



Processo de Ozonização com Cal Hidratada Utilizado no Tratamento de Águas Residuárias de Suinocultura

Mariana Paiva Batagini Giron¹, Carina Aline Prado², Wagner Ribeiro da Silva Neto³, Helcio José Izário Filho⁴

¹EEL - USP (marianabatagini@usp.br)

²EEL - USP (carinaprado@usp.br)

³EEL - USP (wagner.ribeiro.neto@usp.br)

⁴EEL - USP (helcio@dequi.usp.br)

Resumo

Os dejetos suíños são caracterizados pelo elevado teor de sólidos, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo), substâncias patogênicas, cor e odor. Se não forem corretamente tratados, tornam-se um poderoso poluidor ambiental, podendo acarretar risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente. Neste contexto, um tratamento híbrido físico e químico são métodos eficientes para a sua respectiva degradação ou adequação para tratamentos posteriores. Este trabalho visa um tratamento preliminar à mineralização dos compostos orgânicos de águas residuárias da suinocultura, por meio de processo de ozonização na presença de Cal hidratada utilizada em construção civil. Foram avaliados fatores como quantidade de cal, quantidade de floculante polimérico e tempo reacional, com resultado de 43,7% para redução de COT e 42,9% para DQO. O resíduo sólido obtido com o tratamento, rico em macro nutrientes e com rigor controle microbiológico, podendo ser utilizado como fertilizante.

Palavras-chave: Águas Residuárias de Suinocultura, Processo Oxidativo Avançado, Ozonização, Cal Hidratada.

Área Temática: Águas Residuárias.

Ozonation Process with Hydrated Lime Used in Swine Wastewater Treatment

Abstract

Swine manure is characterized by a high content of suspended solids, organic matter, nutrients (nitrogen and phosphorus), pathogenic substances, color and odor. If not properly treated, they become a powerful environmental polluter and may result in a potential risk to human health and the environment. In this context, a hybrid physical and chemical treatment are efficient methods for their respective degradation or suitability for further treatments. This work aims at a preliminary treatment to the mineralization of the organic compounds of swine wastewater by means of a catalytic ozonation process in the presence of hydrated lime used in civil construction. The following factors were evaluated: amount of lime, amount of polymeric flocculant and reaction time, with a result of 43.7% for TOC reduction and 42.9% for COD. The solid residue obtained with the treatment, rich in macro nutrients and with strict microbiological control, can be used as fertilizer.

Keywords: Swine Wastewater, Advanced Oxidative Process, Ozonation, Hydrated Lime.

Theme Area: Wastewater.



1 Introdução

A suinocultura brasileira passou por diversas mudanças tecnológicas nas últimas décadas, visando o aumento de produtividade e redução dos custos de produção. Em razão de ser concentradora de dejetos em pequenas áreas, gera vultosos volumes de águas residuárias com grande potencial poluidor, pois se trata de efluente rico em sólidos em suspensão e dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio e fósforo, dentre outros), agentes patogênicos, metais pesados e sais diversos, o que tem gerado problemas de manejo, armazenamento, distribuição, tratamento ou disposição no solo. (MAGALHÃES et al., 2006). Esses desejos são comumente utilizados como fertilizante agrícola, e, se não tratados, podem gerar um grande risco de poluição ambiental.

Desta forma é de grande valia o estudo do tratamento em efluentes de suinocultura, sendo necessário recorrer a tecnologias avançadas de tratamento. Os processos avançados de oxidação têm sido extensivamente estudados, devido ao seu potencial oxidativo dos diversos mecanismos, como alternativa ou complemento aos processos convencionais de tratamento de efluentes, uma vez que os radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) gerados são altamente reativos e pouco seletivos, sendo mais efetivos no tratamento de compostos recalcitrantes. Gottschalk et al. (2000), afirmam que, normalmente, em condições ácidas ($\text{pH} \leq 4$) o mecanismo direto (reação de ozonólise) predomina, e acima de $\text{pH} 10$ ele se torna predominantemente indireto (reações radicalares).

