

A COMPACIDADE DE PRÉDIOS DE EHS: RELAÇÃO COM O MONTANTE DE ENERGIA INCORPORADA.

A INFLUÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA VIDA ÚTIL DAS FERRAMENTAS DE METAL DURO NA USINAGEM DE TORNEAMENTO.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DE NONILFENOIS ETOXILADOS.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CURSOS HÍDRICOS INTERCEPTADOS POR OBRA DE DUPLICAÇÃO RODOVIÁRIA NO ESTADO DE ALAGOAS.

AVALIAÇÃO DE UMA TURBINA DE JATEAMENTO.

AVALIAÇÃO DO USO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO CONTENDO FENOL.

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PRELIMINAR DE UMA TURBINA DE JATEAMENTO UTILIZANDO ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS.

CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA DO SISTEMA DE OSMOSE INVERS.

CARACTERIZACIÓN DE MEMBRANAS DE INTERCAMBIO ANIÓNICO A PARTIR DE MATERIALES CERÁMICOS PARA SU USO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES.

COMPÓSITO DE RESÍDUOS DE POLIETILENO DE EMBALAGENS DE MEDICAMENTOS COM FIBRA DE BANANEIRA.

ESTUDO EXPERIMENTAL DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA EBULIÇÃO DO R-600A EM MINI CANAIS PARALELOS.

LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO: TRATAMENTO E TOXICIDADE.

A COMPACIDADE DE PRÉDIOS DE EHIS: RELAÇÃO COM O MONTANTE DE ENERGIA INCORPORADA

POSTAY, Renata (UNISINOS) ⁽¹⁾; KERN, Andrea P. (UNISINOS) ⁽²⁾

Palavras-chave: Habitação de interesse social. Índice econômico de compacidade. Energia Incorporada.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil e o ambiente construído são considerados duas áreas chave para o desenvolvimento sustentável na sociedade e apresentam papel essencial para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e enxutas (HALLIDAY, 1997 apud LOBO et al., 2010). No Brasil, na lista das 10 atividades consideradas maiores consumidoras de energia estão seis da construção civil (LOBO, SANTOS, TAVARES; 2010), mesmo com a matriz energética predominantemente de fonte renovável e limpa, é recorrente a preocupação em reduzir o consumo de energia do país (PAULSEN; SPOSTO, 2013).

Esse maciço consumo energético da construção civil cria oportunidades para se pensar em gestão para avaliação ambiental, envolvendo desde a energia para a produção de materiais e componentes, como a energia utilizada na fase de uso do ambiente construído. A partir da fase de planejamento, até a execução, investir em construir mais usando menos materiais, reduzindo a pressão sobre a natureza e o volume de material nos aterros, sem aumentar outros impactos ambientais (WEINSTOCK, 2000; AGOPYAN e JOHN, 2011). Tendo o projeto como o elemento indutor da racionalização da construção, da qualidade do produto final e de sua sustentabilidade, pois é na fase de projeto que o produto é concebido e os materiais e as técnicas construtivas são especificados (CARVALHO; SPOSTO, 2012).

A construção civil, no segmento de empreendimentos de habitação de interesse social (EHIS), tem recebido grandes investimentos do Governo Federal. Segundo dados da CEF (2011) entre os anos de 2003 até dezembro de 2010 foi realizada a contratação de um milhão e cinco mil unidades habitacionais no âmbito do Programa Minha Casa Minha Vida, com estimativa de chegar até o final de 2014 a 2 milhões de casas e apartamentos construídos.

Brandão (2006) aponta a necessidade de mais pesquisas focadas na fase de projeto de EHIS, o que vai de encontro a Heineck e Fernandes (2004) que salientam que a análise de projetos pode ser direcionada a diversos aspectos de ordem qualitativa: a estética, a geometria funcional, a geometria morfológica, a construtibilidade e a racionalidade. Esses aspectos,

(1) Mestranda de Engenharia Civil UNISINOS; MBA em Gestão de Projetos; e-mail: rpostay@gmail.com

(2) Doutora em Engenharia Civil; Prof. UNISINOS - PPG em Engenharia Civil; e-mail: apkern@unisinis.br

perante as decisões tomadas na fase de projeto, podem ser correlacionados a impactos ambientais, como: o consumo de materiais, energia incorporada, emissões de CO₂ (SCHNECK, 2013) e geração de resíduos (DIAS, 2013).

Assim, o objetivo deste artigo é investigar a relação entre a compacidade de prédios de EHIS com o montante de energia incorporada (EI) dos materiais de construção. Entendendo EI como o montante energético utilizado para a produção de determinado produto, desde a extração, distribuição no mercado até sua destinação final (GAUZIN-MÜLLER, 2002). No estudo, ao todo foram calculadas a EI de cinco prédios de EHIS, considerando áreas similares e o mesmo sistema construtivo de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em EHIS os parâmetros dimensionais são limitados pela relação direta que estabelecem com o custo da construção. Conforme Mayer (2012) mantendo-se constante o tipo e qualidade do material empregado, uma das formas de parametrizar o custo da construção está diretamente relacionado com a sua compacidade: quanto mais compacta a construção, menor a necessidade de materiais e menor o seu custo. O índice de compacidade, definido por Rosso (1978), dado pela relação percentual que se estabelece entre o perímetro de um círculo de igual área do projeto e o perímetro de paredes exteriores do projeto (Equação 1).

$$IC = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_p} \times 100 \quad \text{Onde} \quad \begin{array}{l} IC = \text{índice de compacidade;} \\ A_p = \text{superfície do projeto;} \\ P_p = \text{perímetro das paredes exteriores do projeto.} \end{array} \quad (1)$$

Com adequação de Mascaró (2010) passa à Índice Econômico de Compacidade (Equação 2), incorporando o número de arestas e perímetros curvos da fachada, em função do maior custo de execução destes, diferencial dado pelo valor do Pep (calculado pela Equação 3).

$$IeC = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \rho}}{Pep} \times 100 \quad (2) \quad \left| \quad P_{ep} = P_{pr} + 1,5 P_{pc} + \frac{nA}{2} \quad (3)$$

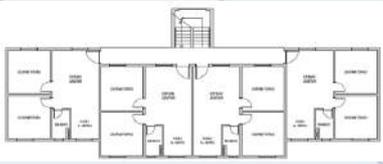
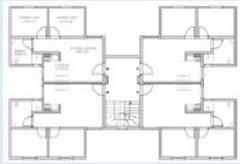
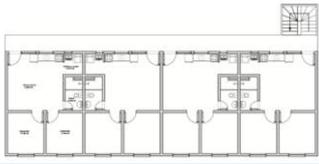
Onde: IeC = índice econômico de compacidade;
A_p = superfície do projeto;
Pep = perímetro econômico do projeto.

Onde: P_{pr} = perímetro das paredes exteriores retas;
P_{pc} = perímetro das paredes exteriores curvas;
nA = número de arestas das fachadas.

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento da pesquisa iniciou (etapa 1) nos estudos de caso de cinco projetos arquitetônicos de EHIS, com suas características apresentadas no Quadro 1. Dos projetos, quatro são empreendimentos reais (denominados P1, P2, P3, P4) e o último (denominado P5) pertence ao projeto simulado por Schneck (2013). Para efeito de pesquisa os projetos foram considerados com a configuração térreo mais 4 pavimentos tipo.

Quadro 1 – Síntese dos projetos

<p>P1 (RJ) Apt: 209,40 m² AT: 1.058,32 m²</p> 	<p>P2 (RJ) Apt: 209,78 m² AT: 1.049,37 m²</p> 
<p>P3 (RJ) Apt: 204,57 m² AT: 1.028,28 m²</p> 	<p>P4 (RS) Apt: 204,00 m² AT: 1.020,00 m²</p> 
<p>P5 Apt: 204,00 m² AT: 1.020,00 m²</p> 	<p>Onde: Apt = Área total do pavimento tipo (m²) AT = Área total do edifício (m²)</p>

Na sequência, realizou-se o cálculo do índice econômico de compactidade (IeC) dos prédios. Em paralelo, os projetos foram modelados no software *Revit Autodesk* a fim de quantificar o consumo de materiais. Dados utilizados para gerar uma lista de materiais e quantidades (em quilogramas), baseada no quantitativo do P4 que partiu da empresa construtora do projeto. Com algumas considerações: (a) para os materiais que não se obteve as quantidades no *Revit*, foram extrapoladas comparações com quantitativo de P4; (b) para os serviços preliminares foram considerados os valores de P4 para os 5 projetos; (c) excluídos do cômputo os materiais referentes a esquadrias, instalações elétricas, instalações hidráulicas e pinturas.

A Etapa 2, análise dos impactos ambientais quanto à Energia Incorporada, foi realizada com auxílio do *software CES Selector*, que viabiliza uma análise dos impactos ambientais de produtos ao longo do seu ciclo de vida. Utilizando a ferramenta *Eco Audit Tool*, foram selecionados os materiais na base de dados do programa e inseridas as quantidades de cada um deles. Para os materiais que não constavam na base do programa utilizou-se o módulo *Constructor*, que permite a personalização de dados. Para suporte a esses materiais inseridos, foram considerados também como base os valores de EI dos materiais de construção das pesquisas de Tavares (2006) e Lobo, Santos e Tavares (2010).

Já na Etapa 3, foram montados gráficos para comparar os resultando, sendo relacionado o IeC resultante das decisões de projeto quanto ao tipo arquitetônico, ao consumo de EI.

4. RESULTADOS

Os IeC de cada um dos cinco projetos são apresentados no Quadro 2, calculados a partir da Equação 2, onde apresentam variação de 49,40 (P4) até o maior índice de 72,12 (P5).

Quadro 2 – IeC dos Projetos

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
IeC	54,44	64,21	62,71	49,40	72,12

Quanto a Energia Incorporada temos o gráfico (Figura 1) que apresenta de ordem decrescente de energia incorporada os resultados dos 5 projetos, gráfico gerado no *software CES Selector*.

Figura 1: Estimativa de EI dos projetos

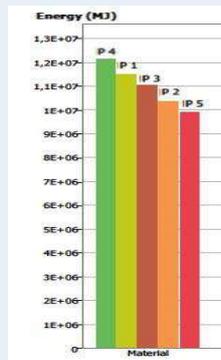
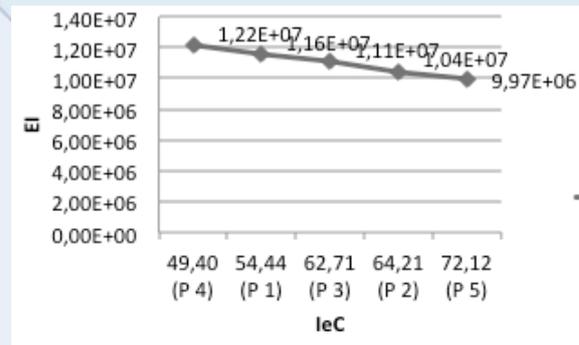


Figura 2: Relação entre EI (MJ) e IeC



Quanto a EI o projeto com maior impacto ambiental foi o P4 considerando os aspectos analisados, sendo utilizado como parâmetro de comparação para os demais projetos. Assim, a partir dele tem-se a redução quanto a EI de 5% para P1, 9% de redução para P3, 15% para P2 e 18% para P5. Desta forma, traçando-se um paralelo entre os dados de EI e IeC, como se observa na Figura 2, quanto maior o IeC menor o impacto ambiental de EI.

5. DISCUSSÃO

Entre os projetos analisados, comparando-se os que possuem respectivamente o menor e o maior IeC, de 49,4 (P4) e 72,12 (P5), obteve-se uma redução de 18% quanto a EI do P5 em comparação a P4, considerando-se a influência dos materiais e quantidade empregada dos mesmos. Desta forma, confirmando o pressuposto de que o aumento do IeC reduziria os impactos ambientais através dos quesitos analisados, onde as decisões de projeto com relação a forma do tipo arquitetônico, causam reflexos diretamente relacionados a impactos ambientais referente a energia incorporada dos materiais empregados no projeto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vale destacar que são necessárias maiores aprofundamentos na pesquisa bem como a ponderação de outros aspectos como o transporte dos materiais e investigação de outras técnicas construtivas, o que está em desenvolvimento na dissertação de mestrado a qual esse trabalho se enquadra.

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. [S.l.]: [s.n.], 2011. v. 5.).
- BRANDÃO, D. Q. Avaliação da qualidade de arranjos espaciais de apartamentos baseada em aspectos morfo-topológicos e variáveis geométricas que influenciam na racionalização construtiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 53-67, 2006.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Cartilha Minha Casa Minha Vida**. Brasília. Disponível em: <http://www.adh.pi.gov.br/minha_casa_minha_vida.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2013.
- CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 207-225, 2012.
- DIAS, M. F. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. 2013
- GAUZIN-MÜLLER, D. *Arquitectura ecológica*. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.
- HEINECK, L. F. M.; FERNANDEZ, J. A. C. G. **Modelo para avaliação qualitativa de projetos arquitetônicos, sob a ótica do usuário**. Florianópolis, nov. 2004. Disponível em: <<http://www.sindusconfpolis.org.br/artigosCientificos>>.
- LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: Estudo de caso no Estado do Paraná**. 2010. 212 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.
- LOBO, F. H. R.; SANTOS, A. P. L.; TAVARES, S. F. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 26-43, 2010.
- MASCARÓ, J. L. **O Custo das Decisões Arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.
- MAYER, R. **A gramática da habitação mínima : análise do projeto arquitetônico da habitação de interesse social em Porto Alegre e Região Metropolitana**. 2012. 205 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “My House My Life”. **Energy and Buildings**, n. 57, p. 95-102, 2013.
- ROSSO, T. **Aspectos geométricos do custo das edificações. Simpósio sobre barateamento da construção habitacional**. Trabalho n° 83. Salvador, mar., 1978.

SCHNECK, E. R. **Tipo arquitetônico em empreendimentos habitacionais de interesse social:** impactos ambientais, diferenças no custo e em quesitos de habitabilidade. 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. 2013

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis. 2006.

WEINSTOCK, G. Agenda 21 para a Construção Sustentável. *Relatório CIB – Publicação 237*, Novembro 2000.

A INFLUÊNCIA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA VIDA ÚTIL DAS FERRAMENTAS DE METAL DURO NA USINAGEM DE TORNEAMENTO

Jéssica Rossana Richel, Universidade Feevale¹

Angela Beatrice Dewes Moura, Universidade Feevale²

Palavras-chave: ferramentas de corte. transferência de calor. vida útil.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação correta das ferramentas de corte nos processos de usinagem resulta em economia para as indústrias na fabricação de peças. O objetivo deste trabalho é a apresentação da fundamentação teórica e a metodologia que será adotada para o desenvolvimento da dissertação de mestrado, cujo tema é analisar a influência da transferência de calor na vida útil da ferramenta de corte de metal duro, durante o processo de torneamento. Para a investigação dos fenômenos de calor na usinagem, é preciso compreender as características do processo e suas variáveis, desta forma, este estudo abordará o referencial teórico sobre a operação de torneamento e seus parâmetros de corte; a ferramenta de corte; a vida da ferramenta; a temperatura na usinagem; a peça, seu material e a sua usinabilidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A usinagem está presente na maioria dos processos de manufatura industriais, sendo definida como as operações que conferem à peça: a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, ocorrendo a remoção de material sob forma de cavaco (FERRARESI, 1977). A força de usinagem provoca diversas deformações no cavaco, na peça, na ferramenta de corte e na própria máquina. Igualmente, quando o cavaco se desloca, na superfície de saída da ferramenta ocorre atrito. O trabalho de todas essas forças (de deformação e de atrito) se converte em calor e, a partir desse calor e das

¹ Jéssica Rossana Richel, Engenheira de Produção, Aluna do Mestrado Profissional em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais, Universidade Feevale.

² Angela Beatrice Dewes Moura, Dra em Engenharia, Professora e Pesquisadora do Mestrado Profissional em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais, Coordenadora da Engenharia Mecânica, Universidade Feevale.

massas, bem como da geometria e das propriedades térmicas dos materiais em jogo, criam-se diversos campos de temperatura com distribuições próprias (MACHADO, 2011).

Os fenômenos de geração e de dissipação de calor na operação de usinagem são complexos. As temperaturas atingidas provocam alterações nas propriedades físicas e mecânicas, as quais aceleram os desgastes. Estes, por sua vez, provocam mais atrito, o que gera mais calor, elevando, mais uma vez, a temperatura – e assim se define um círculo vicioso que limita o uso da ferramenta de corte (FERRARESI, 1977).

2.1 O torneamento

O torneamento é um dos processos de usinagem destinado a obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas de corte. Para tanto, a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina, e a ferramenta se desloca simultaneamente segundo uma trajetória coplanar ao referido eixo. Esta operação só ocorrerá devido aos movimentos relativos entre a ferramenta e a peça, que estão associados a direções, sentidos, velocidades e percursos (FERRARESI, 1977; DINIZ, 2000).

