

II-009 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO UV/H₂O₂ NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Lucas Bouffleur Fortunato⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Acadêmico da quinta fase do curso de Ciências Econômicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC.

Maria Ângeles Lobo-Récio

Professora Adjunta da Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora pelo Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, Espanha.

Flávio Rubens Lapolli

Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo.

Maria Eliza Nagel-Hassemer

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Rua Doutor Abel Capela, 481 - Coqueiros – Florianópolis - SC - CEP: 88080-250 - Brasil - Tel: (48) 3206-6997 - e-mail: lucasbfortunato90@gmail.com

RESUMO

O efluente oriundo de aterro sanitário, o lixiviado, é um líquido que possui elevada concentração de matéria orgânica dissolvida, metais pesados, e outros componentes que podem ser tóxicos e nocivos à saúde humana, quando expostos ao contato com o solo e recursos hídricos. Desta forma, torna-se essencial o cuidado no que diz respeito ao isolamento e tratamento desse passivo para reduzir seu potencial poluidor, atendendo valores explicitados em legislação específica a cada classe do recurso hídrico considerado como possível corpo receptor.

Neste panorama, a técnica de processos oxidativos avançados (POA) aparece como alternativa de tratamento de lixiviados, possuindo como diferencial das demais formas de tratamento, a mineralização das substâncias orgânicas, aumentando a biodegradabilidade do efluente.

O presente estudo visa avaliar a eficiência do processo oxidativo avançado UV/H₂O₂ no tratamento de lixiviado, através de estudos de um efluente real coletado na entrada da ETE de um aterro sanitário, e na saída da etapa de tratamento biológico, que é realizada por lodos ativados. Sua aplicação no tratamento de lixiviados é relativamente nova, portanto seu estudo é preponderante para avaliar o seu emprego como alternativa aos processos de tratamento existentes e já difundidos. De acordo com os resultados obtidos, por meio de análises de cor e turbidez do efluente após processo biológico, foi possível verificar elevada eficiência, atingindo-se valores de 99,0 e 78,0 % respectivamente, mostrando a efetividade do processo para a redução desses parâmetros.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado de aterro sanitário, processo oxidativo avançado, radiação UV, peróxido de hidrogênio.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento massivo da indústria, com origem na consolidação do sistema capitalista e cuja característica de consumo exacerbado está fortemente presente, acarretou na produção crescente de resíduos sólidos. A partir deste panorama houve a necessidade de se dar destino a estes resíduos gerados, sendo uma das alternativas encontradas o aterramento, técnica essa que vem sendo aperfeiçoada tendo em vista a poluição gerada sem o controle sobre os impactos provenientes desta atividade, impactos os quais atuam sobre o solo, água e ar.

Desta forma, medidas como a captação e tratamento dos gases e efluentes líquidos gerados, impermeabilização da base do aterro e sistema de drenagem de águas superficiais, foram adicionadas ao sistema do aterro sanitário.

Dos passivos provenientes do funcionamento de um aterro sanitário está o lixiviado, definido como o líquido formado pela decomposição dos resíduos presentes no aterro combinado com a água da chuva que infiltra no aterro. Trata-se de um efluente tóxico, com grande concentração de matéria orgânica, amônia e compostos refratários. Sendo assim, para realizar o despejo do efluente em um corpo receptor, esse precisa ser tratado de modo a não agredir os cursos d'água e estar dentro dos limites exigidos em legislação.

Diversos tipos de tratamento podem ser utilizados, dentre os mais usuais estão os biológicos, porém demonstram não ser eficientes quando utilizados sozinhos, principalmente em aterros com tempo de vida útil avançado, no qual a matéria orgânica é de difícil degradação. Nesse contexto, os processos oxidativos avançados (POA) surgem como opção de tratamento ou ainda como complemento aos tratamentos existentes.

Os POA são caracterizados pela geração de radicais oxidantes altamente reativos em solução aquosa, em particular o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$), a partir da combinação de diferentes oxidantes químicos com uma fonte de irradiação. Os radicais hidroxila atacam a maioria das moléculas orgânicas, por apresentarem baixa seletividade. A grande vantagem desses processos reside no fato de ser um tipo de tratamento destrutivo, ou seja, o contaminante não é simplesmente transferido de fase, mas sim, degradado através de uma série de reações químicas (BENITEZ et al., 2002; LAFI et al., 2006).