No projeto em estudo foram realizados experimentos utilizando a combinação do processo de precipitação com o processo oxidativo avançado, especificamente o ozônio como reagente oxidante na presença da cal hidratada, para obter um efluente tratado com máxima biodegradabilidade e maior eficiência do processo de degradação.

2 Revisão Bibliográfica

A suinocultura é uma atividade pecuária presente em todas as regiões do Brasil e vem crescendo fortemente nas últimas décadas, produto dos investimentos em ampliações e também de uma grande evolução na produtividade das granjas.

Pelos órgãos de fiscalização e proteção ambiental, a suinocultura é apontada como uma atividade de grande potencial poluidor, devido ao elevado número de contaminantes presentes nos seus efluentes, cuja prática combinada ou individual corresponde uma fonte potencial de contaminação e de degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo (OLIVEIRA, 2003). A Tabela 1 apresenta algumas características dos dejetos de suínos.

Tabela 1 - Algumas características dos dejetos de suínos em unidade de crescimento e terminação manejados em fossas de retenção.

Parâmetros	Média	Coeficiente de Variação
pH	6,94	2,45
Sólidos Totais (%)	9,00	27,33
Sólidos Voláteis (%)	75,05	5,86
Nitrogênio Total (%)	0,60	8,33
Fósforo (%)	0,25	28,00
Potássio (%)	0,12	33,33
DBO ₅ (g L ⁻¹)	52,27	22,71
DQO (g L ⁻¹)	98,65	17,32

Fonte: Konzen (1983).

Segundo Konzen (1983), a composição completa dos resíduos de suínos se encontra na fase de crescimento e terminação, quando os animais pesam de 25 a 100 kg.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

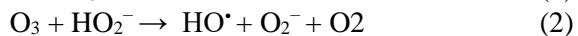
A composição química dos dejetos de suínos é muito variada. Se tratando de águas resíduárias, essa variação é ainda maior, pois depende da forma que os dejetos são manejados e da quantidade de água incorporada a eles.

Pela Legislação Ambiental (Lei 9.605/98 - Lei de Crimes Ambientais. Artigo 2º) o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos causados ao meio ambiente e à saúde dos homens e animais (BRASIL, 1998).

Tratamentos baseados em processos biológicos são comumente utilizados pois permitem a transformação de compostos orgânicos tóxicos em CO_2 e H_2O , nos processos aeróbios, ou CH_4 e CO_2 , nos anaeróbios; com custos relativamente baixos. Entretanto, tratam-se de procedimentos que exigem um longo tempo de operação para que o efluente atinja os padrões exigidos (FERRER et al., 1992).

Dentre os novos métodos desenvolvidos, destacam-se os processos oxidativos avançados com o objetivo de degradar e/ou remediar efluentes industriais (LEGRINI et al., 1993). Estes métodos se fundamentam na oxidação da carga orgânica, principalmente pela geração do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), que possui características fortemente oxidantes

A ozonização é um processo oxidativo, no qual o agente oxidante utilizado é o ozônio (O_3). As vantagens deste tratamento estão no elevado potencial de oxidação, o aumento da concentração de oxigênio dissolvido na água e a alta eficiência quando combinado com demais técnicas; sob outra perspectiva, apresenta moderado custo, alta reatividade e toxicidade, baixa seletividade e ainda alta instabilidade, por isso deve ser gerado “*in situ*” (DEZOTTI, 2008). O ozônio depende sobretudo do pH reacional, pois a decomposição do mesmo é acelerada na presença de íons hidroxila, conforme mostram as Equações 1 e 2 (VON GURTEN, 2003).



A ferramenta de planejamento de experimentos pode ser aplicada em diferentes áreas, desempenhando um importante papel no desenvolvimento de processos e garantindo previsibilidade nos resultados, visando menores custos e maior produtividade (PRADO, 2017).

