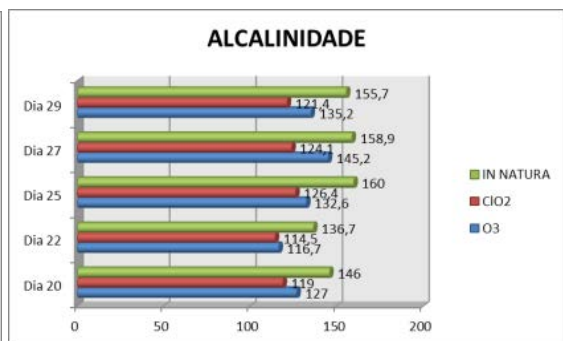
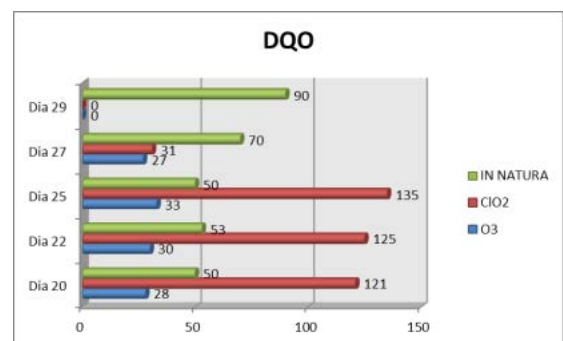
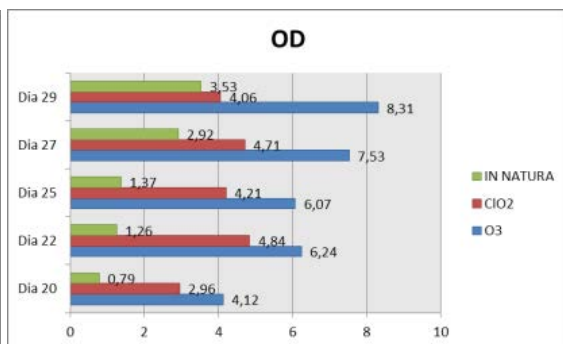
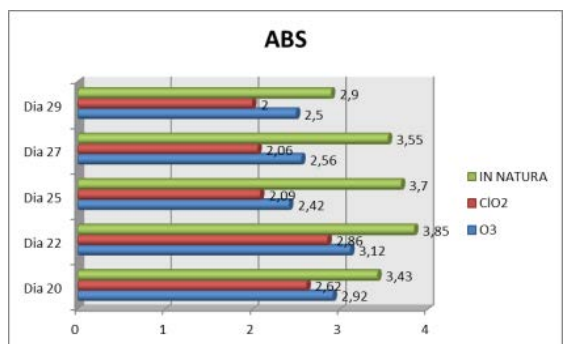
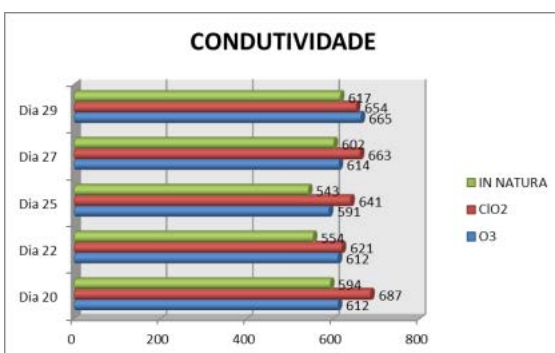
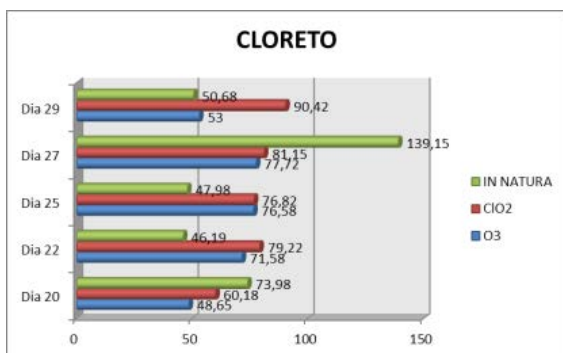
PARÂMETROS	RESULTADOS O ₃	RESULTADOS ClO ₂	RESULT IN NATURA
Ferro	0,03	0,02	2,18
Manganês	0,155	0,157	0,235
Alumínio	0,045	0,044	0,037
pH	7,34	6,89	7,29
Cor	24	21	27
Turbidez	0,88	0,88	1,32
Cloreto	77,72	81,15	139,15
Condutividade	614	663	628
Dureza	77	77	77
ABS	0,51	0,46	0,55
OD	7,53	4,71	2,92
DQO	27	31	70
UV 254	77,80%	76,90%	53,40%
Fósforo	0,09016	0,08372	1,6905
Alcalinidade	145,2	124,1	128,9
Fosfato	0,28	0,26	5,25