No processo $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ os radicais hidroxila são formados pela fotólise do peróxido de hidrogênio. A associação de peróxido de hidrogênio e radiação ultravioleta (UV) tem sido amplamente estudada e aplicada no tratamento e purificação de águas de abastecimento e de águas residuárias, permitindo a degradação de uma série de contaminantes. Em comparação com outros POA, tais como Fenton, Ozônio, UV/O_3 , UV/TiO_2 , a fotólise do peróxido de hidrogênio apresenta algumas vantagens como a completa miscibilidade com a água, estabilidade e disponibilidade comercial. Além disso, o peróxido de hidrogênio não apresenta problemas de transferência de fase e os custos de investimento são baixos. A inserção desse processo no setor industrial se justifica pela potencial aplicação em processos integrados, para promoção da biodegradabilidade dos efluentes ou como métodos de refinação final com vista à reutilização da água (MOURÃO et al., 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

As análises experimentais foram realizadas no Laboratório de Reuso de Águas (LaRA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, em escala de bancada. Utilizaram-se amostras de lixiviado de aterro sanitário de dois pontos distintos, sendo o primeiro na entrada da unidade de tratamento biológico, ou seja, lixiviado bruto sem qualquer tratamento, oriundo diretamente do aterro, e o outro ponto localizado na saída da unidade de tratamento biológico (sistema de lodos ativados), porém não ao final da ETE, uma vez que após o tratamento biológico existe uma etapa complementar de tratamento físico-químico.

As amostras coletadas e utilizadas para a realização dos ensaios tiveram como origem o aterro sanitário do município de Joinville no estado de Santa Catarina. O município possui 515.288 habitantes (IBGE, 2010), e o aterro em estudo recebe resíduo apenas de ordem doméstica.

Os ensaios de degradação fotoquímica foram realizados em reator UV de bancada, com volume útil de 1,2 L e fonte de radiação policromática UV/Visível assegurada por uma lâmpada de vapor de mercúrio de média pressão, com potência de 125 watts. O sistema apresentava um agitador magnético que tinha função de homogeneizar a amostra dentro do reator, evitando a deposição de sólidos no fundo permitindo tratamento por igual do lixiviado ao longo de todo reator.

O reator era constituído por parede dupla de vidro para propiciar a recirculação de água, sendo importante para evitar o aquecimento da lâmpada. O sistema de refrigeração consistia em um banho termostático com bomba de recirculação, o qual permitia manter a temperatura no interior do reator a 20 ± 1 °C. O tempo de irradiação UV nos ensaios foi estabelecido em uma hora. O tempo de experimento foi baseado em metodologias de trabalhos realizados por Primo et al (2008) e por Nagel-Hassemer et al. (2012).

A Figura 1 apresenta um esquema ilustrando os componentes do reator, explicitando a função de cada conexão e aparato técnico empregado.

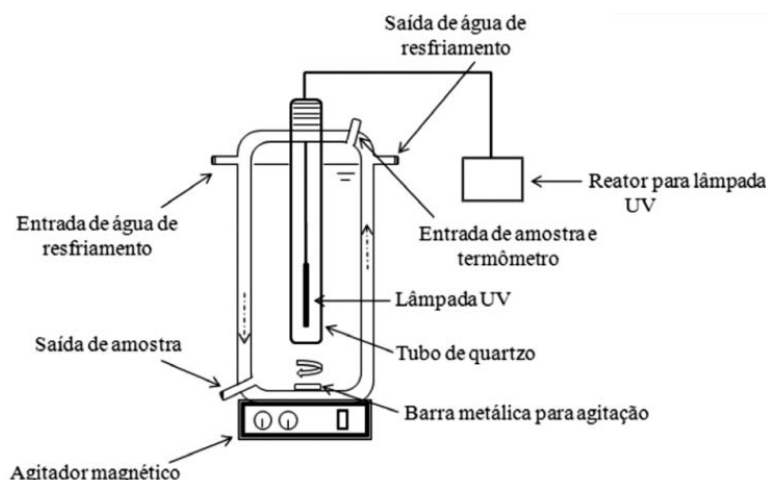


Figura 1: Esquema dos componentes do reator fotoquímico (NAGEL-HASSEMER et al., 2012)

Procedimentos Experimentais

Inicialmente estabeleceram-se as concentrações de peróxido de hidrogênio que seriam utilizadas nos ensaios de acordo com pesquisas bibliográficas, adotando-se as utilizadas no trabalho de Naumczyk et al. (2012). Porém, devido ao fato da região de Joinville ter passado por um longo período chuvoso precedente à coleta, foram estabelecidas três diferentes concentrações, um pouco abaixo das encontradas nesta literatura: 500, 1000 e de 2000 mgH₂O₂/L. Para o efluente bruto não foi realizado ensaios com 500 mg/L de oxidante.

Os ensaios fotoquímicos foram realizados em duplicata, e as médias dos valores encontrados dos parâmetros analisados foram utilizadas para análise e discussão dos resultados. Foram analisados os parâmetros condutividade, cor aparente e verdadeira, COT, pH, sólidos suspensos totais (SST) e turbidez. Com intuito de permitir a estabilização da lâmpada UV, esperou-se cinco minutos após a lâmpada ser ligada, e então o cronômetro foi ativado. Amostras foram coletadas nos tempos 5, 10, 15, 45 e 60 minutos de experimento.