3 Metodologia

3.1 Local e Animais

Para a realização deste projeto foi utilizado o efluente proveniente do Laboratório de Suinicultura fornecido pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro, campus de Pinheiral-RJ. Os experimentos e as determinações analíticas foram realizados na Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP), no laboratório do LOB (Departamento de e Ciências Básicas e Ambientais) seguindo os protocolos de ensaios vigentes. O Laboratório de Suinocultura tem capacidade para 150 animais, sendo dotada de 30 baías, das quais estão sendo utilizadas apenas 17, cujos dimensionamentos variam de 3 a 30 m^2 .

Os animais foram introduzidos na granja, sendo distribuídos, num total de 17 baías, perfazendo um total de 98 porcos, sendo 35 deles já adultos com média de 63 a 65 kg. São separados por fase: nascimento e amamentação, desmama, crescimento e terminação; alimentados com ração fabricada no próprio instituto de acordo com a fase de crescimento do animal, sendo substituída de acordo com a necessidade.



3.2 Tratamento

As amostras foram coletadas diretamente das canaletas de descarte do Laboratório de Suinocultura, armazenadas em recipientes de plástico e mantidas congeladas em freezer, a fim de minimizar alterações nas características físico-químicas do efluente. Buscou-se sempre condicionar à temperatura ambiente a quantidade suficiente para processar os experimentos possíveis em um dia.

Para o processo de tratamento por meio da ozonização com cal (hidratada) foi utilizado solução de polímero floculante (aniônico) a 0,1 % m/v e cal hidratada comercial utilizada para construção civil a 10 % m/v.

Para a formação do ozônio, utilizou-se o ar atmosférico como fonte de O₂ para o ozonizador, através de um compressor de ar, visando reduzir o custo do processo, e usando a mesma potência de 86 W no ozonizador, formando aproximadamente 0,40 g O₃ min⁻¹. A vazão de ar atmosférico no compressor foi de aproximadamente 2,0 L min⁻¹ (pressão de 8 kgf/cm²).

A remoção de carga orgânica pelo processo de ozonização catalítica é influenciada por diversos fatores, tais como tempo de tratamento, dose de ozônio aplicada (potência), vazão de oxigênio e pH.

O primeiro planejamento fatorial fracionado 2³⁻¹ foi realizado para o processo de ozonização com cal hidratada utilizando o efluente com pH *in natura*, composto de três fatores em dois níveis, em duplicata. Os fatores avaliados foram concentração de cal (A), volume de floculante (B) e tempo (C) do meio reacional. As concentrações de cal: 2,0 g L⁻¹, 4,0 g L⁻¹ e 6,0 g L⁻¹ para 1 L de efluente. Os volumes de polímero floculante a 0,1 % m/v: 2,0; 3,0 e 4,0mL e os tempos de reação: 30, 45 e 60 min. A Tabelas 2 apresenta as variáveis com os respectivos níveis.

Tabela 2 - Parâmetros e respectivos níveis da matriz experimental para o tratamento de oxidação do efluente de suinocultura.

Fator	Símbologia	Nível		
		Baixo (-)	Central (0)	Alto (+)
Cal (g L ⁻¹)	A	2,0	4,0	6,0
Polímero (mL)	B	2,0	3,0	4,0
Tempo	C	30	45	60

Fonte: Próprio Autor

Após constatar os melhores resultados para a ozonização com cal hidratada, realizou-se novos experimentos a fim de encontrar a melhor concentração de cal para o tratamento do efluente de interesse, utilizando o método da trajetória de máxima inclinação. Neste planejamento foram utilizados o fator A (concentração de cal) nas concentrações de 6,0 g L⁻¹, 8,0 g L⁻¹ e 10,0 g L⁻¹ e os fatores B e C dos experimentos anteriores ajustados no nível baixo: 1,0 mL de Polímero e 30 minutos de reação, respectivamente.

4 Resultados

Na Tabela 3, são apresentados os percentuais de redução do COT e DQO, das condições experimentais no tratamento por ozonização com cal hidratada para o efluente de suinocultura, realizados aleatoriamente. Obteve-se uma variação máxima de 38,7 % para COT, com todos os fatores ajustados no nível alto, e variação máxima de 31,0 % para DQO, com o fator A no nível alto e fatores B e C no nível baixo.