O processo baseia-se na remoção de material, utilizando como ferramenta um material mais duro e mecanicamente mais resistente que a peça (MACHADO, 2011). Os materiais da ferramenta de corte possuem diferentes combinações de dureza, tenacidade e resistência ao desgaste e são divididos em várias classes com propriedades diferentes. A Sandvik (2010) afirma que geralmente um material para ferramenta de corte bem-sucedido em sua aplicação deve ser: duro, para resistir ao desgaste de flanco e à deformação; tenaz, para resistir a quebras; não reativo com o material da peça; quimicamente estável para resistir à oxidação e à difusão; resistente a alterações térmicas repentinas.

2.2 Vida da ferramenta

A vida de uma ferramenta pode ser definida como sendo o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja o critério de fim de vida previamente estabelecido (FERRARESI, 1977). O fim dessa vida pode ser estabelecido pelo grau de desgaste que afeta a precisão, qualidade e aumenta as forças de corte na operação. O desgaste ocorre pela combinação de altas temperaturas e fortes carregamentos mecânicos na usinagem. A aresta da ferramenta se desgasta com maior facilidade na zona de saída do flanco, sendo dependente da forma e da duração da solicitação térmica, mecânica e química da região. A medição do desgaste da ferramenta pode ser monitorada através de inspeção

visual com comparação de padrões (lupas); medição mecânica (paquímetros, micrômetros, outros); medição ótica (microscópios); e medição óptica ou eletrônica (câmeras CCD).

2.3 Temperatura na usinagem

Na usinagem o calor é gerado nas zonas de cisalhamento e transmitido para a peça, para o cavaco e para a ferramenta. O aquecimento da peça durante a usinagem é considerado benéfico, pois reduz a tensão de cisalhamento do material, entretanto pode ocasionar problemas dimensionais e até alterar as propriedades. O calor transmitido para a ferramenta de corte diminui a sua vida e limita as condições de corte como velocidade e avanço. A elevação da temperatura reduz a resistência à deformação plástica do material da ferramenta, criando condições favoráveis para os mecanismos de desgaste termicamente ativos. (SANTOS, 2007)

Em seus estudos Santos (2007) reuniu os métodos utilizados para a medição da temperatura de usinagem, que são: método calorimétrico; medição por técnicas metalográficas; medição da força termoelétrica entre a ferramenta e a peça; medição direta por inserção de termopares na ferramenta de corte; medição da energia de radiação na faixa do espectro infravermelho; medição indireta através de vernizes térmicos; pós químicos; deposição de filmes PVD; e técnicas de problemas inversos.

O método de radiação infravermelha, também conhecida como termografia, conforme Santos (2007) pode ser utilizado tanto na medição de uma pequena área do cavaco, quanto na ponta da ferramenta. A radiação, através de um sistema de lentes, é focada em um sensor que identifica em qual temperatura deveria estar o corpo com aquela composição, para irradiar tal energia. A termografia é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente, por excitação de uma fonte da natureza ou artificialmente produzida, pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Sendo possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão preestabelecido. É baseada na medida da radiação eletromagnética emitida por um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto. A radiação eletromagnética de um corpo se dá devido à agitação de átomos e moléculas dos quais são constituídos. Com a utilização de câmeras apropriadas coletam a radiação infravermelha emitida pela superfície e a convertem em sinais elétricos, criando imagens térmicas do campo de temperatura (BAUER, 2013).

3. METODOLOGIA

A pesquisa teórica foi realizada através de busca de livros e artigos publicados nacionais e internacionais publicados em revistas das áreas de Engenharia Mecânica e de Materiais. Os portais e bancos de dados utilizados na pesquisa foram o Scielo, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Unicamp, Periódicos Capes, ScienceDirect e o Google Acadêmico.

4. RESULTADOS

Neste trabalho foi apresentada a revisão bibliográfica que se configura na parte inicial da dissertação de mestrado intitulada A Influência da Transferência de Calor na Vida Útil das Ferramentas de Metal Duro na Usinagem de Torneamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização da pesquisa de referencial teórico é motivada pela necessidade de embasamento para formulação da dissertação do Mestrado de Tecnologia de Materiais e Processos Industriais da Universidade Feevale.

As próximas etapas a serem cumpridas envolverão a determinação metodológica e a realização de testes experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUER, Elton; LEAL, Franz e Castelo Branco. **CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE A TERMOGRAFIA APLICADA À INSPEÇÃO DE FACHADAS**. 2013. Disponível em: <<http://materialsandmateriais.blogspot.com.br/2013/08/artigo-tecnico-25-consideracoes.html>>. Acesso em: 26 mai. 2013.

DINIZ, Anselmo Eduardo. MARCONDES, Francisco Carlos. COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo, SP: Artliber Editora. 2000. 244 p.

FERRARESI, Dino. **Usinagem dos metais: fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 751 p.

JÚNIOR, Antônio Maria de Souza. **Estudo da utilização de PCBN e cerâmica mista no fresamento de blocos motores de ferro fundido cinzento**. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica), Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC Minas, Belo Horizonte, MG, 2001.

MACHADO, Álisson Rocha et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. 397 p

MARCONDES, Francisco Carlos. **A história do metal duro**. 1. ed. Brasil: CPA Consultoria de Projetos e Artes Ltda, 1990. 239 p.

SANDVIK COROMANT. **Manual técnico: torneamento, fresamento, furação, madrilamento, sistemas de fixação**. AB Sandvik Coromant, Sandviken, Sweden, 2010.

SANTOS, Sandro Cardoso. SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo, SP: Artliber Editora, 2007. 246 p.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 1996. 291 p.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 6. ed. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2005. 249 p.

TRENT, Edward Moor. WRIGHT, Paul Kenneth. **Metal cutting**. 4. ed. Estados Unidos da América: Butterworth-Heinemann, 2000. 446p.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DE NONILFENOIS ETOXILADOS

¹CHEILA VIEGAS, FEEVALE

²MARCO ANTÔNIO SIQUEIRA RODRIGUES, FEEVALE

³SALATIEL WOHLMUTH DA SILVA, UFRGS

⁴ANDRÉA MOURA BERNARDES, UFRGS

Palavras chave: Processos Oxidativos Avançados. Nonilfenóis Etoxilados.

INTRODUÇÃO

O nonilfenol (NF), um subproduto da degradação dos nonilfenóis etoxilados (NFEs), possuem a capacidade de interferir no sistema endócrino dos seres vivos é por isso conhecido como Disruptor Endócrino. Estes compostos estão presentes em muitos efluentes industriais e urbanos. Os tratamentos convencionais de efluentes e de água para abastecimento público não são eficientes na remoção NFs. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência dos processos oxidativos avançados (POAs) na degradação de NFEs de soluções, utilizando a técnica analítica de cromatografia gasosa, acoplada a espectrometria de massas (CG-MS) e usando detector de ionização de chama (CG-FID).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o aumento das atividades industriais a quantidade de efluentes e resíduos lançados ao meio ambiente cresce assustadoramente. Segundo Colborn (1996), a partir de 1950 é possível observar um grande aumento nas concentrações de produtos químicos sintéticos, no meio ambiente e nos seres vivos. A falta de informações sobre os possíveis danos causados por estes produtos sintéticos, fez com que esse aumento das atividades industriais não viesse acompanhado de uma preocupação ambiental. (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Alguns compostos podem causar vários danos à saúde humana mesmo em baixas concentrações (ng l^{-1}), e vem sendo uma preocupação constante nos últimos anos. Nesta categoria encontram-se os disruptores endócrinos (DE) que podem produzir efeitos adversos aos seres vivos. Estas substâncias são responsáveis por doenças ligadas ao sistema hormonal e a desordens no sistema reprodutivo. (HU et al, 2012; YUAN et al, 2013; XIN et al, 2014;). O Nonilfenol é um subproduto da degradação dos alquilfenóis etoxilados mais persistente, bioacumulativo e tóxico que os nonilfenóis etoxilados. Estes são usados como surfactantes

¹Engenheira Industrial Química, Mestranda do programa de pós graduação da Universidade Feevale.

²Doutor em Ciência dos Materiais, integrante o corpo docente da Universidade Feevale.

³Mestre em Engenharia - LACOR - DEMAT - PPGE3M – UFRGS.

⁴Doutora em Engenharia de Materiais - PPGE3M – UFRGS.

não iônicos e antioxidantes em diversos produtos como emulsificantes, detergentes, cosméticos, tintas, plásticos, pesticidas e herbicidas. (YING et al., 2002; YHU et al, 2012, KARCI et al, 2014; XIN et al 2014).

No tratamento aeróbio e anaeróbio de efluentes os Nonilfenóis Etoxilados (NFEs) podem sofrer oxidação tendo sua cadeia etoxilada removida, o que resulta na formação do metabólito mais tóxico Nonilfenói. Os principais subprodutos de degradação dos NFEs são os NFs e os etileno glicóis. (SOARES, 2008; VICENT; SNEDDON, 2009, MARTÍNEZ-ZAPATA et al, 2013).

Os processos oxidativos avançados tem se mostrado uma alternativa eficiente na remoção de diversos poluentes orgânicos refratários, como surfactantes, pesticidas, corantes e fenóis, em tipos variados de matrizes. (ZIOLLI e JARDIM, 1998; XIAOLI et al, 2003; TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Baseados na geração e utilização dos radicais hidroxila ($^{\circ}\text{HO}$) para mineralizar os compostos orgânicos, os POAs variam de acordo com os processos usados. (KARCI et al, 2014; XIN et al, 2014). A fotoeletrooxidação consiste em um processo combinado de eletrooxidação assistida por uma fotocatalise heterogênea e foto-oxidação direta. Neste processo o ânodo dimensionalmente estável (ADE) do reator eletrolítico permanece sob a incidência de radiação UV. Na eletrooxidação uma corrente elétrica promove a eletrólise da água dando origem a radicais hidroxila que permanecem fisicamente adsorvidos na superfície do eletrodo poroso. Paralelamente, a incidência de luz UV sobre a camada catalítica do ânodo do sistema, promove a formação do par elétron/lacuna (h^+_{BV}) reage com as moléculas de água adsorvidas no eletrodo e/ou com os íons OH^- presentes, formando radicais hidroxila. (ZIOLLI; JARDIM, 1997; TEIXEIRA; JARDIM, 2004; SILVA, 2007). Através da irradiação da luz UV sobre os compostos orgânicos presentes pode ocorrer um terceiro mecanismo de degradação, a fotólise. Neste as moléculas são degradadas devido à absorção de fótons. (MARTÍNEZ-ZAPATA, 2013).

METODOLOGIA

Os experimentos de degradação foram realizados no reator fotoeletroquímico, foram utilizadas lâmpadas de vapor de mercúrio de 125 W, 250 W e 400 W, para a emissão da radiação ultravioleta. Os eletrodos foram dispostos de forma concêntrica em torno da lâmpada, para se obter um maior aproveitamento da radiação emitida. O ânodo de titânio utilizado é revestido com uma fina camada de óxidos de titânio e rutênio, na proporção 70:30 ($\text{TiO}_2/\text{RuO}_2$). Nos ensaios de degradação foram empregadas densidades de corrente de $5 \text{ mA}\cdot\text{cm}^2$ e $10 \text{ mA}\cdot\text{cm}^2$. Foi preparada uma solução inicial de 51 mg L^{-1} utilizando o Ultralex NP40®, com grau de pureza 98%, a base de Nonilfenol com 4 graus de etoxilação

(NF₄EO). Foram realizados sete ensaios de degradação utilizando a solução inicial, as condições utilizadas nos ensaios estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1 - Diferentes configurações das amostras dos experimentos.

Teste	Densidade de corrente mA cm ⁻²	Fonte de radiação UV W	Tempo h
FEO 1	5	250	4
FEO 2	5	125	4
FEO 3	10	250	4
FEO 4	10	125	4
FEO 5	10	250	6
FEO 6	10	250	10
FEO 7	10	400	4

O método cromatográfico e de extração foram desenvolvidos tendo como referência os procedimentos utilizados por Moreira (2008) e Ahel; Conrad; Giger (1987). Para as análises cromatográficas foi utilizado um cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massas quadrupolar (GC qMS) (Clarus 680 da Perkin Elmer) com injetor automático e um cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (GC FID 17A) (Shimadzu) com injetor automático.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

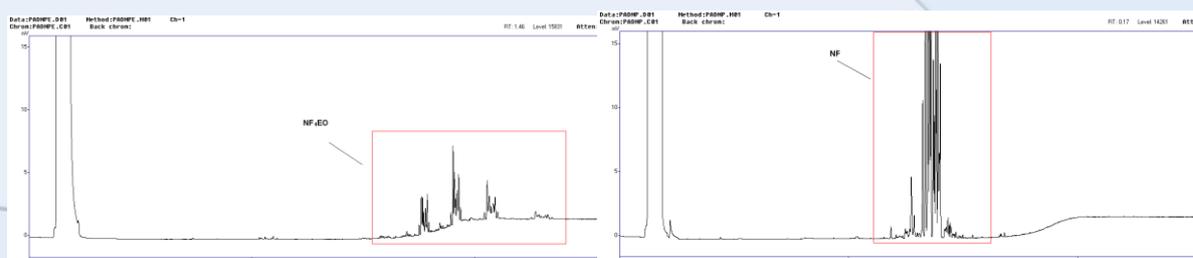
Nas análises realizadas no cromatógrafo CG FID o método de separação permitiu a identificação dos perfis cromatográficos dos Nonilfenóis e Nonilfenóis Etoxilados, Figura 1. O perfil cromatográfico encontrado para o NF₄EO apresentou 5 bandas de isômeros, sendo semelhante ao obtido por Sherrard et al, 1996 para NF₈EO, onde foram encontradas 10 bandas de isômeros.

Comparando os cromatogramas dos padrões e os adquiridos com a injeção das amostras, observa-se que a amostra “Inicial” apresenta perfil característico de Nonilfenóis Etoxilados e não apresenta perfil de Nonilfenóis. O cromatograma obtido dos testes “FEO 1” e “FEO 3” apresentam perfis semelhante ao do padrão de NF₄EO, no mesmo tempo de retenção, com menor intensidade que na amostra “Inicial”. Não foi observado o perfil de Nonilfenóis. Na “FEO 2”, assim como na “FEO 4”, foi observado os perfis de Nonilfenóis e Nonilfenóis Etoxilados. Nos cromatogramas obtidos por GC qMS, destas amostras, foi possível identificar álcoois de estrutura molecular C₉OH e C₁₀OH (metilctanol, dimetilctanol e seus isômeros) e o composto Tetraetilenoglicol. A presença de etileno glicóis é característica da degradação de Nonilfenóis Etoxilados, conforme mecanismo de degradação descritos por. Brown, Reinhard⁶; Kim et al.(Ahel et al. (1987), Ahel et al. (2000), Silva, Bordignon et al.²⁸

Analisando os quatro primeiros ensaios nota-se que o aumento da densidade de corrente intensifica a degradação dos NF₄EOs, o uso da lâmpada de 250 W (“FEO 1” e “FEO 3”) foi mais eficiente na degradação dos NF₄EOs além de não formar os metabólitos mais tóxicos, NFs. Nos ensaios “FEO 5” e “FEO 6” foi aplicada a mesma configuração do ensaio “FEO 3”, que apresentou os melhores resultados, aumentando o tempo de tratamento para 6 h e 10 h respectivamente. Para ambos os ensaios, “FEO 5” e “FEO 6”, não foi possível visualizar perfis cromatográficos de NF, sendo o ensaio com 10 horas o mais eficiente na remoção dos NF₄EOs.

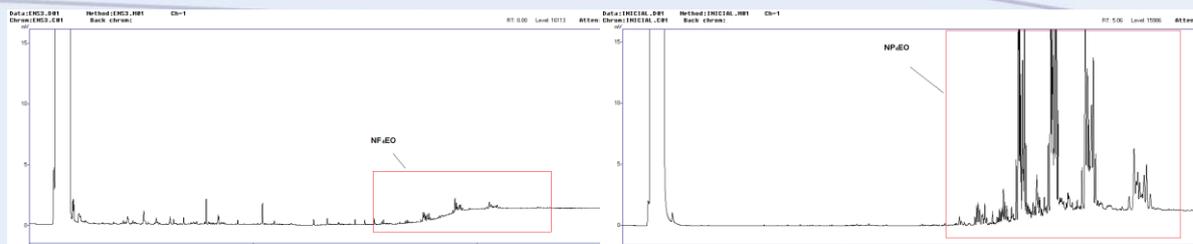
Para o ensaio “FEO 7”, que utilizou uma lâmpada de 400 W para testar a influência da intensidade de radiação UV aplicada, é observado os perfis de NF₄EO com intensidade inferior ao ensaio “FEO 3”. Isso mostra que a maior potencia da lâmpada favorece a fotocatalise heterogênea, porém gerou o produto mais tóxico NF.

Figura 1- Cromatogramas dos padrões de NF₄EO (esquerda) e NF (direita).



Fonte: Software Class GC 10 versão 1.4, GC FID-17A da Shimadzu

Figura 2 – Cromatogramas da amostra “Inicial” (esquerda) e “FEO 3” (direita).