Análises Realizadas e Métodos Analíticos

- As medidas de pH foram realizadas pelo método potenciométrico, através de leitura em pHmetro portátil Qualxtron QX110.
- A condutividade foi realizada pelo método da eletrometria, medida em condutivímetro portátil da ORION.
- Os valores de COT foram quantificados por meio de leitura instrumental em aparelho TOC-5000A, como NPOC (Carbono Orgânico não Purgável) que converte carbonatos inorgânicos a CO₂ com ácido, removendo-os através de borbulhamento antes da injeção da amostra no equipamento.
- Os SST foram determinados pelo método gravimétrico.
- A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico (NTU) em turbidímetro de bancada da HACH, com limite de quantificação de 0,1 e resolução de 0,01 NTU na faixa mais baixa.
- A cor foi realizada através de espectrofotômetro, HACH, no comprimento de onda 465nm.
- Os compostos aromáticos foram avaliados espectrofotometricamente, utilizando espectrofotômetro VARIAN, modelo Cary 1E – UV/Visible, e cubetas de quartzo de 1 cm na faixa UV (254 nm).
- A temperatura foi medida através de um termômetro inserido diretamente nas amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização do efluente do aterro sanitário foi realizada parte através de dados obtidos junto à empresa que opera o aterro, parte por análises laboratoriais realizadas no LaRA/UFSC. Como citado anteriormente, o sistema de tratamento biológico utilizado no aterro sanitário é do tipo lodos ativados. As amostras de efluente bruto foram coletadas antes do processo biológico e as amostras pós-biológico, foram coletadas

posteriormente ao sistema de lodos ativados. A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização dos efluentes realizados pela empresa, já na Tabela 2 estão os dados que foram obtidos pelas análises realizadas no LaRA.

Tabela 1: Dados de caracterização dos efluentes disponibilizados pela empresa que opera o aterro

Parâmetros	Unidades	Bruto	Pós-biológico
DBO	mg/L	554	165
DQO	mg/L	1276	384
N amoniacal	mg/L	889,8	0,3

Tabela 2: Dados de caracterização dos efluentes realizados no LaRA

Parâmetros	Unidades	Bruto	Pós-biológico
pH	-	7,35	7,33
Temperatura	°C	27,25	28,33
Condutividade	μS	8,87	6,2
Turbidez	NTU	33,15	17,77
UV 254 nm	-	6,42	3,38
COT	mg/L	354,80	185,80
SST	mg/L	90,00	10,00
Cor Aparente	Pt Co	2205,08	1096,76
Cor Verdadeira	Pt Co	1301,08	1071,85

Conforme os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 observa-se a eficiência do tratamento biológico na redução de frações orgânicas tais como DQO, DBO e do nitrogênio amoniacal, mas também a baixa eficiência na remoção da cor, mostrando a necessidade de um tratamento complementar.

As amostras dos efluentes bruto e pós-biológico foram submetidas ao processo oxidativo UV/H₂O₂ nas diferentes concentrações de oxidante para análise dos resultados. Análises de turbidez foram realizadas e os resultados são mostrados na Figura 2. A elevada turbidez do efluente pode ser condição restritiva para os processos fotoquímicos, reduzindo a capacidade de penetração da luz no efluente e inibindo a produção de radicais •OH, o que, por consequência, prejudica o processo de descoloração conforme observado por Tang e Chen (2004). Pode ser observado pelos resultados que houve considerável remoção da turbidez, sobretudo após os primeiros quinze minutos de ensaio para ambos efluentes.

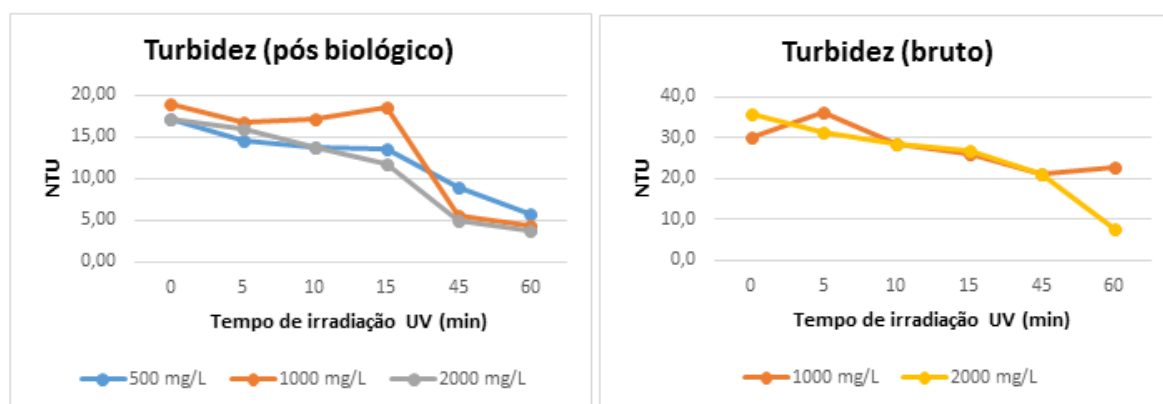


Figura 2: Evolução da turbidez dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂