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Tabela 3 - Percentuais de redução de COT e DQO para o tratamento de efluente de suinocultura por ozonização com cal hidratada.

Ensaio	Fator			% Red. COT	% Red. DQO
	A	B	C		
1	1	-1	-1	37,3	31,0
2	-1	1	-1	18,6	17,7
3	1	1	1	23,7	22,6
4	1	-1	-1	31,7	29,5
5	0	0	0	21,4	22,1
6	0	0	0	24,1	25,2
7	1	1	1	26,0	21,6
8	-1	1	-1	19,8	20,9
9	-1	-1	1	23,4	22,4
10	-1	-1	1	24,6	22,4

Fonte: Próprio Autor

A tabela ANOVA é uma ferramenta estatística que analisa a significância dos resultados, sendo capaz de indicar quais fatores são ou não significativos. Para isto, utiliza-se de um teste de hipóteses em que se rejeitam a hipótese nula quando o valor-p for menor que 0,05. As Tabelas 4 e 5 representam a análise de variância para COT e DQO, respectivamente.

Tabela 4 - Análise de variância para a variável resposta de COT para os fatores de concentração de Cal (A), Polímero (B) e Tempo (C).

Fonte	Grau de Liberdade (GL)	Soma dos Quadrados Ajustada	Quadrados Médios (SSQ/GL)	Valor F	Valor-P
Modelo	4	259,91	64,978	13,88	0,006
Linear	3	246,57	82,191	17,55	0,004
A	1	130,41	130,411	27,85	0,003
B	1	104,40	104,401	22,30	0,005
C	1	11,76	11,761	2,51	0,174
Curvatura	1	13,34	13,340	2,85	0,152
Erro	5	23,41	4,682		
Total	9	283,32			

Fonte: Próprio autor.

Tabela 5 - Análise de variância para a variável resposta de DQO para os fatores de concentração de Cal (A), Polímero (B) e Tempo (C).

Fonte	Grau de Liberdade (GL)	Soma dos Quadrados Ajustada	Quadrados Médios (SSQ/GL)	Valor F	Valor-P
Modelo	4	132,774	33,1935	14,37	0,006
Linear	3	132,744	44,2479	19,15	0,004
A	1	56,711	56,7113	24,55	0,004
B	1	63,281	63,2812	27,39	0,003
C	1	12,751	12,7512	5,52	0,066
Curvatura	1	0,030	0,0303	0,01	0,913
Erro	5	11,550	2,3100		
Total	9	144,324			

Fonte: Próprio autor.

A tabela ANOVA indica que os fatores Cal e Polímero são significativos na remoção de DQO e COT no tratamento do efluente de suinocultura. O fator Tempo não apresentou significância, presumivelmente pelos valores dos níveis estarem em regiões otimizadas e não apresentarem acentuadas diferenças. Deste modo, o tempo em nível menor (30 min) foi suficiente para a reação em questão.

Após constatar os melhores resultados para a ozonização, realizou-se novos



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

experiimentos utilizando as seguintes concentrações de cal: 6,0 g L⁻¹, 8,0 g L⁻¹ e 10,0 g L⁻¹ e também 1,0 mL de Polímero em 30 minutos de reação.

Tabela 6 - Percentuais de redução de COT e DQO da trajetória de máxima inclinação para o tratamento de efluente de suinocultura por ozonização com cal hidratada.

Ensaio	Cal (g L ⁻¹)	% Red. COT	% Red. DQO
1	6,0	27,8	25,5
2	8,0	43,7	42,9
3	10,0	42,4	42,0

Fonte: Próprio Autor

Com os resultados da Tabela 6, observa-se que o percentual de redução de COT e DQO, obteve uma variação máxima de 43,7 % para COT e variação máxima de 42,9 % para DQO. Os resultados se mostraram satisfatórios para um pré-tratamento.

Figura 1 - Efluente de suinocultura antes (A), durante (B) e após o tratamento por meio da ozonização com cal hidratada não filtrado (C) e filtrado (D).