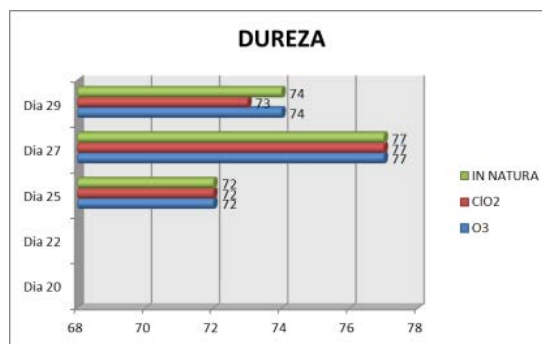
Tabela comparativa 2.

PARÂMETROS	O ₃	ClO ₂	IN NATURA
Ferro	0,08	0,03	1,89
Manganês	0,157	0,003	0,213
Alumínio	0,018	0,016	0,013
pH	7,09	6,83	7,28
Cor	15	10	294
Turbidez	0,77	0,68	28,1
Cloreto	53,1341	90,4229	50,6848
Condutividade	665	654	617
Dureza	74	73	74
ABS	2,5	2,00	2,9
OD	8,31	4,06	3,53
DQO	0	0	90
UV 254	73,60%	76,10%	54,90%
Fósforo	0,06762	0,07728	1,6744
Alcalinidade	135,2	121,4	155,7
Fosfato	0,21	0,24	5,2

Tabela comparativa 3.







ANÁLISES DE RESULTADOS

- ✓ A aplicação de O₃ reduz significativamente o parâmetro Cloreto em comparação com o ClO₂ devido sua ionização. Houve em algumas amostras um menor desempenho podendo ser considerado pela ineficiência de dosagem do processo, porém com mais análises fica mais fácil considerar essa variável.
- ✓ O Fosfato foi quase todo oxidado quando aplicado O₃.
- ✓ Para a remoção de Ferro e Manganês o ClO₂ foi mais eficiente que o O₃.
- ✓ Em relação ao Alumínio e o UV254 os resultados até o presente momento ainda são inconclusivos, estamos efetuando mais testes para uma melhor avaliação.
- ✓ O pH com a aplicação de O₃ fica mais próximo do pH da In Natura do que com a aplicação do ClO₂.
- ✓ O parâmetro de Turbidez está relacionado com a dosagem de coagulante PAC aplicado no Jar Test. Tendo em vista que o manancial sofre alterações constantes devido às intempéries, temperatura e despejos, não é possível efetuar até o momento uma análise conclusiva requerendo mais testes.
- ✓ A condutividade com a adição de O₃ não sofre tanta alteração em relação a In Natura; O OH⁻ e o O₂ podem por conta da reatividade alterar a condutividade tendo em vista a ligação com outros elementos, no entanto a variação foi quase imperceptível.
- ✓ O O₃ não é tão eficiente quanto o ClO₂ para diminuir o ABS. De acordo com a literatura ele precisaria de dias de contato para consumir parte deste parâmetro.
- ✓ O OD com a aplicação de O₃ aumenta significativamente em todas as amostras.
- ✓ A DQO reduz substancialmente com a aplicação do O₃ e com o ClO₂ aumenta em torno de 2,5 vezes em relação a In Natura; Como consequência do aumento de OD a DQO reduziu de forma substancial.
- ✓ O parâmetro de alcalinidade reduz com a aplicação do ClO₂.
- ✓ Não houve alteração do parâmetro dureza com qualquer uma das aplicações.