Fonte: Software Class GC 10 versão 1.4, GC FID-17A da Shimadzu

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da densidade de corrente, de 5 mA cm⁻² para 10 mA cm⁻², favoreceu a degradação dos NFEs. O uso das lâmpadas de 250 W e 400W revelou a maior eficiência do mecanismo de degradação por fotocatalise heterogênea, uma vez que a aplicação da lâmpada de 400 W aumentou significativamente a taxa de degradação dos Nonilfenóis etoxilados.

Conclui-se que para a degradação Nonilfenóis Etoxilados em águas residuárias, o processo de Fotoeletroxidação se mostrou eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHEL, Marijan; CONRAD, T.; GIGER, Walter. **Persistent organic chemicals in sewage effluents 3: determinations of nonylphenoxy carboxylic acids by high-resolution gas chromatography/mass spectrometry and high-performance liquid chromatography.** Journal of Water Science and Technology, v. 21, n. 7, p. 697-703, 1987.

AHEL, Marijan; GIGER, Walter; MOLNAR, Eva; IBRIÉ, Slavica. **Determination of Nonylphenol Polyethoxylates and their Lipophilic Metabolites in Sewage Effluents by Normal-phase High-performance Liquid Chromatography and Fluorescence Detection.** Croatica Chemica ACTA, n° 73, p. 209-227, 2000.

BROWN, J. M.; REINHARD, M. Occurrence and Behavior of Alkylphenol Polyethoxylates in the Environment. **Environmental Engineering Science**, v. 20, n. 5, p. 471-486, 2003.

COLBORN, Theo; DUMANOSKI, Diane; MYERS, John Peterson. **O Futuro Roubado.** LePM Editores SA. Porto Alegre, 1997. p. 4 – 25.

HU, Yang; LI, Dong-Mei; HAN, Xiao-Dong. **Analysis of combined effects of nonylphenol and Monobutyl phthalate on rat Sertoli cells applying two mathematical models.** Food and Chemical Toxicology, n° 50, p. 457-463, 2012.

KARCI, Akin; ARSLAN-ALATON, Idil; BEKBOLET, Miray; OZHAN, Gul; ALPERTUNGA, Buket. **H₂O₂/UV-C and Photo-Fenton treatment of a nonylphenol polyethoxylate in synthetic freshwater: Follow-up of degradation products, acute toxicity and genotoxicity.** Chemical Engineering Journal, n° 241, p. 43-51, 2014.

KIM, B. S. et al. Spectroscopic Analysis Of Heterogeneous Photocatalysis Products Of Nonylphenol- And Primary Alcohol Ethoxylate Nonionic Surfactants. **Chemosphere**, v. 33, p. 1921-1940, 1996.

MARTÍNEZ-ZAPATA, Marian; ARISTIZÁBAL, Carolina; PEÑUELA, Gustavo. **Photodegradation of the endocrine-disrupting chemicals 4n-nonylphenol and triclosan by simulated solar UV irradiation in aqueous solutions with Fe(III) and in the absence/presence of humic acids.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, n° 251, p. 41-49, 2013.

SHERRARD, Kim B.; MARRIOTT, Philip J.; AMIET, R. Gary; CONMICK, McMalcolm J..

Spectroscopic analysis of heterogeneous photocatalysis products of nonylphenol-and primary alcohol ethoxylate nonionic surfactants. Chemosphere, n° 10, p. 1921-1940, 1996

SILVA, Fabiana Veiga da; RODRIGUES, Jairo Lisboa; BATISTA, Bruno Lemos, OLIVEIRA,

Danielle Palma de. **Alquilfenóis e alquilfenóis etoxilados: uma visão ambiental.** Revista Brasileira de Toxicologia, Vol. 20, n° 1 e 2, p. 1-12, 2007.

SOARES, A. et al. **Nonylphenol in the environment: A critical review on occurrence, fate toxicity and treatment in wastewaters.** Environment International, Vol. 34, p. 1033–1049, 2008.

TEIXEIRA, Cláudia Poli de Almeida Barêa; JARDIM, Wilson de Figueiredo. **Processos Oxidativos Avançados: Conceitos teóricos.** Caderon temático, volume 3. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, 2004.

VINCENT, Michael D.; SNEDDON, Joseph. **Nonylphenol: An overview and its determination in oysters and wastewaters and preliminary degradation results from laboratory experiments.** Microchemical Journal, n°92, p 112–118, 2009.

XIAOLI, Yan; HUIXIANG, Shi; DAHUI, Wang. **Photoelectrocatalytic Degradation of Phenol Using a TiO₂/Ni Thin-film Electrode.** Korean Journal Chemical Engineering, n° 20, p. 679-684, 2003.

XIN, Yanjun; GAO, Mengchun; WANG, Yicheng; MA, Dong. **Photoelectrocatalytic degradation of 4-nonylphenol in water with WO₃/TiO₂ nanotube array photoelectrodes.** Chemical Engineering Journal, n° 242, p. 162-169, 2014.

YUAN, Hong-Xia; XU, Xu; SIMA, Yang-Hu; XU, Shi-Qing. **Reproductive toxicity effects of 4-nonylphenol with known endocrine disrupting effects and induction of vitellogenin gene expression in silkworm, Bombyx mori.** Chemosphere, n°93, p. 263-268, 2013.

Ziulli, Roberta Lourenço; Jardim, Wilson F. **Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂.** Química Nova, v. 21, p. 319 –326, 1998.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CURSOS HÍDRICOS INTERCEPTADOS POR OBRA DE DUPLICAÇÃO RODOVIÁRIA NO ESTADO DE ALAGOAS

Heberton Júnior dos Santos (Feevale)¹; Vanusca Dalosto Jahno (Feevale)²; Simone Soares Oliveira³
Palavras-chave: Qualidade da água. Monitoramento. Rodovias.

1. INTRODUÇÃO

Em obras rodoviárias, uma das medidas de prevenção de impactos ambientais associadas aos recursos hídricos e amplamente utilizada consiste no monitoramento sistemático da qualidade da água a montante e jusante dos pontos de interferência sobre o ambiente aquático. A partir deste monitoramento, é possível verificar se as obras estão interferindo sobre a qualidade da água, obtendo-se assim subsídios para a adoção de medidas de mitigação.

Esta pesquisa teve por objetivo geral verificar a influência das obras de duplicação rodoviária sobre a qualidade da água de cursos hídricos no estado de Alagoas. Os objetivos específicos foram: i) comparar os dados de qualidade da água com a resolução CONAMA 357/2005, verificando-se as classes de enquadramento de cada parâmetro; ii) avaliar os dados de qualidade da água a montante e jusante dos cursos hídricos interceptados pela obra de pavimentação através do teste *t student*; e, iii) verificar se houveram interferências da obra sobre a qualidade da água e propor medidas de mitigação para prevenir tal impacto. Os resultados da pesquisa permitirão direcionar futuros programas de monitoramento, otimizando os recursos utilizados e garantindo a execução das obras com a manutenção da qualidade ambiental relacionada aos recursos hídricos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O início do processo de desenvolvimento da gestão ambiental no setor rodoviário federal brasileiro ocorreu em 1996 com a internalização do assunto pelo antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER). Desde então, tem-se verificado um progresso contínuo, porém não otimizado, da conscientização ambiental do setor (BRASIL, 2006), com

¹ Engenheiro Ambiental pela Universidade de Passo Fundo (2011) e mestrando do Programa de Pós Graduação em Qualidade Ambiental da Feevale.

² Doutora em Medicina e Ciências da Saúde pela PUCRS (2009), atua no Mestrado em Qualidade Ambiental e no Mestrado em Tecnologias de Materiais e Processos Industriais na Universidade Feevale.

³ Mestre em aquicultura pela FURG (2004) e Bióloga (2001). Atua como Coordenadora de Gestão Ambiental rodoviária.

vistas à redução dos impactos ambientais gerados pelas obras. A resolução CONAMA 01/86 (BRASIL, 1986) define impacto ambiental como sendo:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de gestão dos recursos hídricos, pois possibilita o acompanhamento dos efeitos do uso sobre as características de qualidade da água, subsidiando ações de controle (GUEDES *et al.*, 2012). Soares (2001) e Tucci *et al.* (2003) destacam que o levantamento de informações quali-quantitativas propicia a tomada de decisões com relação ao gerenciamento dos recursos hídricos. Segundo Gallardo (2004), o principal impacto na fase de construção de rodovias está relacionado com alteração na qualidade da água. Assim, a estratégia de analisar pontos a montante (controle) e jusante é amplamente utilizada em programas de monitoramento da como instrumento para mitigação de impactos (GALLARDO, 2004; SHYN *et al.*, 2012).

3. METODOLOGIA

Para esta pesquisas foram utilizados dados do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água de uma obra de duplicação rodoviária no estado de Alagoas. Estes dados foram obtidos junto à empresa de consultoria contratada para a Gestão Ambiental da rodovia. A partir dos relatórios da Gestão, foram extraídos os dados do monitoramento, comparando-se com os limites de classificação da resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos de água doce enquadrados como classe 2 (BRASIL, 2005).

Foram avaliados cinco cursos hídricos a montante e a jusante do ponto de interferência da rodovia, conforme pontos amostrais apresentados na Tabela 1 e parâmetros apresentados na Tabela 2. Foram utilizados dados de 12 campanhas de monitoramento, realizadas com frequência trimestral de 2011 a 2014.

Tabela 1 – Pontos de monitoramento da qualidade da água.

#	Curso Hídrico	Fuso	Coordenadas UTM - Datum SAD 69			
			Montante		Jusante	
1	Rio Jacuípe	25	210762	9017387	210943	9017495
2	Rio Camaragibe	25	201720	8998311	201706	8998078
3	Rio São Miguel	24	817567	8918142	817522	8918153
4	Rio Pau Ferro	24	784489	8905112	784566	8905001
5	Rio São Francisco	24	738583	8870245	738599	8870121

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água avaliados.

#	Parâmetros	Unidade	Limites Resolução CONAMA 357/2005*			
			C1	C2	C3	C4
1	Demanda Bioq. de Oxigênio - DBO ₅	mg/L O ₂	3	5	10	-
2	Oxigênio Dissolvido – OD	mg/L O ₂	≥ 6,0	≥ 5,0	≥ 4,0	> 2,0
3	Temperatura - Temp.	°C	-	-	-	-
4	pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
5	Turbidez - Turb.	UNT	40	100	100	-
6	Óleos e Graxas Totais - O&G	mg/L	V.A.	V.A.	V.A.	Irides.

OBS: (*) Corpos hídricos de água doce; V.A.: Virtualmente Ausentes; Irides.: Iridescências; (-): Não Classificado.

Em seguida, com a utilização do teste *t student* pareado, foram verificadas se houve diferença estatisticamente significante entre os resultados de montante e jusante, utilizando um nível de confiança de 95%. A partir destes resultados, foram propostas medidas de mitigação e diretrizes para futuros programas de monitoramento da qualidade da água.

4. RESULTADOS

Os resultados das campanhas de monitoramento da qualidade da água estão apresentados na Tabela 3 e Tabela 4, correspondendo respectivamente, à comparação com a legislação de referência (resolução CONAMA 357/2005) e aos resultados do teste *t student*. Na Tabela 4, os resultados estatisticamente significativos estão em destaque.

Tabela 3 – Percentagem de resultados dentro do limite de classificação da resolução CONAMA 357/2005 para corpos hídricos de água doce enquadrados como classe 2 (12 campanhas de monitoramento).

Parâmetros	Rio Jacuípe		Rio Camaragibe		Rio São Miguel		Rio Pau Ferro		Rio S. Francisco	
	M	J	M	J	M	J	M	J	M	J
DBO	75	83	100	100	92	100	100	100	100	92
OD	42	42	100	100	75	75	27	27	100	100
Temp.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pH	92	100	92	92	100	100	100	100	100	92
Turb.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
O&G	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

NA: Não Aplicável.

Tabela 4 – Resultados do teste *t student*.

Pontos	DBO	OD	Temp.	pH	Turb.	O&G
Rio Jacuípe	0,3810	0,0730	0,4852	0,3018	0,3245	0,3356
Rio Camaragibe	0,2580	0,0695	0,3897	0,1548	0,3038	0,4651
Rio São Miguel	0,1810	0,2547	0,3177	0,0693	0,4803	0,0238
Rio Pau Ferro	0,1458	0,0004	0,0599	0,3970	0,3974	0,1904
Rio São Francisco	0,3115	0,3682	0,3181	0,0087	0,3607	0,0306

5. DISCUSSÃO

A qualidade da água dos corpos hídricos interceptados pela rodovia em obras para o período avaliado, conforme resultados apresentados anteriormente apresentou alteração

principalmente para os parâmetros OD e DBO. Em comparação com a resolução CONAMA 357/2005, a DBO atendeu ao limite para classe 2 em 75 e 83% dos resultados para montante e jusante, respectivamente no Rio Jacuípe. Neste curso hídrico, também foram encontradas baixas concentrações de OD, com apenas 42% dos resultados atendendo ao limite legal. De maneira geral, o OD foi o parâmetro com maior número de resultados alterados, estando dentro do limite da resolução em 100% dos resultados apenas nos rios Camaragibe e São Francisco.

A análise estatística para verificar diferenças entre os resultados de montante e jusante apresentou resultados significativos ($\alpha = 0,05$) para OD no Rio Pau Ferro ($p=0,0004$), pH no Rio São Francisco ($p=0,087$) e para O&G nos rios São Miguel ($p=0,0238$) e São Francisco ($p=0,0306$). Destes resultados, apenas O&G no rio São Francisco apresentou média das variâncias de montante menor que jusante, caracterizando assim, possível impacto negativo causando pelas obras de duplicação da rodovia. Porém, durante o procedimento de amostragem não foi identificada nenhuma fonte de contaminação provenientes das obras. Assim, tal resultado pode estar relacionado com o despejo de esgoto doméstico sem tratamento proveniente de área urbana no entorno dos pontos de coleta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento da qualidade da água nos cursos hídricos interceptados pela obra de duplicação da rodovia demonstrou que os parâmetros DBO e OD foram os que apresentaram o maior número de alterações em comparação com a legislação de referência. Porém, a análise estatística demonstrou que não houve variações significativas entre montante e jusante. Assim, possíveis fontes de contaminação da qualidade da água estão provavelmente associadas às atividades antrópicas, não tendo relação com as obras.

A exceção foi o Rio São Francisco, onde foi identificada alteração significativa no resultado de O&G de montante para jusante, porém não foi identificada nenhuma fonte de contaminação causada pelas obras. Recomenda-se, assim, a realização de vistorias periódicas nas obras, a intensificação do monitoramento e a utilização de dispositivos para contenção de vazamento de combustível em máquinas e equipamentos como forma de evitar impactos à qualidade da água.

Agradecimentos: à Gestão Ambiental da BR-101/NE e ao DNIT pela disponibilização dos dados do monitoramento da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, 17 fev. 1986.

_____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil** nº 53, 18 mar. 2005.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual para atividades ambientais rodoviárias – IPR 730**. Rio de Janeiro, 2006. 437p.

GALLARDO, A. L. C. F. **Análise das práticas de gestão ambiental da construção da pista descendente da Rodovia Imigrantes**. Tese de doutorado (Engenharia Mineral), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. 295p.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.558–563. 2012.

SHYU, G. S.; CHENG, B. Y. FANG, W. T. The Effect of Developing a Tunnel across a Highway on the Water Quality in an Upstream Reservoir Watershed Area - A Case Study of the Hsuehshan Tunnel in Taiwan. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.9, p.3344-3353. 2012.

SOARES, P. F. **Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia**. Tese de doutorado (Engenharia Hidráulica), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 211p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”. **Bahia Análise & Dados**, v.13, n.Especial, p.357-370. 2003.

AValiação DE UMA TURBINA DE JATEAMENTO

Charles Cordeiro – FEEVALE ¹
Eduardo Luis Schneider – FEEVALE²

Palavras Chave: Teste de Almen. Jateamento. Granalha. Desgaste.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de jateamento são muito utilizados em operações, desde a limpeza de superfícies até a aplicação para a melhoria das propriedades mecânicas, como o aumento de resistência mecânica e de resistência à fadiga dos materiais de componentes em geral.

Os principais parâmetros que determinam a intensidade do jateamento são a velocidade com que a partícula atinge o alvo, a massa da partícula, a quantidade de impactos por unidade de área e o tempo de exposição da peça ao jateamento. Como exposto, são vários parâmetros a influenciar na intensidade e qualidade do jateamento, sendo que o teste de Almen de uma maneira simples revela o resultado da influencia de todos estes parâmetros, sendo assim possível se fazer ajustes destes parâmetros até atingir o resultado desejado, ainda é possível também verificar-se por meio de outros testes de Almen esporádicos a repetitividade dos resultados, e se necessário fazerem-se novos ajustes para colocar o jateamento novamente nos resultados nominais desejados.