As eficiências alcançadas para as amostras do efluente pós-biológico após 60 min de tratamento foram de 66,02%, 76,87%, e 78,25% para as concentrações de 500, 1000 e 2000 mg/L de peróxido de hidrogênio respectivamente, demonstrando que o aumento na remoção da turbidez acompanhou o acréscimo da concentração de peróxido. De forma análoga se deu o comportamento da turbidez para as amostras de efluente bruto, porém de forma ainda mais evidente, quando observada a diferença da eficiência de remoção para a concentração de 2000 mg/L (eficiência de 79,14 %), e para 1000 mg/L de peróxido de hidrogênio (24,79%).

A descoloração pode ser explicada pela capacidade do processo fotoquímico em quebrar as duplas ligações dos compostos orgânicos, fazendo com que as moléculas percam a habilidade de absorver luz na região do Visível (NAGEL-HASSEMER et al., 2012). A Figura 3 mostra o comportamento da cor aparente após 60 min de tratamento das amostras analisadas.

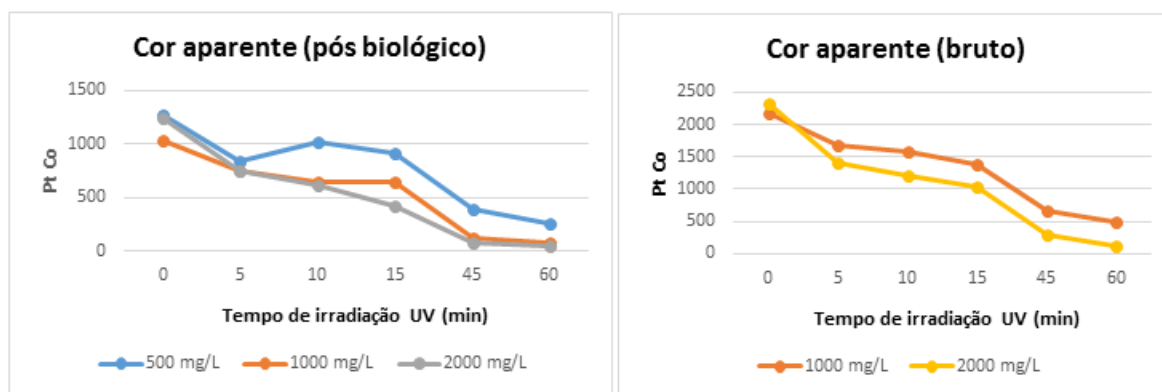


Figura 3: Evolução da cor aparente dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂

Os resultados alcançaram grandes eficiências de remoção nas concentrações analisadas após 60 min de tratamento, porém a de maior eficiência foi na concentração mais elevada de oxidante (2000 mg/L de peróxido de hidrogênio) para ambos efluentes. Para o efluente pós-biológico, na concentração de 500 mg/L após 60 min de tratamento, a eficiência foi de 80,05%; já com 1000 e 2000 mg/L, as eficiências foram de 92,08% e 95,72% respectivamente.

A Figura 4 mostra o comportamento da cor verdadeira nas mesmas condições. A cor está ligada diretamente ao teor de sólidos dissolvidos, na forma de compostos orgânicos e inorgânicos, que são os responsáveis por atribuir cor aos efluentes.