CONCLUSÕES

O parâmetro cloreto, que é crítico no atendimento dos nossos clientes industriais, apresentou um resultado extremamente positivo tendo em vista a sua redução no produto final, pois parte do cloreto é proveniente do dióxido de cloro, devido a reação para a obtenção do ClO₂ utilizar o HCl como produto. Cabe destacar que os resultados da DQO, fosfato, cor, pH e condutividade tiveram uma redução significativa quando aplicado o O₃ em relação ao ClO₂.

Neste contexto de avaliação do uso do ozônio versus o dióxido de cloro, podemos inferir que o ozônio pode ser uma alternativa em relação a substituição do dióxido de cloro, porém deve-se continuar avaliando a dosagem, concentração e tempo de contato.

O espectro de reação do ozônio em alguns parâmetros críticos para atendimento dos contratos vigentes nesta ETA Industrial foi alcançado. Os demais parâmetros que não tiveram a reatividade esperada devem ser reavaliados, a partir da verificação da integridade do sistema de produção de O₂ e de O₃ de modo a diminuir as incertezas para corroborar as expectativas propostas pela literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. Química Nova, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/94136/1/2-s2.0-30744469890.pdf>>.
2. ANDRADE, R. C. Aplicação do dióxido de cloro no tratamento de água para consumo humano: desinfecção para controle de oocistos de cryptosporidium sp., formação de subprodutos e manutenção de residuais desinfetantes em sistemas de retribuição. Minas Gerais: UFV, 2010. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3734/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>
3. ARAÚJO, A. P. et. al. Tratamento de água com ozônio. UNICAMP: Ciências do Ambiente, 2012. Disponível em: <http://www.ib.unicamp.br/site/dep_biologia_animal/sites/www.ib.unicamp.br/site/dep_biologia_animal/files/4.%20TRATAMENTO%20DE%20C3%81GUA%20COM%20OZ%20C3%94NIO.pdf>
4. BRITTO, J. M.; RANGEL, M. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. Química Nova, 2008. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufba.br/8080/ri/bitstream/ri/3886/1/a23v31n1.pdf>>.
5. BROOKE, Samuel J. L. The destruction of cyanobacterial toxins with oxidants used in drinking water treatment. Tese de doutorado. University of South Australia, 2009.
6. CORAL, Lucila Adriani. Avaliação da pré-ozonização no controle de cianobactérias e degradação de microcistinas. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.
7. EPA – IRELAND ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Water treatment manual: disinfection. Johnstown Castle, Co. Wexford, Ireland, 2011.
8. MACÊDO, Jorge Antônio Barros. ÁGUAS & ÁGUAS, CRQ-MG. Belo Horizonte, 2004. pág 316
9. MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. Química Nova, 2006. Disponível em: <<http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n1/31-DV05427.pdf>>.
10. METCALF & EDDY. Wastewater engineering treatment and reuse. Ed. McGraw-Hill, 2003. pág. 57
11. MORETTI NETO, M. et. al. Análise da eficiência do ozônio na remoção de ferro na água. São José dos Campos: ITA, 2010. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xviencia/ief-16.pdf>>
12. MORAIS, Anderson de Assis, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2006. Uso de ozônio como pré e pós-tratamento de efluentes da indústria de celulose Kraft branqueada. Viçosa 2006.
13. SANTOS FILHO, N. N.; SANTOS, S. D. A importância do tratamento de água na indústria para um bom aproveitamento no processo industrial. Maceió: 6º Encontro Nacional de Tecnologia Química, 2013. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/entequi/2013/trabalhos/50/50-2381-12810.html>>.
14. SMEWW. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.
15. USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. Washington D.C: USEPA, Office of water, 1999.
16. VIDAL, Francisco Javier Rodríguez. Influencia del tratamiento con ozono em los procesos de potabilización del agua. I Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. Madrid, 2003.