Este trabalho aborda o processo de jateamento e analisa uma turbina de jateamento modelo B-306 fabricada pela empresa Brasileira CMV-Construções Mecânicas. Foram realizados experimentos em uma bancada de testes analisando a intensidade e concentração do jateamento através do teste de Almen.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

J.O. Almen em 1942 patenteou nos USA uma maneira de verificar a intensidade do jateamento. Ele se baseou no princípio de que intensidades iguais, em chapas finas geram deformações iguais. Segundo J. O. Almen, a intensidade do jateamento depende da velocidade das partículas, do tamanho das partículas (massa da partícula) e da quantidade de partículas que atingem o alvo, o teste consiste em usar plaquetas (test strips) normatizadas de aço SAE1070, denominadas de plaquetas de Almen, que são subdivididas conforme a sua espessura e denominadas por tipo “A”, “C” e “N”. Todas as plaquetas tem o mesmo acabamento superficial e a mesma dureza. Na tabela 1 abaixo estão dispostas os três tipos de plaquetas, suas espessuras e utilizações (Almen, John O., “Shot Blasting Test”, United States Patent Office, Patent # 2,350,440, 1942). J. O. Almen também padronizou um tipo de suporte para a fixação das plaquetas de teste. Estes suportes são fixados a peça que será jateada e reproduzirá os efeitos que a peça sofreria. Desta maneira é possível se ajustar os parâmetros

1 Engenheiro Mecânico Mestrando em Processos Industriais e ciências dos Materiais na Universidade Feevale.

2 Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, professor de ensino superior na Universidade Feevale.

do processo de jateamento para alcançar o objetivo desejado. As plaquetas quando jateadas por um intervalo de tempo são deformadas formando um arco que posteriormente é medido em um dispositivo também patenteado por Almen e denominado de Almen Gage. A dimensão do arco é denominado de número de Almen e corresponde a intensidade do jateamento, sendo que arcos maiores correspondem a intensidades maiores (Almen, John O., “Shot Blasting Test”, United States Patent Office, Patent # 2,350,440, 1942).

A altura do arco de Almen é a deflexão do centro de uma plaqueta de Almen, esta deflexão quando causada pelo bombardeamento de uma face da plaqueta de Almen por partículas de abrasivo a alta velocidade, é usada como a medida da intensidade do jateamento. A altura do arco é um fator importante e é coberto por normas como SAE J442 e J443 (Kirk 2009). A medida da altura do arco de Almen é muito importante para a indústria do Shot Peening. A principal aplicação é para a aceitação da intensidade do Shot Peening (Kirk 2008).

Tabela 1- Tipos de plaquetas de Almen (fonte Zirtec adaptado)

Tipo	Espessura	Aplicação
Tipo "A"	0,094 ± 0,001"	Utilizada em processos de grande intensidade
Tipo "C"	0,051" ± 0,001"	Utilizadas em processos de média intensidade
Tipo "N"	0,094 ± 0,001"	Utilizada para processos de pequena intensidade

Fonte: elaborado pelo autor

3. METODOLOGIA

A seguir é feita uma descrição do teste e avaliação da turbina de jateamento modelo 306. A bancada de testes utilizada neste trabalho é uma câmara de jateamento especialmente desenvolvida para o teste e avaliação de turbinas de jateamento. Na tabela 2 abaixo estão dispostos os valores dos números de Almen de cada uma das 16 plaquetas espalhadas pelo semicírculo da câmara de testes de jateamento, referente ao resultado da turbina testada, este número traduz a intensidade do jateamento e por estarem de forma distribuída é possível mapear o estado de intensidade de cada ponto.

Figura 1- Vista da parte interna da câmara de jateamento e do semicírculo



Fonte: elaborado pelo autor

Na tabela 2, os valores do número de Almen “antes” e “depois”, estão representados porque as plaquetas de Almen mesmo novas já possuem uma pequena deformação em forma de arco, proveniente do seu processo de fabricação. Assim, as plaquetas são calibradas antes

de serem colocadas em teste, desta forma o resultado que deve ser considerado é a diferença entre o valor inicial e o valor final, que na tabela 2 abaixo é denominado de “diferença”. As plaquetas foram jateadas na bancada de teste pelo tempo de 30 segundos, a potência do motor que aciona a turbina é de 15 cv, com velocidade de 3550 RPM, motor da marca Siemens, com 2 polos e operado a 60 hz. Na figura 1, é mostrada a vista da parte interna da câmara de jateamento com o semicírculo para fixação das plaquetas de Almen.

Tabela 2- Valores do número de Almen do teste realizado na Turbina CMV modelo 306

Nº da plaqueta	Antes	Depois	Diferença
1	0,002	- 0,006	- 0,008
2	0,000	- 0,007	- 0,007
3	0,003	- 0,009	- 0,012
4	0,003	- 0,016	- 0,019
5	0,000	- 0,088	- 0,088
6	0,000	- 0,457	- 0,457
7	0,000	- 0,519	- 0,519
8	0,001	- 0,557	- 0,558
9	0,000	- 0,539	- 0,539
10	0,000	- 0,535	- 0,535
11	0,004	- 0,470	- 0,474
12	0,001	- 0,451	- 0,452
13	0,002	- 0,397	- 0,399
14	0,005	- 0,349	- 0,354
15	0,001	- 0,289	- 0,290
16	0,000	- 0,279	- 0,279
Soma total das intensidades			- 4,990

Fonte: elaborado pelo autor

4. RESULTADOS

No gráfico da figura 2 abaixo, estão plotados os valores extraídos da tabela 2 acima, no eixo x o número da plaqueta de Almen e no eixo y a intensidade do jateamento, sendo possível analisar de forma gráfica a distribuição da intensidade do jateamento ao longo de todo o semicírculo da bancada de testes.

Figura 2 – Resultados obtido com os valores da tabela 2



Fonte: elaborado pelo autor

5. DISCUSSÃO

Como se pode notar pelos valores obtidos a forma como as esferas atingem as plaquetas de Almen não é homogênea, o gráfico 1 ilustra melhor como as esferas se distribuem ao longo das plaquetas. Pode-se notar uma abrupta diminuição de esferas a partir do 12º Almen. A maior concentração está entre o 6º e o 11º Almen, somando 63,86% das esferas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados até agora obtidos mostram que, com os parâmetros empregados, todas as placas se deformaram em função do jateamento, sendo que entre a quinta e a décima segunda encontrou-se os maiores níveis de deformação..

Referências:

Hribernik A., Ačko B., G. Bombek, **Study of shotblasting turbine's efficiency**, The 11th International Research/Expert Conference TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 5-9 September, 2007.

Almen, John O., **Shot Blasting Test**, United States Patent Office, Patent # 2,350,440. (1942). DALY, J.J., JOHNSON, D.E., Computer-Enhanced Shot Peening. *Advanced Materials and Processes*, n.5, pp 49-52, 1990.

FUCHS, H. O., **Regional Tensile Stress as a Measure of the Fatigue Strength of Notched Parts**. Proc. of the International Conference on Mechanical Behavior of Materials. V. II, p. 478-488, Japan, 1971.

Kleppe, R., **Aircraft Applications for the Controlled Shot Peening Process**, SAE Technical Paper 972625, 1997, doi:10.4271/972625.

KUMAR, D., SUBRAT, D., RADHAKRISHNAN, V. M., **Effect of Shot Peening on Fatigue of a Ni-based Superalloy**. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, n. 16, pp. 253-256, 1987.

WELSCH, W., **Shot Peening Finds Applications prior to Heat Treat Process**. *Heat Treating*, October, 1990.

Zirtec - <http://www.zirtec.com.br/html/02-maquinas/05-shot-peening/05-cobertura.php>, acesso em 25/05.



inovamundi
Um mundo para inovar seu conhecimento

AVALIAÇÃO DO USO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO CONTENDO FENOL

Bruno Reginatti da Silveira¹ (UFRGS)

Cláudia Regina Klauck² (FEEVALE)

Marco Antonio Siqueira Rodrigues³ (FEEVALE)

Andréa Moura Bernardes⁴ (UFRGS)

Palavras-chave: fenol; processos oxidativos avançados; ecotoxicologia.

INTRODUÇÃO

As dificuldades no tratamento de efluente contendo compostos refratários fomentam o estudo de novas tecnologias. O fenol figura entre os mais preocupantes poluentes orgânicos devido à alta toxicidade, a dificuldade na degradação deste composto e a característica de se acumular nos organismos, gerando preocupantes concentrações em seres de topo de cadeia alimentar. Nesse contexto os processos eletroquímicos surgem como alternativas viáveis para a oxidação destes poluentes, pois permitem a degradação de compostos altamente tóxicos, não são inibidos por influência de aspectos climáticos e são funcionais em uma ampla faixa de pH. Neste trabalho se investiga a aplicação dos processos de eletrólise (EL) e fotoeletrooxidação (FEO) no tratamento de soluções sintéticas contendo alto teor de fenol, visando um maior entendimento dos produtos gerados por esta metodologia de tratamento, bem como sua viabilidade técnica de aplicação.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

FENOL

O fenol é uma função orgânica caracterizada por uma ou mais hidroxilas ligadas diretamente a um anel aromático. Este composto figura entre os mais preocupantes poluentes orgânicos devido à alta toxicidade, a dificuldade na degradação e a característica de se acumular nos organismos. Apresenta em peixes efeitos genotóxicos, carcinogênicos, imunotóxicos e imunossupressores [Dunier et al., 1993; Bradbury, 1989]. Em presença de cloro, usado em larga escala na fase final do tratamento da água (desinfecção), há

¹ Graduado em Engenharia Ambiental pela UFRGS. Email: brunoreginatti@hotmail.com.

² Doutoranda em Qualidade Ambiental Feevale. Email: claudiark@feevale.br.

³ Doutor em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais pela UFRGS, professor e pesquisador do PPGQA Feevale.

⁴ Doutora em Engenharia de Materiais pela Technische Universität Berlin. Professora e pesquisadora do PPGE3M UFRGS.

possibilidade de formação de clorofenóis, ainda mais tóxicos que o próprio fenol, estes compostos conferem sabor e odor as águas [Xavier, 2012]. Mesmo com toda a problemática relacionada a seu descarte, o fenol é muito utilizado por diversos ramos industriais. No campo de pesquisa ambiental o fenol vem sendo usado como modelo de poluente orgânico aromático refratário e muitos resultados obtidos para este composto vêm sendo utilizados na indústria para o tratamento de diversos efluentes contendo os mais diferentes poluentes orgânicos aromáticos [Busca, 2008].

PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) tem em comum o uso do radical hidroxila como agente oxidante. Este possui alto potencial oxidativo quando comparado a outros agentes oxidantes. As formas de geração desse radical são diversas, como a utilização de ozônio associado a peróxido de hidrogênio, a fotocatalise com dióxido de titânio, o ultrassom, reagente de Fenton e eletrólise com eletrodos de óxidos de metais semicondutores, associados ou não à radiação ultravioleta (UV). Os POAs têm sido utilizados em tratamentos de efluentes aplicados em diversos pontos de processos de tratamento, para remoção de cor e odor [LI, 2004; LI, 2005], a degradação de compostos orgânicos tóxicos [CAVICCHIOLI, 2001], a precipitação de metais [GKIKI, 2005] e a destruição de microrganismos [ROBERTSON, 2005].

Um POA, baseado em processo eletrolítico, de extrema importância dentro do contexto das novas alternativas para a degradação de poluentes, é a fotoeletrooxidação (FEO), que consiste na combinação dos processos de eletrólise e fotocatalise heterogênea [PELEGRINI, 2001]. Dentre as vantagens deste método destacam-se a não utilização de produtos químicos e a não geração de resíduos associados ao processo, como lodos. Muitos estudos têm surgido sobre o uso de FEO na degradação de fenóis e outros compostos aromáticos refratários, organoclorados, efluente de papel e celulose, corantes da indústria têxtil, chorume de aterro sanitário e industrial, entre outros [XAVIER, 2012; WIMMER, 2007; RODRIGUES, 2008; GONZÁLES-MUÑOS et al., 2003].

Entretanto, a degradação de complexos orgânicos por POAs pode gerar compostos intermediários tanto ou mais tóxicos que os compostos iniciais [RIZZO, 2011]. Para avaliar este cenário há necessidade de estudos envolvendo a avaliação da toxicidade e seus impactos sobre diversos organismos (bioindicadores). Estes estudos avaliam a integração dos efeitos de todos os contaminantes presentes sobre o meio ambiente, avaliando as causas do despejo das

mais complexas misturas de poluentes de um modo abrangente e realístico [ANDREOZZI et al., 2002; RIZZO et al., 2009].

O objetivo deste trabalho foi aplicar processos de eletrólise (EL) e fotoeletrooxidação (FEO) no tratamento de soluções sintéticas contendo alto teor de fenol,

METODOLOGIA

Foram preparadas soluções sintéticas de Fenol, com concentração de Fenol de 588mg.kg^{-1} e ácido sulfúrico para ajustar três níveis de pH (0,5; 1 e 3), onde foram aplicados os ensaios de FEO e EL, conforme tabela 1. s. Em todos os tratamentos a densidade de corrente aplicada foi de $3,7\text{ mA.cm}^{-2}$ sendo ajustado a corrente total aplicada pela fonte (em virtude da área superficial do ânodo) de 3,012 A.

Tabela 1: Configurações aplicadas no trabalho.

Nome	Solução	pH	Processo(s) aplicado(s)	Duração (horas)
FEO1	Solução 1	0,5	FEO	5
FEO2	Solução 2	1	FEO	5
FEO3	Solução 3	3	FEO	5
EL	Solução 1	0,5	EL	5
EL+FEO	Solução 1	0,5	EL+FEO	5 + 5

ANÁLISES

As soluções foram analisadas para DQO, DBO_5 e concentração de fenol. A concentração de fenol pode diminuir sem a total mineralização da matéria orgânica. Portanto a DQO foi elegida como análise para determinar o teor de matéria orgânica total persistente ao tratamento, enquanto, a DBO_5 deve analisar a capacidade de biodegradabilidade da matéria orgânica presente na solução tratada. A concentração de fenol foi determinada por cromatografia gasosa.

A análise ecotoxicológica foi realizada junto ao Laboratório de Citogenética Animal, da Universidade Feevale com o bioensaio em *Lactuca sativa* (alface), principalmente pela praticidade e rapidez do método associado a estes organismos-teste. Para a realização deste ensaio foi necessária a regularização dos pHs das amostras para uma faixa entre 6 e 8, conforme prevê a metodologia de análise. Por este motivo uma amostra, chamada de “Branco”, contendo somente sulfato de sódio, produto gerado por esta neutralização, foi analisada objetivando a verificação da interferência causada por este produto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta os resultados da remoção de fenol e DQO, expresso em termos percentuais.

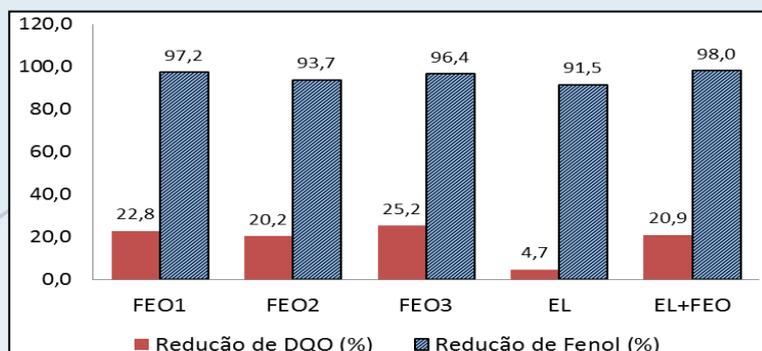


Figura 2: Comparação da redução da concentração de fenol e da DQO entre eletrólise (EL) e fotoeletrooxidação (FEO).

É possível ver que as reduções tanto de fenol quando de matéria orgânica (DQO) são maiores no processo de FEO do que no de EL, já no processo de FEO aplicado à solução após o processo de eletrólise (EL+FEO) houve a maior redução da concentração de fenol, mas a redução de matéria orgânica foi menor. Assim vê-se que é possível reduzir mais o teor de fenol iniciando com a solução já tratada por eletrólise, mas a mineralização da matéria orgânica fica prejudicada, possivelmente pela maior geração de compostos intermediários que possivelmente ocorre durante a eletrólise. Xavier [2012] salienta a dificuldade de degradação eletroquímica de alguns produtos da oxidação do fenol, principalmente os ácidos orgânicos. Estes produtos orgânicos geram demanda química de oxigênio, porém são menos tóxicos e apresentam biodegradabilidade, dependendo da concentração apresentada.

A demanda bioquímica de oxigênio mede o teor de matéria orgânica, em uma solução, que está disponível a biodegradação. Este parâmetro é a medida do oxigênio consumido pelos microrganismos para degradar a matéria orgânica. A DBO de cada um dos processos analisados está apresentada na figura 3.

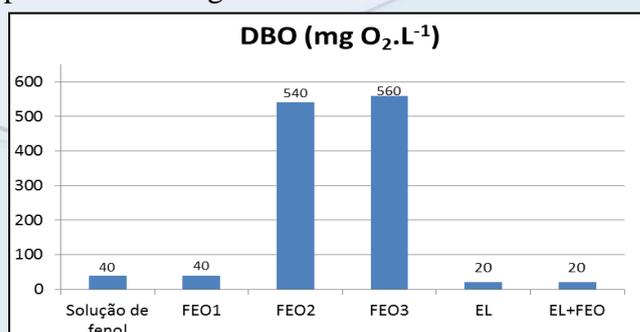


Figura 3: Valores medidos de DBO₅.