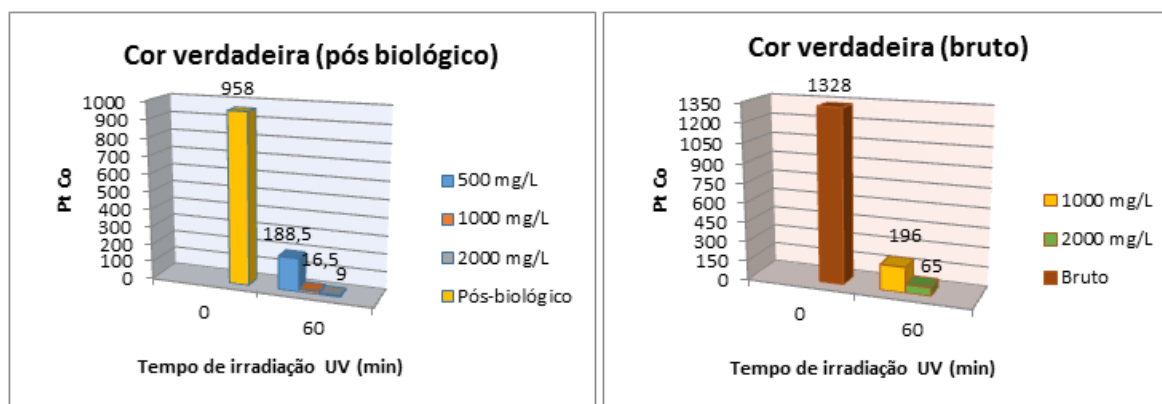


Figura 4: Evolução da cor verdadeira dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂

De acordo com os resultados, as eficiências de remoção para o efluente pós-biológico foram de 80,32%, 98,28% e 99,06% para as concentrações de peróxido 500, 1000 e 2000 mg/L respectivamente, após 60 min de tratamento. Para o efluente bruto, as eficiências de remoção foram de 95,26% para concentração de 2000 mg/L de H_2O_2 , e de 84,75% para a concentração de 1000 mg/L após 60 min de tratamento.

Foi observado que mesmo no efluente bruto, a eficiência da remoção de cor alcançou porcentagens elevadas. Isto talvez possa ser explicado pelo fato de que a coleta das amostras foi realizada em época chuvosa na região, podendo ter sido um fator preponderante para reduzir a quantidade de sólidos presentes nas amostras devido à diluição proporcionada pela água da chuva. Como esperado os valores da cor verdadeira acompanharam aos da cor aparente e também obtiveram alta remoção após o processo oxidativo, e novamente destacando a maior remoção quando da utilização de maior concentração de peróxido de hidrogênio.

A Figura 5 mostra a evolução da absorbância UV_{254nm} durante o processo oxidativo. A permanência de valores elevados de absorbância na região ultravioleta indica que grupos aromáticos permaneceram no efluente após o processo biológico.

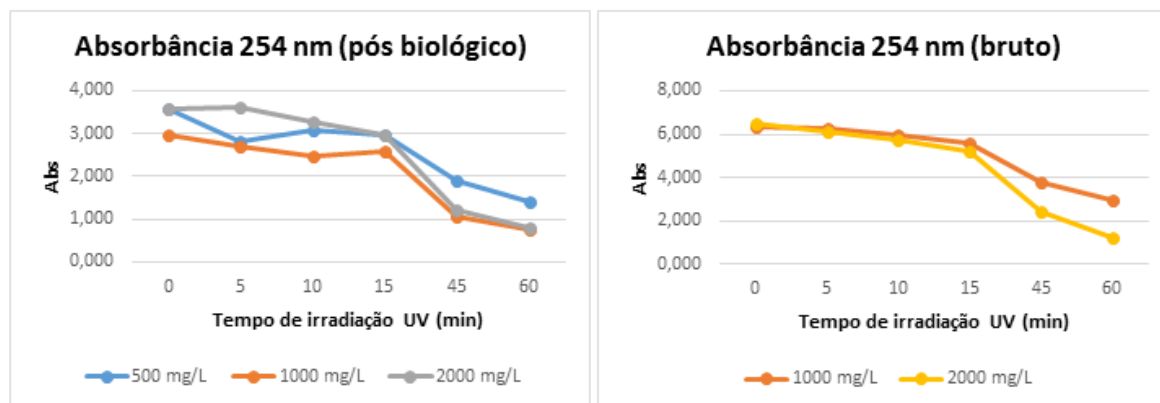


Figura 5: Evolução da absorbância UV 254nm dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H_2O_2

Através dos resultados pode-se observar que a irradiação UV promoveu redução significativa desse parâmetro. Para o efluente pós-biológico as eficiências foram de 61,35%, 74,49% e 77,64%, respectivamente para as concentrações de 500, 1000 e 2000 mg/L do oxidante após 60 min de tratamento. Já para o efluente bruto os valores obtidos para 2000 e 1000 mg/L de H_2O_2 foram de 81% e 53,29% respectivamente.

A Figura 6 mostra os resultados da condutividade dos efluentes após 60 min de tratamento. Verificou-se certa constância durante o processo fotoquímico, indicando que houve manutenção de espécies iônicas na solução. Souto (2009) relata que existe uma forte correlação entre a condutividade e nitrogênio amoniacal total. Apesar de nitrogênio amoniacal não ter sido analisado nesta pesquisa, o tratamento biológico, realizado na ETE, obteve grande remoção deste parâmetro e, portanto, a redução proporcionada pelo processo diminuiu os valores médios de condutividade, assim como também a interferência do período chuvoso prévio à coleta de amostras, o que diluiu as mesmas e reduziu seus valores. Apesar do aumento da temperatura e da mineralização de compostos, a condutividade das amostras tanto para o efluente tratado biologicamente, quanto para o efluente bruto, não apresentou variação significativa.