Fonte: Próprio Autor

Os parâmetros analisados na caracterização do efluente de suinocultura antes e após o tratamento com ozonização com cal hidratada estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Características físico-químicas do efluente de suinocultura, antes e após o tratamento, com os valores permitidos pelas legislações para descarte.

Parâmetro	In Natura	Tratado	Redução (%)	CETESB	CONAMA
Cor Aparente (mg Pt-Co L ⁻¹)	3751	26,6	99,3	-	-
COT (mg L ⁻¹)	380,1	223,1	41,3	-	-
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	2049	405	80,2	60 ou Remoção de 80%	Remoção de 60%
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	1588	889	44,0	-	-
Ca (mg L ⁻¹)	301,6	140,2	53,5	-	-
N-NH ₃ (mg L ⁻¹)	1,2	0,37	69,2	-	20
N-org (mg L ⁻¹)	293,6	118,5	59,6	-	-
Óleos e Graxas (mg L ⁻¹)	1101	461	58,1	100	70 ^[1]
P (mg L ⁻¹)	163,3	6,27	96,2	-	0,02
Coliformes Totais / 100mL (NMP) ^[3]	>10 ⁸	<3,0	100	-	-
E. Coli / 100mL (NMP) ^[3]	>10 ⁸	<3,0	100	-	-
pH	7,6	11,88	-	5,0-9,0	5,0-9,0
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	6549	1308	80,0	-	-
Sólidos Totais Fixos (mg L ⁻¹)	1898	850	55,2	-	-
Sólidos Totais Voláteis (mg L ⁻¹)	4651	455	90,2	-	-
K (mg L ⁻¹)	303,5	124,5	59,0	-	-
Turbidez (NTU)	5380	31,8	99,4	-	-

(-) parâmetros não listados. [1] soma de óleos vegetais e gordura animal (50 mg L⁻¹) e óleos minerais (20 mg L⁻¹), [2] soma de óleos vegetais e gordura animal (30 mg L⁻¹) e óleos minerais (20 mg L⁻¹), [3] NMP - número mais provável. Fonte: Próprio autor.

Além da remoção da matéria orgânica, é possível notar uma considerável diferença



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

entre a cor aparente e turbidez do efluente *in natura*, comparado com os mesmos fatores do efluente após o tratamento. Os Coliformes Totais e os Termotolerantes (*E. Coli*) apresentaram valores menores que 3,0 NMP em 100 mL, ou seja, uma redução de praticamente 100 %.

O resíduo sólido do tratamento foi filtrado e seco em estufa (Figura 2) e a quantidade de filtrado formado por litro tratado foi de aproximadamente 14,4 g L⁻¹.

Figura 2 - Resíduo sólido do efluente tratado.



Fonte: Próprio Autor

A Tabela 8 apresenta a concentração máxima permitida no fertilizante, segundo a Instrução Normativa 27, de Junho de 2006, que admite os seguintes teores máximos de metais pesados tóxicos em fertilizantes fornecedores de micronutrientes por ponto percentual da somatória de micronutrientes. A caracterização do produto foi realizada via ICP-OES.

Tabela 8 - Caracterização dos elementos metálicos no resíduo seco do efluente de suinocultura após o tratamento.

Parâmetro	Valores Médios	IN 27 / 2006
Alumínio (mg Kg ⁻¹)	1065	-
Arsênio (mg Kg ⁻¹)	<0,005	500,0
Bário (mg Kg ⁻¹)	29,92	-
Boro (mg Kg ⁻¹)	20,27	-
Cádmio (mg Kg ⁻¹)	<0,005	15,0
Cálcio (mg Kg ⁻¹)	222490	-
Chumbo (mg Kg ⁻¹)	<0,005	750,0
Cobalto (mg Kg ⁻¹)	<0,001	-
Cobre (mg Kg ⁻¹)	121,62	-
Cromo total (mg Kg ⁻¹)	7,72	500,0
Estanho (mg Kg ⁻¹)	<0,01	-
Ferro Total (mg Kg ⁻¹)	1475,9	-
Lítio (mg Kg ⁻¹)	1,93	-
Magnésio (mg Kg ⁻¹)	146622	-
Manganês (mg Kg ⁻¹)	175,67	-
Mercúrio (mg Kg ⁻¹)	<0,0001	10,0
Níquel (mg Kg ⁻¹)	<0,005	-
Potássio (mg Kg ⁻¹)	1268,4	-
Prata (mg Kg ⁻¹)	<0,015	-
Sódio (mg Kg ⁻¹)	965,25	-
Zinco (mg Kg ⁻¹)	334,94	-
Fósforo (mg Kg ⁻¹)	9465,3	-