No contexto apresentado por este trabalho, a geração de DBO torna-se um resultado desejável, pois a oxidação da matéria orgânica biodegradável pode ser realizada por processos simples e com tecnologias convencionais amplamente utilizadas. A tecnologia mais utilizada para a redução de DBO de efluentes é o tratamento biológico. Para avaliar a viabilidade do uso deste tratamento como complemento aos propostos por este estudo torna-se interessante avaliar qual a relação DQO/DBO, quanto menor for a DQO em relação à DBO mais fácil é a degradação biológica [VAN HAADEL, 1999]. Na Tabela 2 estão apresentados os valores da relação DQO/DBO para os processos avaliados.

Tabela 21: Relação DQO/DBO como análise de biodegradabilidade.

Processo	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)	Relação DQO/DBO
Solução fenol	1575,5	40	39,4
FEO1	1215,9	40	30,4
FEO2	1256,7	540	2,3
FEO3	1178,9	560	2,1
EL	1501,4	20	75,1
EL+FEO	1245,6	20	62,3

Dentre os ensaios as que obtiveram um efluente com maior biodegradabilidade foram FEO2 e FEO3, em comum esses processos foram os que utilizaram soluções com pH menos ácido. Os resultados de DBO confirmam a hipótese levantada de que o processo de FEO está transformando o fenol em ácidos orgânicos. Esse caminho foi evidenciado por Xavier [2012], que analisou a concentração de ácidos orgânicos em soluções contendo fenol tratadas por FEO e EL, obtendo uma maior concentração destes compostos nos processos de FEO. Além disso, o autor analisou a concentração de quinonas nestas mesmas soluções, obtendo como resultado a verificação da presença de benzoquinona apenas nas soluções tratadas por EL, evidenciando, portanto a capacidade do processo de FEO de transformar o fenol em produtos menos tóxicos.

ANÁLISE COM *LACTUCA SATIVA*

Para os ensaios com a espécie *Lactuca sativa* foram usadas sementes da espécie, que foram expostas as soluções a serem analisadas. Após o tempo proposto para o ensaio (120 h) foi avaliado o crescimento da raiz.

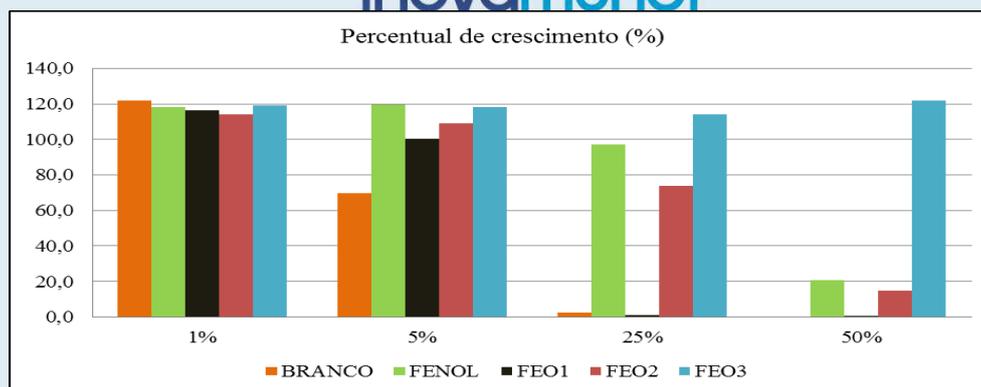


Figura 4: Análise de toxicidade: crescimento em relação ao controle (espécie *Lactuca sativa*).

Nota-se que a espécie *Lactuca sativa* se mostrou sensível aos sais gerados pelo processo de neutralização da solução. A reação envolvida é: $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$.

O único produto desta reação capaz de gerar toxicidade é o sulfato de sódio (Na_2SO_4). Apenas a solução FEO3 não apresentou variação em nenhuma das concentrações testadas, este resultado pode ser explicado pela sensibilidade da espécie ao sulfato de sódio. Dentre todas as soluções a menos ácida é a solução 3 e para esta o uso de hidróxido de sódio, para a neutralização da solução, foi menor. Assim a solução 3 tratada por FEO é a que possui menor concentração de sulfato de sódio, exceto a solução de fenol que não necessitou ajuste de pH para a análise.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos de fotoeletrooxidação e de eletrólise se mostraram eficazes para a degradação de fenol, removendo mais de 90% da concentração inicial. Entre os processos, o uso de FEO obteve uma redução significativamente maior do que o processo de eletrólise, atingindo mais de 97% de remoção.

A mineralização da matéria orgânica foi parcial em ambos os processos. O processo de FEO obteve maior redução da matéria orgânica que o processo de eletrólise, atingindo 25% de redução da matéria orgânica total.

Adicionalmente, as soluções de pH menos ácido (pH 1 e 3) tratadas por FEO geraram efluentes com matéria orgânica carbonácea biodegradável. A relação DQO/DBO obtida ficou abaixo de 2,5 em ambos os pHs. Portanto a FEO mostrou-se eficaz como um pré-tratamento para o processo biológico de oxidação da matéria orgânica.

Quanto a toxicidade, os bioensaios mostraram que a espécie *Lactuca sativa* apresentou sensibilidade ao sulfato de sódio, produto gerado no processo de neutralização de pH, uma vez que a amostra menos tóxica foi a FEO3, onde utilizou-se menos sulfato de sódio para o ajuste de pH.

O processo de FEO gera um consumo de energia elétrica maior do que o processo de EL, em virtude da utilização de uma lâmpada UV. Houve maior geração de cor ao efluente causada pelo processo de FEO em relação ao processo de EL.

Estas tecnologias, mostraram-se viáveis para a degradação de fenol em modelo de bancada. Estudos, envolvendo a utilização de efluentes reais em modelo piloto contendo fenol estão sendo conduzidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOZZI, R.; MAROTTA, R.; PINTO, G.; POLLIO, A. **Carbamazepine in water: persistence in the environment, ozonation treatment and preliminary assessment n algal toxicity.** v.36, p. 2869-2877, 2002.

BRADBURY S.P.; HENRY, T.R.; et al., V.M. **Use of respiratory cardiovascular responses of rainbow trout *Salmo gairdneri* in identifying acute toxicity syndromes in fish Part 3. Polar narcotics.** Environ Toxicol Chem 8, 247-261, 1989.

BUSCA, G.; BARARDINELLI, S.; et al. **Technologies for the removal of phenol from fluid streams: a short review of recent development.** Journal of Hazardous Materials, 160, 265-288, 2008.

CAVICCHIOLI, A.; GUTZ, I. G. R., **In-Line TiO₂-assisted Photodigestion of organic Matter in Aqueous Solution for Voltammetric Flow Analysis of Heavy Metals in Water Samples,** Analytica Chimica Acta, v. 445, p 127-138, 2001.

DUNIER, M.; SIWICKI A.K. **Effects of pesticides and other organic pollutants in the aquatic environmental on immunity of fish: a review.** Fish and Shellfish Immunol. 3, 423-438, 1993.

GKIKI, E.; TROUPIS, A.; HISKIA, A.; Papaconstantinou, E., **“Photocatalytic Reduction of Chromium and Oxidation of Organics by Polyoxometalates,** Applied Catalysis B: Environmental, v. 62, p 28–34, 2005.

GONZÁLEZ-MUÑOZ, M.J.; LUQUE, S.; et al. **Recovery of phenol from aqueous solutions using hollow fiber contactors.** Journal of Membrane Science, 213, 181-193, 2003.

LI, F. B.; LI, X. Z.; HOU, M. F., **Photocatalytic Degradation of 2-mercaptobenzothiazole in Aqueous La³⁺-TiO₂ Suspension for Odor Control**, Applied Catalysis B: Environmental, 2004.

LI, X., CUI, Y., FENG, Y., XIE, Z., GU, J., **Reaction pathways and mechanisms of the electrochemical degradation of phenol on different electrodes**, Water Research, 39, 1972-1981, 2005.

PELEGRINI, R.T.; FREIRE, R. S.; DURÁN, N.; BERTAZZOLI, R., **Photo assisted Electrochemical Degradation of Organic Pollutants on a DSA Type Oxide Electrode: Process Test for a Phenol Synthetic Solution and Its Application for the E1 Bleach Kraft Mill Effluent**, Environmental Science & Technology, v. 35, p 2849-2853, 2001.

RIZZO, L., **Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment**. Water Research. V.45. p.4311-4340, 2011.

RIZZO, L.; MERIC, S.; KASSINOS, D.; GUIDA, M.; RUSSO, F.; BELGIORNO, V., **Degradation of diclofenac by TiO₂ photocatalysis: UV absorbance kinetics and process evaluation through a set of toxicity bioassays**. Water Research. V.43, p.979-988, 2009.

ROBERTSON, J. M. C.; ROBERTSON, P. K. J.; LAWTON, L. A., **A Comparison of the Effectiveness of TiO₂ Photocatalysis and UVA Photolysis for the Destruction of Three Pathogenic Micro-organisms**, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 2005.

RODRIGUES, K.A.; SAMPAIO, G.M.M.S.; et al. **Biodegradação de fenol por *aspergillus niger* em água residuária sintética**. Apresentado no 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. (1999). **O comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e Aplicações para Projetos e Operações**, Egraf, 472p., Campina Grande, PB.

WIMMER, A.C.S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas e Materiais) Pontifícia Universidade Católica do Rio do Janeiro.

XAVIER, J.L.M. 2012. **Aplicação de Técnicas Eletroquímicas na Degradação de Poluentes Orgânicos Refratários**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL PRELIMINAR DE UMA TURBINA DE JATEAMENTO UTILIZANDO ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS.

Anderson Braun – FEEVALE¹
Charles Amaral de Jesus Cordeiro – FEEVALE²
Eduardo Luis Schneider – FEEVALE³

Palavras Chave: Turbina. Jateamento. Método de Elementos Finitos. Análise Modal. Análise Estrutural.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a utilização de novos produtos e novos materiais vêm crescendo nos últimos anos. As novas tecnologias, *softwares* e processos cada vez mais reduzem os custos e também melhoram seu desempenho. Neste contexto, o uso de ferramentas de simulação numérica se destaca pela facilidade de aplicação e possibilidade de teste de diversas opções de projeto e diferentes tipos de materiais em ambiente virtual.

Preliminarmente ao estudo fluidodinâmico e de desgaste que serão realizados em uma turbina de jateamento, são necessárias informações de desempenho estrutural dos materiais utilizados, com o intuito de fornecer dados de entrada e possibilitar a comparação com os resultados futuros das análises. Justifica-se então, a realização de uma verificação estrutural do conjunto da turbina (carcaça e rotor) com o objetivo geral de fornecer dados e definir a condição estrutural inicial do sistema. Como objetivos específicos elencam-se a pesquisa bibliográfica sobre o tema, a realização das análises modais dos conjuntos da carcaça e do rotor da turbina, a realização da análise estrutural (deformação e tensão) da carcaça e do rotor da turbina e a compilação das informações em um banco de dados para utilização futura. O procedimento metodológico consiste em aproximar os resultados das simulações, utilizando métodos numéricos para redução do erro associado ao método, visto que resultados de cálculo estrutural não estão disponíveis para validação dos modelos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ribeiro (2009) indica que “grande parte dos problemas de engenharia pode ser formulada através dos princípios gerais da Mecânica do Contínuo”. Nesse conceito a matéria é tratada como sendo um meio contínuo, sem vazios interiores. O conceito de contínuo permite a definição do ponto geométrico por um limite matemático tal como na definição de derivadas no cálculo infinitesimal. Equações diferenciais são utilizadas para descrever os fenômenos físicos atuantes. Assim, os efeitos da constituição interna molecular dos materiais são levados em conta de forma macroscópica através das equações constitutivas do material. Casas e Ferreira (1998) citam que “o método dos elementos finitos tem sua origem em

1 Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos, aluno de aprimoramento científico e professor de ensino superior na Universidade Feevale.

2 Engenheiro Mecânico, aluno do Mestrado Prof. em Tecnologia de Mat. e Processos na Universidade Feevalee.

3 Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, professor de ensino superior na Universidade Feevale.

processos de análise de estruturas propostos nos séculos XVIII e XIX, e em sua configuração atual resulta da confluência de desenvolvimentos na mecânica, matemática, análise numérica e computação”.

Petry (2002) apresenta o Método dos Elementos Finitos (MEF) como “uma generalização dos métodos variacionais clássicos e de resíduos ponderados, onde o domínio completo é dividido em subdomínios (elementos finitos)”, permitindo que as funções de aproximação necessárias para a solução do problema variacional ou de resíduos ponderados sejam obtidas de forma sistemática. As equações de elementos finitos são deduzidas a partir das formulações variacionais ou de resíduos ponderados do problema. Ansys (2015) indica que “uma análise estática estrutural determina os deslocamentos, tensões, deformações e forças em estruturas ou componentes, causadas por carregamentos”. Segundo Roylence (2001) “o MEF tornou-se trivial nos últimos anos [...], soluções numéricas para os mais complicados problemas de tensão podem ser obtidos rotineiramente utilizando o método”. Porém, conforme indicam Marques, Braun e Moura (2013) “apenas as simulações numéricas não validam o estudo. Muitas vezes é necessário experimentos em escalas ou reais, conhecidos como protótipos físicos”. Assim, o uso do MEF implica em grandes vantagens, pela agilidade de aplicação, possibilidade de avaliação de diversas escolhas de projeto e de materiais e pela rapidez na obtenção de resultados com boa qualidade para aplicação em um produto real.

3. METODOLOGIA

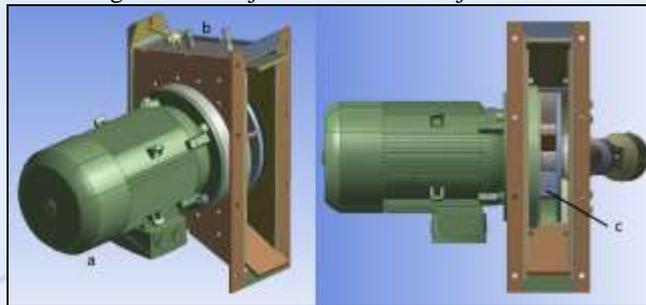
O projeto inicial da turbina utilizada nessa análise foi baseado em uma turbina já existente, assim no desenvolvimento inicial do projeto não foi realizada uma etapa de simulação numérica. Além disso, o desenvolvimento do projeto não possui uma memória de cálculo estrutural que possa ser utilizada como dado de comparação com os resultados computacionais. Dessa forma, foram realizadas simulações por MEF com o intuito de aproximar os resultados de frequências de vibração (análise modal) e de deslocamentos e tensões nos conjuntos para levantamento de dados experimentais iniciais para utilização em análises futuras. A metodologia empregada na realização das análises do MEF segue as etapas de preparação das geometrias, aplicação das condições de contorno iniciais, geração das malhas, processamento pelo *solver* de elementos finitos e pós-processamento para visualização dos resultados obtidos, onde foi utilizado o programa Ansys Workbench 15 para realização destas.

O conjunto da turbina foi modelado em componentes tridimensionais, onde foram realizadas análises modais (frequências de vibração) e estruturais da carcaça e do rotor. Nesse trabalho, é apresentada a análise estática estrutural da carcaça da máquina, sendo analisadas as tensões resultantes da carga aplicada.

4. RESULTADOS

Figura 1, onde estão identificados o motor (a), a carcaça da turbina (b) e o rotor de propulsão (c).

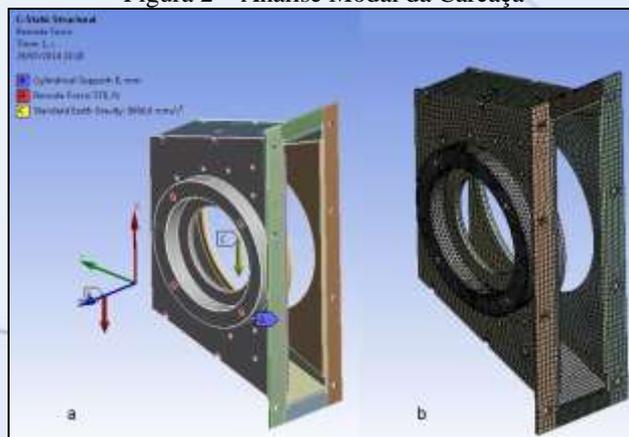
Figura 1 – Conjunto da turbina de jateamento



Fonte: elaborado pelo autor

A Figura 2 mostra as condições de contorno aplicadas no conjunto e a malha gerada no modelo. À direita (a) são mostradas as condições de restrição e carregamento da estrutura.

Figura 2 – Análise Modal da Carcaça



Fonte: elaborado pelo autor

O conjunto teve o movimento restrito com uma condição de suporte cilíndrico nos oito furos de fixação do flange indicados pela seta “A”, o carregamento representado pela massa do motor elétrico foi aplicado com uma condição de carga remota, indicada pela seta “B”, com intensidade de 570 N. A seta “C” indica a direção da aceleração da gravidade. À esquerda (b) aparece a malha gerada com 26.737 elementos predominantemente tetraédricos e hexaédricos e 87.779 nós com qualidade de elemento média de 0,74. Para obter a malha final utilizada, foram realizadas operações de refino de malha. A Tabela 1 apresenta os resultados encontrados no processo de alteração da malha.