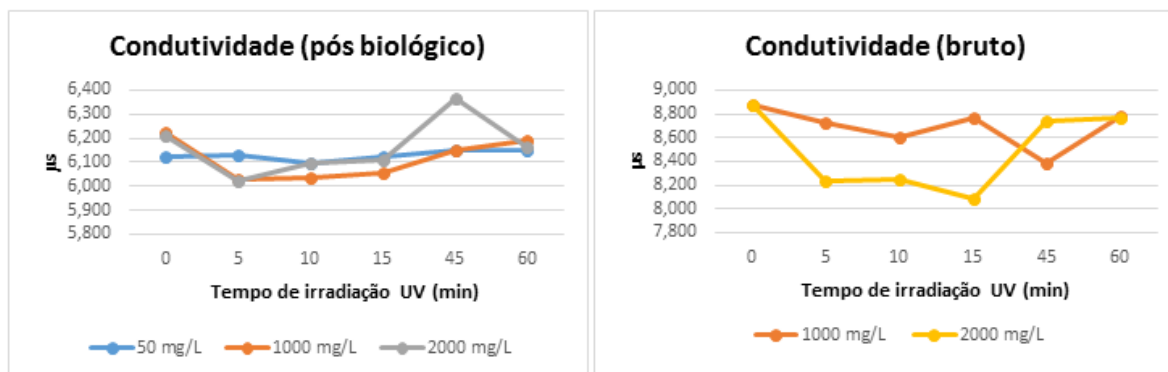


Figura 6: Evolução da condutividade dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂

Em relação ao pH e a alcalinidade pode-se dizer que os resultados foram consistentes, pois se verificou uma diminuição do pH e um aumento da alcalinidade durante o processo fotoquímico, indicando que houve uma evolução de espécies iônicas na solução. A redução do pH é associada à produção de ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos durante o processo fotoquímico, como indicado em vários estudos na literatura. Durante uma hora de irradiação UV a alcalinidade permaneceu praticamente a mesma em todos os ensaios, observando-se uma leve diminuição com o aumento da concentração de peróxido, acompanhando o pH (resultados não apresentados).

O COT é uma medida da quantidade de carbono orgânico que pode ser oxidado à CO₂ e a sua determinação avalia a taxa de mineralização, que é um importante indicador da efetividade do processo. A Figura 7 mostra os valores de COT e a eficiência de remoção após 60 minutos de tratamento nas diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio aplicadas.

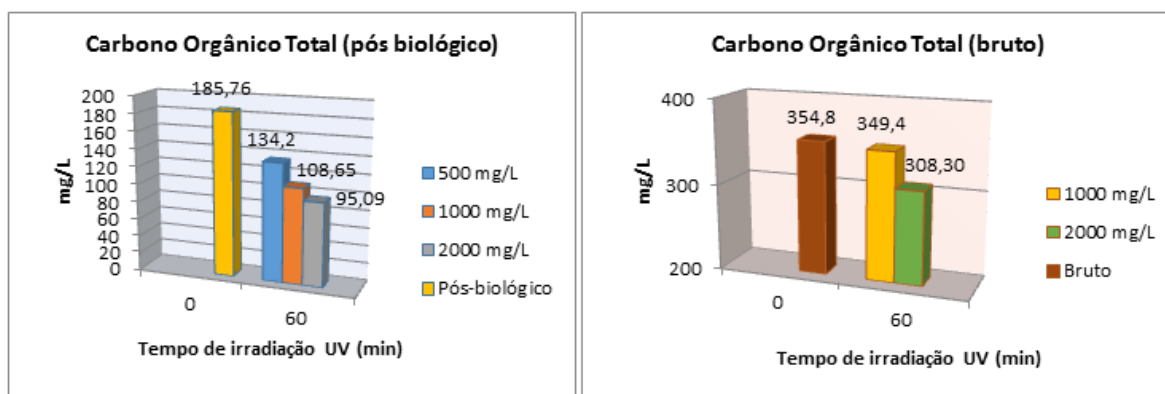


Figura 7: Evolução do COT dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H₂O₂

A redução de COT no efluente proveniente do processo pós-biológico não apresentou grandes percentuais de redução após o processo fotoquímico, e isto pode ser explicado pelo fato que durante a decoloração, novas substâncias orgânicas podem ter sido formadas, as quais não são coloridas, mas que necessitam de maior tempo para sua degradação (KURBUS et al., 2003). A presença de COT no efluente do final do processo UV/H₂O₂ indica que o produto final não pôde ser completamente mineralizado, em virtude da mineralização se iniciar somente quando a decoloração se encontra praticamente completa (GALINDO et al., 1999). A elevada remoção de cor e a limitada remoção de matéria orgânica também foram observadas por Kurbus et al. (2003).