(-) parâmetros não listados; Fonte: Próprio autor.

Para o resíduo sólido, todos os parâmetros analisados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela IN 27/2006, existindo a possibilidade deste ser utilizado como fertilizante. Os Coliformes Totais e os Termotolerantes (*E. Coli*) apresentaram valores menores que 3,0 NMP em 100 mL, ou seja, é um potencial fertilizante que não apresenta riscos biológicos para quem o manipular.



5 Conclusões

Existem tratamentos biológicos para efluentes com características biodegradáveis, como o da suinocultura. Entretanto, para que este seja eficaz, é preciso uma grande área e um longo período de tempo (detenção hidráulica) e vazões controladas. Desta forma, o tratamento com a ozonização se torna iminente e relevante, pois demanda um curto período de tratamento (horas), comparado com os tratamentos biológicos (dias), e uma área também menor.

O planejamento realizado por meio da ozonização com cal hidratada, apresentou resultados significativos na remoção da matéria orgânica do efluente apresentando, para o melhor experimento, remoção de aproximadamente 43 % de COT e DQO. Apesar de ser uma média redução, este deve ser considerado como um pré-tratamento e, posteriormente, pode ser tratado biologicamente ou quimicamente, pois apresentou características favoráveis à biodegradabilidade. Ademais, os processos de ozonização se mostraram eficazes nas remoções da carga orgânica, cor aparente, turbidez, coliformes totais e *E. Coli*.

O filtrado apresenta altos teores de macro nutrientes, isto é, um potencial fertilizante tendo a excelente vantagem de não apresentar riscos biológicos para quem o manipular.

Referências

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Lei de Crimes Ambientais.** Artigo 2. Disponível em: <http://www.mp.pe.gov.br/uploads/w7n4z89ifZPiatL04N29Wg/555YXTcbTq2vKELjmveq2A/Lei_9605-98_Crimes_Ambientais.doc>. Acesso em: 20 nov. 2017.

DEZOTTI, M. C. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos.** Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360 p. (Série Escola Piloto de Engenharia Química, v. 5).
FERRER, I.; ESPOSITO, E.; DURÁN, N. **Enzyme Microb. Technol.** 1992, 14, 402.

GOTTSCHALK, C.; LIBRA, A. J.; SAUPE, A. **Ozonation of water and wastewater,** WILEY-VCH, 2000 p. 189.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos suíños.** Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1983. 32p. (EMBRAPA, CNPSA. Circular Técnica, 6).

LEGRINI, O.; OLIVEROS, E. & BRAUN, A.M. (1993a). **Photochemical process for water treatment.** Chemical Reviews 93, 671-698. ISSN 1520-6890.

MAGALHÃES, M. A. et al. **Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.466-471, 2006. CAMPOS et al., 2005;

OLIVEIRA, P.A.V. **Impacto ambiental causado pela suinocultura.** In: Congresso Internacional de Zootecnia, V. Congresso Nacional de Zootecnia, XII, 2003, Uberaba. Anais. Uberaba – MG, ZOOTEC, p.143-161, 2003.

PRADO, C. A., **Combinação dos processos de precipitação e ozonização no tratamento de efluente da indústria farmacêutica.** 2017. 158p. Qualificação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena 2017.

VON GURTEN, U. **Ozonation of drinking water: part I – Oxidation kinetics and product formation.** Water Research, v.37, p.1443-1467, 2003.