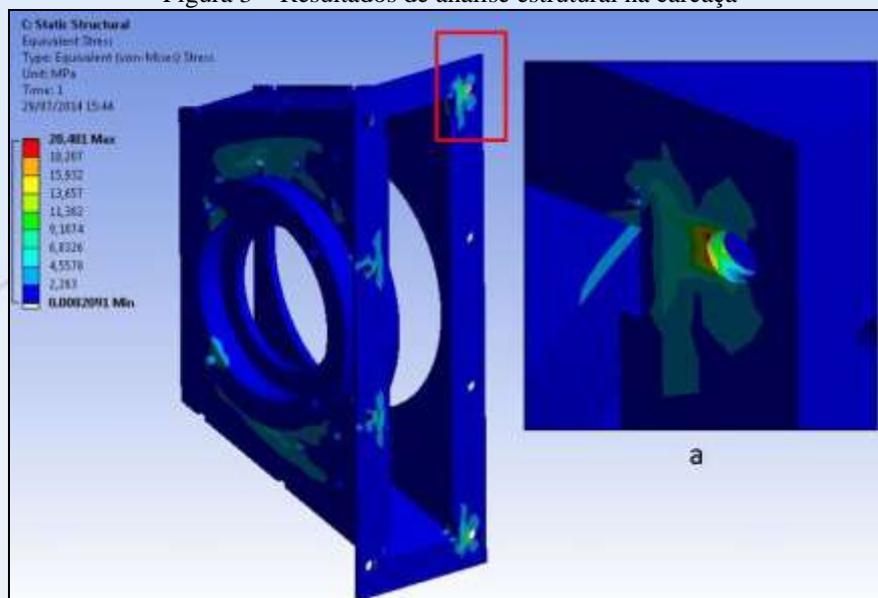
Tabela 1 – Resultados de refino de malha

Elementos	Nós	Tensão (MPa)	Diferença (%)
15687	51501	26	--
20688	67919	22	15%
22674	74439	21	5%
26737	87779	20	5%

Fonte: elaborado pelo autor

Após a estabilização do resultado de tensão encontrado, a malha foi considerada adequada. A Figura 3 demonstra os resultados encontrados na simulação.

Figura 3 – Resultados de análise estrutural na carcaça



Fonte: elaborado pelo autor

Os perfis de tensão encontrados estão com valores mais elevados nas regiões de fixação do conjunto, conforme mostra o detalhe (a) indicado na imagem pelo retângulo vermelho na Figura 3.

5. DISCUSSÃO

A metodologia adotada para realização da análise estrutural seguiu as etapas indicadas no referencial teórico pesquisado, onde o conjunto foi simplificado, condições específicas de restrição e carga foram aplicadas e uma malha foi gerada, sendo o resultado obtido pela resolução do problema pelo programa de elementos finitos. As condições de contorno aplicadas são coerentes com a situação real de restrição de movimento e carregamento da estrutura, gerando assim um perfil de tensões do tipo tração-compressão no flange de fixação do motor elétrica, conforme demonstrado na Figura 3, com valores mais altos na região de engaste da carcaça.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados na simulação estrutural indicam que o conjunto está adequado para a situação de carregamento utilizada, pois as tensões encontradas são baixas, com valores máximos de 20 MPa, quando o material utilizado (aço-manganês) apresenta uma tensão de escoamento de cerca de 400 MPa. Em relação aos demais resultados obtidos nas análises modais e de deslocamento da estrutura, estas representam um compilado de informações a serem utilizadas nos estudos futuros de escoamento da estrutura. A revisão bibliográfica realizada foi utilizada para orientar os procedimentos metodológicos adotados, atingindo o objetivo proposto inicialmente na realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANSYS. **Análise Estática Estrutural: Introdução**. Ansys Help Viewer. EUA. 2015.

CASAS, E. B. L. ; FERREIRA, F. A. P. **Simulação da Estampagem de Chapas Finas pelo MEF**. In: CICTE-98, 1998, São Carlos. Anais. São Carlos : USP, 1998.

MARQUES, J. BRAUN, A. MOURA, A. B. D. **Numerical Evaluation of the Pre-Collector of a Hot Mix Asphalt Plant**. 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013). Ribeirão Preto. SP. Brazil. 2013

PETRY A. P. **Análise Numérica de escoamentos Turbulentos Tridimensionais Empregando o Método de Elementos Finitos e Simulações de Grandes Escalas**. Tese de Doutorado. Porto Alegre. UFRGS. 2002

RIBEIRO, F. L. B. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos** – Programa de Engenharia Civil, COPPE. UFRJ. 2009

ROYLANCE, D. **Análise de Elementos Finitos**. Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais. Instituto de Tecnologia de Massachusett (MIT). EUA. 2001

CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA DO SISTEMA DE OSMOSE INVERSA

Luciana Ely Bacher, Universidade Feevale.

Iona Souza Lemmert, Universidade Feevale.

Carla Deniza Venzke, Universidade Feevale.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues, Universidade Feevale.

Palavras-chave: osmose inversa. membranas seletivas. caracterização da membrana.

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a membrana de Osmose Inversa do equipamento da Marca PAM Membranas Seletivas, com capacidade produtiva de $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$, composto de um módulo de membrana da marca DOW Filmtec Membranes, modelo BW30-4040, composta de poliamida, com uma área de membrana equivalente a $7,2 \text{ m}^2$. Através desses ensaios tem-se como avaliar a permeabilidade hidráulica da membrana, bem como certificar-se do fator de rejeição aos sais, comparando-se com o valor dado no manual do Sistema de Osmose Inversa pelo fabricante.

Luciana Ely Bacher, Eng. Química- UFRGS, Mestre Qualidade Ambiental-Universidade Feevale, aluna de aperfeiçoamento científico.

Iona Souza Lemmert- Eng. Industrial Química, Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos industriais, Universidade Feevale

Carla Denize Venzke, graduada em Gestão Ambiental (IFSul), Especialista em Gestão da Qualidade para o Meio Ambiente (PUCRS) e mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues- Químico Industrial – UFRGS, mestre e doutor em Eng. De Minas,

metalgia e materiais UFRGS, professor do curso de Mestrado do Programa de Qualidade Ambiental-Universidade Feevale

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Processo de Separação por Membranas (PSM) é caracterizado pela separação de partículas de pequenos diâmetros, moléculas, compostos iônicos, cor, (contaminantes), dissolvidos na corrente líquida (alimentação), através membranas semipermeáveis, comentam Wagner (2001) e Mierzwa e Hespanhol (2005). Estes processos podem ser utilizados para separação do sal da água do mar, concentração de sucos, remoção de corantes, tratamento de águas industriais e efluentes, tratamento para consumo humano, recuperação de solventes, entre outros, comentam Carvalho et al (2001), Ludwig (2010) e Wang e Zhou (2013). Os tipos de processos de SPM são: microfiltração, nanofiltração, osmose inversa, ultrafiltração e eletrodialise.

A Osmose Inversa (OI) processo que é capaz de reverter o processo natural de osmose (pressão osmótica), que é a passagem de um solvente do meio menos concentrado (hipotônica) para o mais concentrado (hipertônico), através de uma membrana semipermeável (permeáveis à água e impermeáveis ao contaminante), separando contaminantes, geralmente da água. Este fenômeno ocorre devido à presença do soluto que ocasiona uma queda no potencial químico do solvente na solução provocando um gradiente de potencial químico entre os dois lados da membrana, sendo transposto devido à alta pressão aplicada ao sistema, explicam Rothbarth e Garud et al. (2011). As membranas utilizadas neste processo são compostas por polímeros, como poliamidas e acetato de celulose, são densas, ou seja, não possuem poros. Esse processo é aplicado para o tratamento de efluentes com uma concentração de sais dissolvidos variando de 5,0 até 34.000 mg/L, podendo-se obter uma recuperação de água superior a 90 %, em relação ao volume de efluente alimentado ao sistema, comenta Wagner (2001).

Luciana Ely Bacher, Eng. Química- UFRGS, Mestre Qualidade Ambiental-Universidade Feevale, aluna de aperfeiçoamento científico.

Iona Souza Lemmert- Eng. Industrial Química, Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos industriais, Universidade Feevale

Carla Denize Venzke, graduada em Gestão Ambiental (IFSul), Especialista em Gestão da Qualidade para o Meio Ambiente (PUCRS) e mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues- Químico Industrial – UFRGS, mestre e doutor em Eng. De Minas,

metalúrgica e materiais- UFRGS, professor do curso de Mestrado do Programa de Qualidade Ambiental- Universidade Feevale

METODOLOGIA

Inicialmente, a membrana foi submetida a uma compactação, utilizando-se água como solução e estabilizando-se a pressão em 15 bar (pressão esta em que serão executados os testes na OI) e medindo-se o fluxo do permeado, a cada 10 minutos, na primeira meia hora, e após este tempo foi aumentado para 15 minutos, até completar 3 horas de passagem da água pela membrana.

Após realizada a compactação da membrana da OI, foi iniciado o ensaio de permeabilidade hidráulica. Neste ensaio, foram estabelecidos 5 pontos distintos de pressão (3, 5, 7, 10 e 15 bar) e em cada ponto de pressão, passados 20 min para cada pressão, foram medidas as respectivas vazões.

Para o ensaio do fator de rejeição aos sais Na_2SO_4 e NaCl , da membrana, foi feita uma solução de 2,0 g/L de cada sal, estabilizou-se a pressão a 15 bar, e mediu-se após os primeiros 3 minutos a condutividade do tanque de alimentação. Passados 30 minutos, mediu-se novamente a condutividade no tanque de alimentação e do permeado. Fez-se uma média da condutividade do tanque para ser utilizada no fator de rejeição.

Para a construção da curva de calibração dos sais foi feita uma solução de Na_2SO_4 e NaCl , na concentração de 2,5 g/L e foram realizadas diluições (10, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 mg/L) destes sais. A seguir, foram analisadas suas respectivas condutividades nessas concentrações e a partir destes valores foram estabelecidas as curvas de calibração dos sais. A partir do coeficiente angular da reta, para cada sal, obteve-se a concentração devida. Dessa forma, calculou-se o fator de rejeição aos sais, utilizando-se as concentrações aos 3 min e aos 30 min, encontradas a partir da curva de calibração dos sais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos ensaios realizados na caracterização das membranas estão demonstrados a seguir: Figura 1: da Compactação da membrana.

Luciana Ely Bacher, Eng. Química- UFRGS, Mestre Qualidade Ambiental-Universidade Feevale, aluna de aperfeiçoamento científico.

Iona Souza Lemmert- Eng. Industrial Química, Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos industriais, Universidade Feevale

Carla Denize Venzke, graduada em Gestão Ambiental (IFSul), Especialista em Gestão da Qualidade para o Meio Ambiente (PUCRS) e mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues- Químico Industrial – UFRGS, mestre e doutor em Eng. De Minas,

metalúrgica e materiais- UFRGS, professor do curso de Mestrado do Programa de Qualidade Ambiental- Universidade Feevale

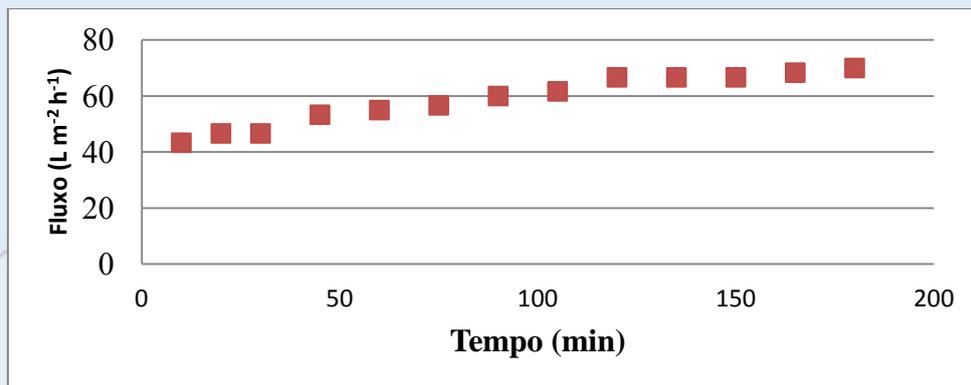


Figura 1 – Compactação da Membrana de OI

Para a permeabilidade hidráulica da membrana foram obtidos os seguintes resultados demonstrados na Figura 2 – Permeabilidade Hidráulica OI.

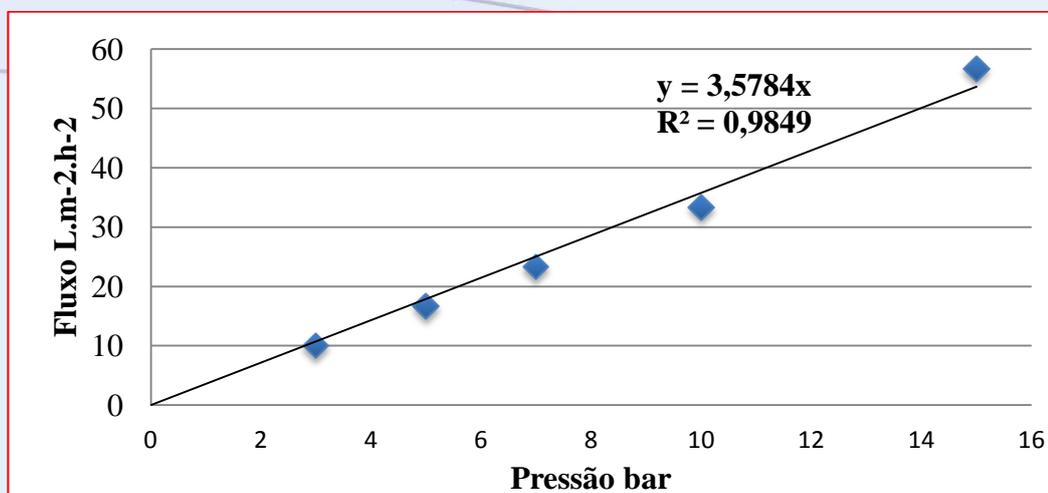


Figura 2 - Permeabilidade Hidráulica da OI

Luciana Ely Bacher, Eng. Química- UFRGS, Mestre Qualidade Ambiental-Universidade Feevale, aluna de aperfeiçoamento científico.

Iona Souza Lemmert- Eng. Industrial Química, Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos industriais, Universidade Feevale

Carla Denize Venzke, graduada em Gestão Ambiental (IFSul), Especialista em Gestão da Qualidade para o Meio Ambiente (PUCRS) e mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues- Químico Industrial – UFRGS, mestre e doutor em Eng. De Minas, metalúrgica e materiais- UFRGS, professor do curso de Mestrado do Programa de Qualidade Ambiental- Universidade Feevale

O cálculo do fator (%) de rejeição é obtido através da equação 1.

$$\% REJEIÇÃO = \frac{\text{Conc. Inicial} - \text{Conc. Final}}{\text{Conc. Inicial}} \times 100$$

Equação 1

O quadro 1 apresenta as rejeições aos sais NaCl e Na₂SO₄ da OI.

Quadro 1. Fator de rejeição aos sais NaCl e Na₂SO₄.

Membrana	Fator de Rejeição (%)	
	NaCl	Na ₂ SO ₄
BW30-4040	99,20	99,80

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a permeabilidade hidráulica da membrana, o coeficiente angular da reta obtida representa sua permeabilidade, expressa normalmente em L/h.m².bar. Pois, nos processos com membranas onde o gradiente de pressão é a força motriz para o transporte, o fluxo de água pura pode ser descrito pela lei de Darcy e apresenta uma dependência linear com a diferença de pressão através da membrana. Neste ensaio, foi obtido o valor de 3,58 L/h.m².bar, um valor superior ao característico das membranas de OI, normalmente em torno de 2,0 L/h.m².bar.

Os fatores de rejeição aos sais: 99,80% ao Na₂SO₄ e 99,20% ao NaCl, estão de acordo com os valores dados pelo fabricante (Dow Filmtec Membranes).

Após concluir a caracterização da membrana do equipamento de OI, é possível iniciar os testes com a água industrial e outros efluentes.

Luciana Ely Bacher, Eng. Química- UFRGS, Mestre Qualidade Ambiental-Universidade Feevale, aluna de aperfeiçoamento científico.

Iona Souza Lemmert- Eng. Industrial Química, Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos industriais, Universidade Feevale

Carla Denize Venzke, graduada em Gestão Ambiental (IFSul), Especialista em Gestão da Qualidade para o Meio Ambiente (PUCRS) e mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues- Químico Industrial – UFRGS, mestre e doutor em Eng. De Minas,

metalúrgica e materiais- UFRGS, professor do curso de Mestrado do Programa de Qualidade Ambiental- Universidade Feevale

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, R. B. de, BORGES, C. P., NOBREGA, R. **Formação de Membranas Planas Celulósicas por Espalhamento Duplo para os Processos de Nanofiltração e Osmose Inversa.** Programa de engenharia Química, COPPE, UFRJ, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 11, nº 2, p. 65-75, 2001.