O baixo índice de remoção de matéria orgânica é atribuído à oxidação incompleta dos compostos orgânicos, o que faz com que a mineralização total não aconteça. Almeida et al. (2004) observaram que a mineralização

total só é possível quando se obtém alta eficiência de remoção da carga orgânica do efluente, através da transformação da carga inicial em subprodutos inertes, e menos tóxicos, ou mesmo chegar a CO_2 e H_2O .

Análises de SST foram realizadas nas amostras após o processo fotoquímico. A Figura 8 apresenta os valores de SST e a eficiência de remoção após 60 min de tratamento, em função da concentração de H_2O_2 . Em termos de sólidos suspensos totais apenas a concentração de 500 mg/L de H_2O_2 apresentou residual após o processo oxidativo, nas demais concentrações a remoção foi total para ambos efluentes.

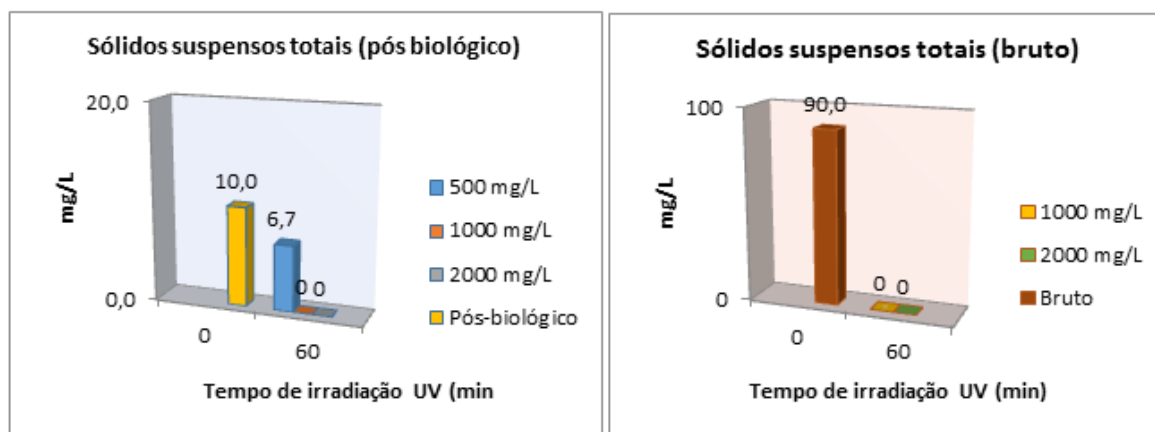


Figura 8: Evolução dos SST dos efluentes pós-biológico e bruto em função do tempo de irradiação UV e concentração de H_2O_2

Outro fator importante citado por Morais e Zamora (2005), diz respeito à utilização do processo de oxidação avançada como tratamento anterior ao tratamento biológico. O residual de peróxido de hidrogênio impossibilita o tratamento biológico, uma vez que ele é um desinfetante oxidativo instável e sua ação antimicrobiana se dá pela formação de radicais hidroxila livres, o que é extremamente desfavorável para o crescimento de vários microrganismos, pois ataca a membrana citoplasmática, DNA e outros componentes celulares essenciais (MODESTO et al., 2000).

Nas Tabelas 3 e 4 encontram-se os resultados dos percentuais de remoção dos principais parâmetros analisados, do efluente pós-biológico e bruto respectivamente, após 60 min de tratamento nas concentrações de H_2O_2 de 1000 e 2000 mg/L.

Tabela 3: Percentuais de remoção para as amostras de efluente pós-biológico após 60 min de processo oxidativo

Parâmetro	Unidades	Percentual de remoção (%)	
		1000 mg/L de H_2O_2	2000 mg/L de H_2O_2
Cor Aparente	Pt Co	92,08	95,72
Cor Verdadeira	Pt Co	98,28	99,06
Turbidez	NTU	76,87	78,25
UV 254 nm	-	74,49	77,64
COT	mg/L	41,51	48,81
SST	mg/L	100,00	100,00

Tabela 4: Percentuais de remoção para as amostras de efluente bruto após 60 min de processo oxidativo