GARUD, R.M., KORE, S.V., KULKARNI, G.S. **A short review on Process and Application os Reverse Osmosis.** Universal Journal of Environmental Research and Technology , vol. 1, pág. 233-238, 2011.

LUDWIG, H. **Energy consumption of reverse osmosis seawater desalination – possibilities for its optimisation in design and operation of SWRO plants.** Desalination and water Treatment, pag. 13-25, January, 2010.

MIERZWA, José Carlos. HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reuso.** Oficina do texto. São Paulo, 2005.

ROTHBARTH, Arno. **As tecnologias para tratamento de água.** Ano X, edição nº 50, 2011. Disponível em:
<http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=1249> Acessado em: 12 março de 2014.

WAGNER, J. **Membrane Filtration Handbook Practical Tips and Hints.** 2ed. Osmonics, 2001.

WANG, H., ZHOU, H. **Understand the basics od Membrane Filtration.** American Institute os Chemical Engineers,, abril, 2013.

Luciana Ely Bacher, Eng. Química- UFRGS, Mestre Qualidade Ambiental-Universidade Feevale, aluna de aperfeiçoamento científico.

Iona Souza Lemmert- Eng. Industrial Química, Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos industriais, Universidade Feevale

Carla Denize Venzke, graduada em Gestão Ambiental (IFSul), Especialista em Gestão da Qualidade para o Meio |Ambiente (PUCRS) e mestranda em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais.

Marco Antônio Siqueira Rodrigues- Químico Industrial – UFRGS, mestre e doutor em Eng. De Minas, metalúrgica e materiais- UFRGS, professor do curso de Mestrado do Programa de Qualidade Ambiental- Universidade Feevale



inovamundi
Um mundo para inovar seu conhecimento

CARACTERIZACIÓN DE MEMBRANAS DE INTERCAMBIO ANIÓNICO A PARTIR DE MATERIALES CERÁMICOS PARA SU USO EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

Manuel César Martí Calatayud¹, Montserrat García Gabaldón², S. Mestre³, Valentín Pérez Herranz⁴

Universitat Politècnica de València (UPV, Spain)

Palabras clave: membranas de intercambio aniónico, electrodiálisis, cronopotenciometría, membranas cerámicas

INTRODUCCIÓN

Los procesos electroquímicos de membrana constituyen una alternativa emergente para el tratamiento de efluentes industriales, puesto que pueden permitir la recuperación de metales preciosos con un alto valor añadido, y la reutilización de cantidades importantes de agua en los procesos industriales. Sin embargo, los materiales poliméricos que se utilizan para la producción de membranas de intercambio iónico suelen ser susceptibles a una degradación rápida en ambientes oxidantes y radioactivos. Por tanto, es imprescindible desarrollar nuevas membranas de intercambio iónico con propiedades electroquímicas y de durabilidad óptimas, así como con un coste económico reducido, con el fin de facilitar una mayor introducción de la electrodiálisis como tecnología limpia y sostenible para el tratamiento de efluentes industriales.

En este estudio se presentan una serie de membranas de intercambio aniónico producidas exclusivamente a partir de materiales cerámicos, los cuales son más resistentes frente a ambientes agresivos que los materiales poliméricos. En concreto, se utilizaron soportes microporosos fabricados a partir de una mezcla de caolín y alúmina, cuyos poros se impregnaron con partículas de óxido de circonio hidratado (intercambiador aniónico).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El desarrollo de materiales conductores de iones con elevada durabilidad ha sido un tema de elevada relevancia en diferentes campos de aplicación de las membranas de intercambio iónico, como son la industria cloro-alcalina, las pilas de combustible, o la electrodiálisis [1]. A este respecto, las membranas poliméricas Nafion constituyen un referente debido a sus excelentes propiedades conductoras y de resistencia química. Sin embargo, su elevado coste resulta prohibitivo en multitud de aplicaciones. Otros enfoques que se han intensificado recientemente consisten en sintetizar membranas de intercambio iónico a partir de materiales cerámicos. En concreto, la

¹ Se graduó en Ingeniería Química en 2009 y actualmente es doctorando en la UPV. Su actividad investigadora se centra en el desarrollo de procesos electroquímicos de membrana para el tratamiento de efluentes industriales.

² Obtuvo el grado de Doctora en Ingeniería Química en 2005 y actualmente es profesora de Ingeniería Química en el Departamento de Ingeniería Química de la UPV.

³ Es profesor titular y director del departamento de Ingeniería Química en la Universitat Jaume I de Castellón (España).

⁴ Es catedrático por la UPV, obtuvo el grado de doctor en Químicas en 1994 y actualmente dirige Departamento de Ingeniería Química y Nuclear de la UPV.

utilización de estructuras porosas como soportes que alberguen partículas activas en su interior puede contribuir de forma significativa a la obtención de membranas a un coste significativamente reducido [2]. En este sentido, se han utilizado diferentes partículas activas que han demostrado ser materiales válidos para la fabricación de membranas de intercambio iónico, tales como el fosfato de circonio [3].

METODOLOGÍA

Diferentes soportes cerámicos porosos se sintetizaron por prensado en seco a partir de mezclas de caolín (40% en peso) y alúmina (40% en peso), a las cuales se les añadió almidón (20% en peso) como formador de poros. A continuación las muestras se sometieron a un tratamiento térmico, durante el cual las partículas de almidón se oxidan y dan lugar a poros de diferente tamaño. Una vez formados los soportes porosos, las partículas de óxido de circonio hidratado se infiltraron en las paredes de los poros mediante precipitación directa. La porosidad de las membranas se determinó mediante técnicas de intrusión de mercurio y la capacidad de intercambio aniónico se determinó aplicando sucesivas etapas de inmersión en disoluciones en primer lugar de NaOH 0.5M, y después en HCl 0.01M. De esta forma, la cantidad de cargas fijas de la membrana se puede determinar midiendo el cambio en la acidez de la última disolución de HCl producido como consecuencia de la sustitución en la membrana de los iones OH^- por iones Cl^- .

El comportamiento electroquímico de las membranas de investigó mediante cronopotenciometría. El montaje experimental utilizado en los ensayos cronopotenciométricos se muestra en la Figura 1. La celda consta de tres compartimentos separados por la membrana de intercambio aniónica cerámica y una membrana catiónica auxiliar. Los ensayos consisten en aplicar pulsos de diferentes valores de intensidad entre cátodo y ánodo, y medir la caída de potencial a través de la membrana (U_m) mediante dos electrodos de referencia de Ag/AgCl. Se utilizaron disoluciones de HCl 0.05M para realizar los ensayos cronopotenciométricos.

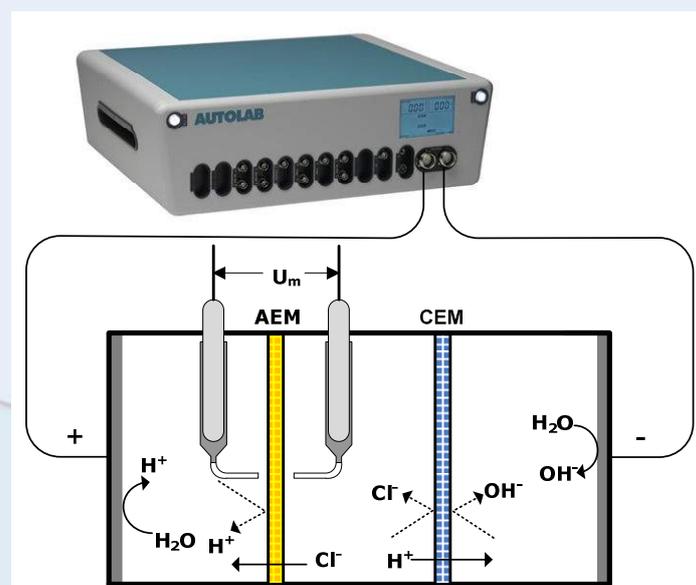


Figura 1. Esquema del montaje experimental utilizado en los ensayos cronopotenciométricos.

RESULTADOS

Se sintetizaron 5 membranas distintas con diferente número de infiltraciones (0, 2, 4, 6 y 8). Como se puede observar en la Figura 2, la capacidad de intercambio iónico aumentó progresivamente con el número de infiltraciones, hasta alcanzar un máximo para $n=6$.

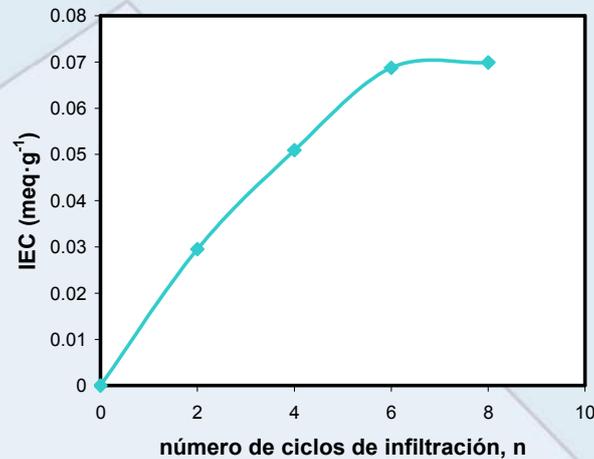


Figura 2. Evolución de la capacidad de intercambio iónico con el número de etapas de infiltración de óxido de circonio.

La respuesta cronopotenciométrica es análoga a la obtenida con membranas de intercambio iónico comerciales. A densidades de corriente reducidas la respuesta de U_m con el tiempo es plana y de forma análoga al pulso de corriente aplicado. Sin embargo, cuando se alcanza un nivel determinado de densidad de corriente y tras un cierto tiempo tras el inicio del pulso, U_m experimenta un aumento brusco, aumentando así notablemente la caída de voltaje a través de la membrana. El aumento en U_m es de mayor magnitud a medida que aumenta la intensidad aplicada.

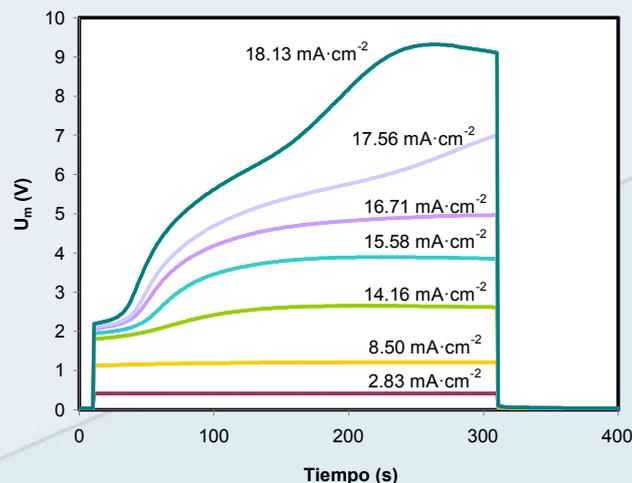


Figura 3. Curvas cronopotenciométricas obtenidas para la membrana con cuatro ciclos de infiltración de óxido de circonio hidratado.

Las curvas de polarización de las membranas también se pueden obtener a partir de los valores estacionarios obtenidos en los cronopotenciogramas. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4. Se observa que la membrana sin impregnar tiene una respuesta lineal. Por el contrario, las

membranas infiltradas (y con capacidad de intercambiar aniones) presentan dos zonas características. A densidades de corriente bajas, la densidad de corriente aumenta de forma lineal con la caída de voltaje a través de la membrana, U_m . Sin embargo, cuando se alcanza un determinado valor de densidad de corriente, el aumento de la resistencia eléctrica de las membranas es significativo, y se alcanza una zona de plató, en la que el aumento de la densidad de corriente es muy pequeño en comparación con el aumento en U_m .

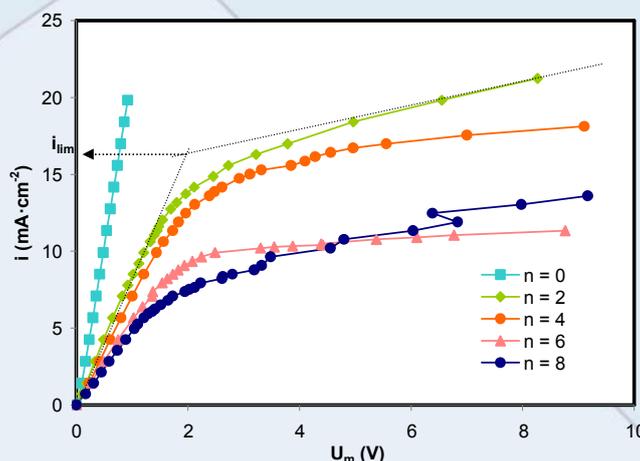


Figura 4. Curvas de polarización obtenidas para las diferentes membranas con distinto número de etapas de infiltración con óxido de circonio.

DISCUSIÓN

El aumento en la capacidad de intercambio iónico con el número de infiltraciones de óxido de circonio hidratado confirma la deposición efectiva de partículas activas en los poros del soporte cerámico. Estos resultados se corroboran con las curvas cronopotenciométricas y de polarización, puesto que difieren de las del soporte. La densidad de corriente para la cual se observa un cambio de tendencia en las curvas de polarización es típica de membranas de intercambio iónico y es conocida como densidad de corriente límite (i_{lim}). Debido al transporte preferente de aniones a través de la membrana, éstos se agotan cuando se alcanza la i_{lim} . Cuando esto sucede, el aporte de especies electroactivas a la superficie de la membrana en el compartimento central pasa a estar limitada por fenómenos de difusión. Como consecuencia, la resistencia eléctrica del sistema de membrana aumenta considerablemente, dando lugar al aumento brusco de U_m en los cronopotenciogramas (Figura 3), y a la zona de plató en las curvas de polarización (Figura 4).

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos demuestran que es posible sintetizar membranas de intercambio aniónico exclusivamente a partir de materiales cerámicos y de bajo coste. Estos resultados son esperanzadores para el futuro, puesto que pueden preceder a una serie de mejoras tanto en el procedimiento de fabricación de los soportes, como a la forma de cargar las membranas con partículas activas.

REFERENCIAS

1. Y. Mizutani, Structure of ion exchange membranes, J. Membr. Sci., 49 (1990) 121-144.
2. M.E. Davis, Ordered porous materials for emerging applications, Nature, 417 (2002) 813-821.
3. M.C. Martí-Calatayud, M. García-Gabaldón, V. Pérez-Herranz, S. Sales, S. Mestre, Synthesis and electrochemical behaviour of ceramic cation-exchange membranes based on zirconium phosphate, Cer. Int. 39 (2013) 4045-4054.

AGRADECIMIENTOS

M.C. Martí-Calatayud agradece a la Universitat Politècnica de València la concesión de una ayuda predoctoral (Ref. 2010-212). Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España mediante el proyecto CTQ2012-37450-C02-01/PPQ.

COMPÓSITO DE RESÍDUOS DE POLIETILENO DE EMBALAGENS DE MEDICAMENTOS COM FIBRA DE BANANEIRA

Adriana Collet - Universidade Feevale¹

Michel Vinicius Flach - Universidade Feevale²

Vanusca Dalosto Jahno - Universidade Feevale³

Patricia Alves da Silva – Instituto Senai de Inovação Engenharia de Polímeros⁴

Palavras chave: Polietileno; Fibra Bananeira; Resíduo; Biodegradabilidade

1. INTRODUÇÃO:

No Brasil, em 02 de agosto de 2010 foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual visa reduzir a geração de resíduos e o desperdício de materiais descartados por residências, indústrias, empresas e hospitais. Trata-se não só de um plano de ação, mas também de uma proposta de mudança cultural, a qual estabelece que haja responsabilidade compartilhada entre aquele que produz e aquele que consome. Prevê também, a logística reversa e a possibilidade de acordos setoriais para destinar o que fora gerado.

O tempo para degradação dos materiais que se acumulam nos lixões ou aterros sanitários é variado, podendo ser de meses, anos, centenas de anos e, em alguns casos, indeterminado.

Alguns problemas ambientais podem ser causados por ações simples como: o corte do caule da bananeira, que após a colheita fica no meio ambiente acelerando a proliferação de fungos e insetos.

Avaliando-se esta problemática propõe-se neste trabalho a elaboração, caracterização e produção de material compósito constituído por embalagens de fármacos secos produzidas em polietileno de alta densidade com fibra do pseudocaule da bananeira, cuja finalidade é aplicação em utilidade doméstica. O qual será caracterizado por análise térmica, morfológica, propriedades mecânicas e biodegradabilidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA:

Os critérios para seleção de polímeros, geralmente, consideram as propriedades necessárias para a peça final que está diretamente ligada ao tipo de material aplicado, isto é, características da

¹Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

² Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestrando em Qualidade Ambiental - Feevale

³ Doutora em Ciências da Saúde. Professora do Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

⁴ Doutora em Ciência dos Materiais.

microestrutura e conseqüentemente as propriedades, bem como o processo de fabricação. A disponibilidade do material e o custo são fundamentais para o sucesso, além das questões relacionadas ao meio ambiente as quais envolvem a obtenção da matéria-prima e a disposição final.