Parâmetro	Unidades	Percentual de remoção (%)	
		1000 mg/L de H ₂ O ₂	2000 mg/L de H ₂ O ₂
Cor Aparente	Pt Co	77,61	94,98
Cor Verdadeira	Pt Co	84,75	95,26
Turbidez	NTU	24,79	79,14
UV 254 nm	-	53,29	81,00
COT	mg/L	10,52	13,11
SST	mg/L	100,00	100,00

De forma geral os parâmetros cor aparente e verdadeira, turbidez, UV_{254nm} e sólidos suspensos totais obtiveram percentuais elevados de remoção, demonstrando a eficácia da técnica do processo oxidativo avançado UV/H₂O₂ para este tipo de efluente. Uma menor eficiência de remoção de carbono orgânico total era esperada, uma vez que este tipo de processo normalmente não apresenta elevada eficiência de remoção da matéria orgânica, embora neste trabalho se tenha alcançado remoção satisfatória desse parâmetro. Jelonek e Neczaj (2012) observaram os mesmos aspectos e ainda acrescentaram que esta técnica também foi eficaz na redução de toxinas, DBO e DQO.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado concluiu-se que:

O processo oxidativo avançado UV/H₂O₂ aplicado ao lixiviado de aterro sanitário, mostrou-se eficiente e promissor como técnica de tratamento, principalmente na redução da cor (mais de 90% de remoção), turbidez (78%) e SST (100%), aplicado após o tratamento biológico, após 60 min de irradiação UV utilizando 2000 mg/L de oxidante.

Foi observado através dos resultados obtidos, a influência da concentração de peróxido de hidrogênio utilizada, tendo-se alcançado melhores eficiências de remoção da maioria dos parâmetros na concentração de 2000 mg/L, tanto para o efluente pós-biológico quanto para o efluente bruto.

O processo se mostrou eficiente no tratamento de substâncias resistentes à degradação, como os compostos aromáticos, alcançando 78% de eficiência de remoção após 60 min de irradiação UV utilizando 2000 mg/L de oxidante no efluente após processo biológico.

O processo fotoquímico aplicado após o tratamento biológico foi bastante efetivo, propiciando um efluente de boa qualidade podendo ser utilizado para fins menos nobres dentro da própria ETE. A reutilização desse efluente tratado levará a uma redução significativa no consumo de água e terá um impacto ambiental e econômico positivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. (2004). "Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio". Química Nova, 27, 818-824.
2. BENITEZ, F. J.; ACERO, J. L.; REAL, F. J.; Journal of Hazardous Materials, 2002, B89, 51.
3. DE MORAIS, J. L.; ZAMORA, P. P. "Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates". Journal of Hazardous Materials, 123.1 (2005): 181-186.
4. GALINDO, C.; KALT, A. Dyes and Pigments, 1999, 42, 199.
5. JELONEK, P.; NECZAJ, E. "The use of Advanced Oxidation Processes (AOP) for the treatment of landfill leachate." Inżynieria i Ochrona Środowiska, 15 (2012): 203-217.

6. KURBUS, T.; LE MARECHAL, A. M.; VONČINA, D. B. "Comparison of H_2O_2/UV , H_2O_2/O_3 and H_2O_2/Fe^{2+} processes for the decolorisation of vinylsulphone reactive dyes." *Dyes and Pigments*, 58.3 (2003): 245-252.
7. LAFI, W. K.; AL-QODAH, Z.; *Journal of Hazardous Materials*, 2006, B137, 489.
8. MODESTO, A.; LIMA, K. C, DE UZEDA, M. "Effects of solutions used in infants' oral hygiene on biofilms and oral microorganisms". *ASDC J Dent Child*. 2000 Sep-Oct; 67(5):338-44.
9. MOURÃO, H. A. J. L.; MENDONÇA, V. R.; MALAGUTTI, A. R.; RIBEIRO, C. *Química Nova*, 2009, 32, 2181.
10. NAGEL-HASSEMER, M. E.; CORAL, L. A.; LAPOLLI, F. R. (2012). Processo UV/ H_2O_2 Como Pós-Tratamento para Remoção de Cor e Polimento Final em Efluentes Têxteis. *Química Nova*, 35(5), 900–904.
11. NAUMCZYK, J.; PROKURAT, I.; MARCINOWSKI, P. "Landfill Leachates Treatment by/UV, Modified Fenton, and Modified Photo-Fenton Methods". *International Journal of Photoenergy*, 2012.
12. PRIMO, O.; MARÍA, J.; RIVERO, O. I. "Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates." *Journal of Hazardous Materials* 153.1 (2008): 834-842.
13. SOUTO, G. D. "Lixiviados de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")". *Escola de Engenharia de São Carlos* (2009).
14. TANG, C.; CHEN, V. The photocatalytic degradation of reactive black 5 using TiO_2/UV in an annular photoreactor. *Water. Research.*, Amsterdam, 38, 2775-2781, 2004.