De acordo com Mano e Mendes (2004) os polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares.

Segundo Bittencourt (2010) os polietilenos de alta e baixa são obtidos pela Braskem, principal produtora de polietileno no Brasil, pelo processo Spherilene, com sistema catalítico do tipo Ziegler-Natta.

Conforme Paoli (2008) geralmente as reações de degradação são indesejáveis nos materiais, sendo possível ocorrer cisão de ligações na cadeia principal ou em grupos laterais, reticulação, eliminação ou substituição de cadeias laterais, reações intramoleculares, auto-oxidação e despolimerização. As formas de início de reação podem ser: térmica, fotoquímica, radiação de alta energia e biodegradação.

A biodegradação de um material, segundo Paoli (2008) ocorre quando este é usado como nutriente por um determinado conjunto de microorganismos, os quais existem no meio no qual o material vai ser degradado ou depositado. A hidrólise enzimática de um polímero depende da hidrofiliabilidade da cadeia polimérica. O ataque por microrganismos deve ocorrer sempre na superfície do polímero.

As fibras naturais, geralmente, apresentam baixo custo e possuem grande apelo ambiental, sendo assim tornam-se excelentes matrizes para aplicação em materiais compósitos. Dentre as vantagens pode-se destacar o baixo custo de produção e processamento, além da biodegradabilidade, atoxicidade, possibilidade de reciclagem, baixa densidade, boas propriedades mecânicas, baixa abrasividade quando comparado às fibras sintéticas (SILVA, 2013).

As fibras são extraídas do pseudocaule, do qual se pode extrair até cinco tipos diferentes de fibras, através de técnicas apropriadas, sendo elas: seleção, coleta, extração, tratamento, secagem e armazenagem (MERLINI, 2011).

O Brasil ocupa o terceiro lugar, sendo que o norte de Santa Catarina se destaca por ser o terceiro maior produtor nacional de banana com produção da fibra (BECKER, 2011).

Conforme Callister e Rethwisch (2010) o compósito é material formado por dois ou mais materiais com o propósito de combinar suas propriedades promovendo um novo material com

¹Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

² Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestrando em Qualidade Ambiental - Feevale

³ Doutora em Ciências da Saúde. Professora do Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

⁴ Doutora em Ciência dos Materiais.

propriedades superiores ou não aos materiais de formação.

3. METODOLOGIA:

O presente trabalho desenvolvido em parceria entre a Universidade Feevale e o Instituto Senai de Inovação Engenharia de Polímeros situada na cidade de São Leopoldo, Rio Grande do Sul.

Os frascos em polietileno de alta densidade foram preparados por processo de reciclagem mecânica, sendo as etapas: separação e moagem.

As fibras de bananeira foram colhidas, moídas, compactadas e secadas.

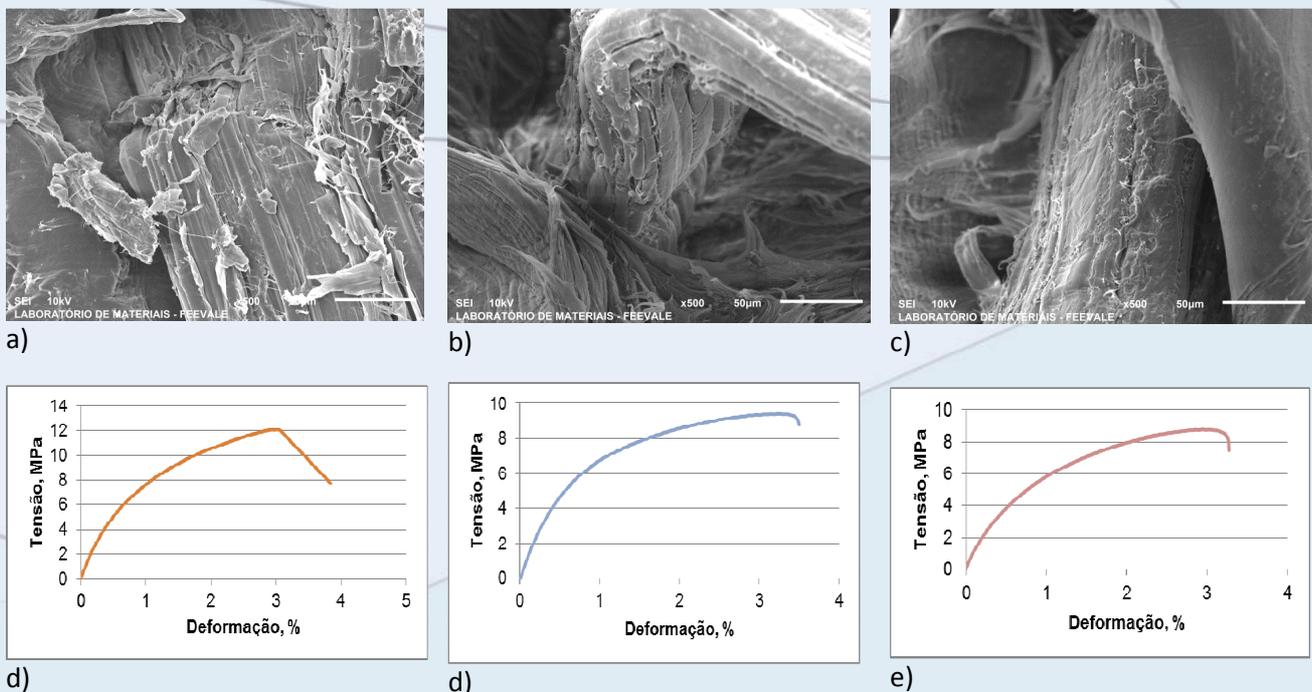
O processo de moagem dos frascos foi produzido em moinho de facas e o processamento para definição de melhor composição e caracterização foi realizado em misturador fechado do tipo Haake. A massa obtida foi processada por prensagem para obtenção de placas.

Inicialmente foram seguidas formulações com 5, 10 e 15% de fibra de bananeira.

4. RESULTADOS:

Os resultados de morfologia e propriedade mecânica são apresentados na figura 1.

Figura 1. Micrografias da amostra a) PEAD reciclado + 5% de fibra de bananeira, b) PEAD reciclado + 10% de fibra de bananeira e c) PEAD reciclado + 15% de fibra de bananeira. Gráfico de tração x deformação: d) PEAD reciclado + 5% de fibra de bananeira, e) PEAD reciclado + 10% de fibra de bananeira e f) PEAD reciclado + 15% de fibra de bananeira.



¹Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

² Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestrando em Qualidade Ambiental - Feevale

³ Doutora em Ciências da Saúde. Professora do Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

⁴ Doutora em Ciência dos Materiais.

5. DISCUSSÃO:

Os resultados iniciais de caracterização por microscopia e propriedades mecânicas indicam como melhor composição o material reciclado com 5% de fibra conforme as imagens apresentadas e os resultados de ensaio de tração.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Como os resultados são preliminares, as próximas etapas a realizar-se são: processamento da melhor composição, caracterização do produto através análise térmica, morfológica, propriedades mecânicas e biodegradabilidade, bem como confecção de peça de utilidade doméstica. A avaliação será também realizada na amostra com e sem fibra e na resina virgem com e sem fibra.

REFERÊNCIAS

- BECKER, Daniela et al. Influência da Sequência de Mistura do PP-MA nas Propriedades dos Compósitos de PP e Fibra de Bananeira. **Polímeros**, Joinville, v. 21, n. 1, p.7-12, dez. 2011.
- BITTENCOURT, Mayara Pacheco: **Processo Spherilene: Controle de Características de Polietilenos de Baixa densidade Linear e Alta Densidade**; Porto Alegre, 2010
- CALLISTER Jr, William D.; RETHWISCH, David G. **Materials Science and Engineering – An Introduction**; USA: John Wiley & Sons, Inc., 8ª edition, 2010
- PAOLI, Marco Aurelio de. **DEGRADAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE POLÍMEROS**. 2. ed. São Paulo: Chem Keys, 2008
- MANO, Eloisa Biazotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- MERLINI, Claudia. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COMPÓSITOS DE POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA E FIBRAS DE BANANEIRA**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- SILVA, Leandro José da. **Estudo experimental e numérico das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos laminados com fibras vegetais**. 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São João Del-rei, São João del Rei, 2011.

¹Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestranda em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

²Bacharel em Engenharia Industrial Química e Mestrando em Qualidade Ambiental - Feevale

³Doutora em Ciências da Saúde. Professora do Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais- Feevale

⁴Doutora em Ciência dos Materiais.

ESTUDO EXPERIMENTAL DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA EBULIÇÃO DO R-600a EM MINI CANAIS PARALELOS

Bruno de Sá Beckerle¹, UNISINOS
Jacqueline Biancon Copetti², UNISINOS

Palavras-Chave: Ebulição. Minicanais. Coeficiente de Transferência de Calor. Queda de Pressão. R-600a.

1. INTRODUÇÃO

Trocadores de calor possuem diversas aplicações, desde o resfriamento de grandes mecanismos como reatores até pequenas aplicações direcionadas à computação. A evolução tecnológica está impulsionando à compactação dos sistemas de refrigeração, gerando a necessidade de desenvolver sistemas de trocas térmicas mais compactos e eficientes. O estudo da ebulição de fluidos refrigerantes, principalmente em canais de diâmetro inferior a 3 mm, está diretamente relacionado a esta demanda tecnológica, pois tem-se cada vez mais a necessidade de desenvolver sistemas de refrigeração não apenas de pequeno porte, mas também sistemas confiáveis, eficientes e com a utilização de menor matéria prima e carga de refrigerante.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diversos autores como Belchi *et al* (2011), Kaew-On e Wongwises (2009), Vakili-Farahani *et al* (2013), Yun *et al* (2005), Pettersen (2004), Oliveira (2013) e Dário (2013) apresentaram estudos experimentais para identificar os principais parâmetros que governam os processos de ebulição em escala reduzida, sendo alguns realizados com um único canal e outros com múltiplos mini e microcanais paralelos. A utilização de sistemas de pequenas escalas proporciona maior área de troca térmica, o que possibilita maiores coeficientes de troca térmica se comparados com sistemas equivalentes de maior porte.

Além da miniaturização, outro fator importante na troca térmica é a escolha do fluido refrigerante. O isobutano, fluido utilizado neste trabalho, se mostrou eficiente nos estudos realizados por Domansky (1998), Granryd (2001), Thome *et al* (2008), Mohanraj (2009) e Copetti *et al* (2013). Estes estudos mostraram que o isobutano possui excelente condutividade térmica, baixo peso molecular, e é compatível com a maioria dos lubrificantes no mercado, além de possui grandes reservas naturais e baixo custo de obtenção.

¹ Licenciado em Física (2010) e Mestrando em Engenharia Mecânica da UNISINOS

² Doutora em Engenharia pela Universidad Politécnica de Madrid (1993), professora e pesquisadora da UNISINOS junto aos cursos de graduação e mestrado em Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica.

Ribatski (2012), apresentou os estudos realizados nos últimos anos envolvendo a ebulição de fluidos refrigerantes, e verificou que existem diversos estudos envolvendo geometrias retangulares, sendo que estes estudos são na grande maioria com tubos de silicone ou cobre, e com diversas faixas de diâmetros hidráulicos e refrigerantes. Dois estudos recentes envolvendo minicanais em alumínio extrudado foram realizados por Zhang *et al* (2014) e Vakili-Farahani *et al* (2013). Nenhum dos estudos apresentados em minicanais realizou a observação do padrão de escoamento.

Existem diferenças entre os padrões de escoamento entre macro e mini e microescala. As forças atuantes durante o aquecimento de um fluido bifásico são inércia, tensão superficial, cisalhamento, força gravitacional e força de momentum de evaporação, e estas influenciam de forma diferente conforme a escala do canal. Kandlikar (2010), utilizando dados experimentais da água e do R-123, examinou estas forças nos fluidos para diferentes diâmetros hidráulicos, e verificou que com a redução do diâmetro hidráulico ocorre uma redução da força gravitacional e aumento na tensão superficial. Revellin e Thome (2007), utilizando uma câmera de alta velocidade, observaram sete configurações distintas no padrão de escoamento em microcanais de 0,5 e 0,8 mm de diâmetro interno. Os testes foram realizados com R-134a e R-245fa, e classificam s padrões como três principais (borbulhado, intermitente e anular) e quatro padrões de transição.

3. METODOLOGIA

A bancada experimental de ebulição desenvolvida no Laboratório de Estudos Térmicos e Fluidodinâmicos – LETEF na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, é um circuito fechado de refrigerante, sendo composta por um pré-aquecedor, para controle das condições de saturação, uma seção de testes, onde ocorre a vaporização do fluido, e uma seção de visualização para a observação dos padrões de escoamento. Esta bancada foi adaptada na bancada já existente que utiliza um tubo circular de 2,6 mm de diâmetro interno. A Fig. 1 ilustra a bancada, sendo a região pontilhada o circuito anterior e a região contínua a nova seção de testes. Uma válvula do tipo esfera é utilizada para a orientação da seção de testes escolhida.

O pré-aquecedor, PA, é utilizado para estabelecer a condição de entrada na seção de testes, ST, sendo constituído de um tubo de aço inoxidável, de diâmetros externo e interno de 6 e 4,4 mm, respectivamente, um comprimento de 476 mm e rugosidade relativa interna de 1,03 μm . No PA foram posicionados 5 termopares do tipo T na parede superior do tubo. A transição entre o PA e a ST está ilustrada na Fig. 2.

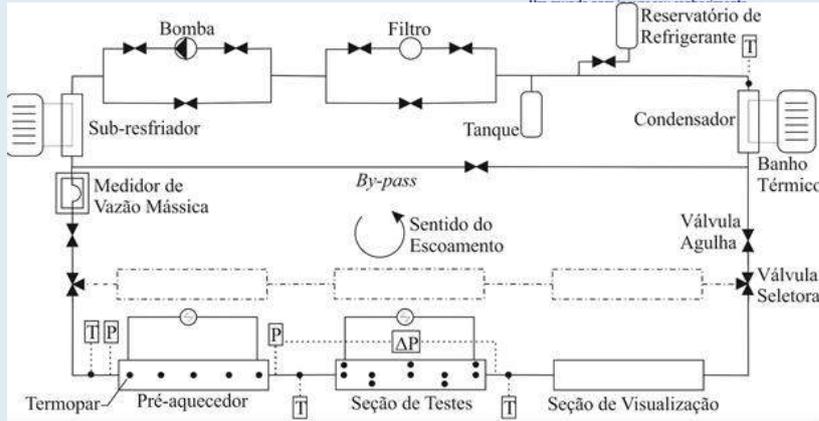


Figura 1 - Visão Esquemática da Bancada de Testes

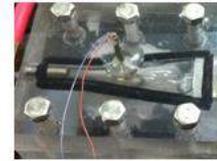


Figura 2 - Conexão entre PA e ST



Figura 3 - Seção de Visualização

A ST é a seção onde ocorre a vaporização do fluido e onde será analisada a transferência de calor e a queda de pressão. Esta seção consiste em um tubo de alumínio extrudado com sete minicanais paralelos e 296 mm de comprimento. A seção transversal do tubo possui 1,97 mm de altura e 16,48 mm de largura, sendo que cada um dos canais possui um diâmetro hidráulico médio de 1,4 mm. Para controle de temperatura, foram posicionados 22 termopares do tipo T ao longo do tubo, sendo 11 na face superior e 11 na face inferior. O PA e a ST são alimentados independentemente por fontes de potência ajustável. A SV, mostrada na Fig. 3, consiste em uma estrutura de policarbonato com 32 mm dos canais as ST visíveis para a análise dos padrões de escoamento sob diferentes condições de operação. As imagens serão coletadas com uma câmera digital de alta velocidade.

O tubo em alumínio extrudado está ilustrado na Fig. 4, e as suas características geométricas estão apresentadas na Tab. 1

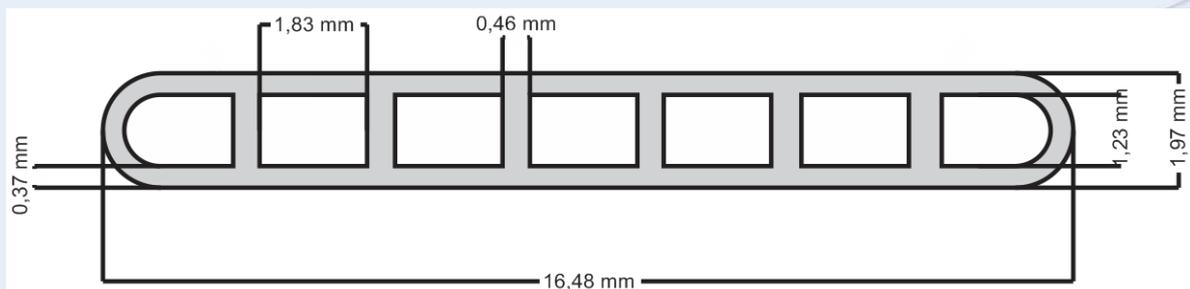


Figura 4 - Perfil do tubo de multi minicanais paralelos em alumínio extrudado

Tabela 1: Características Geométrica do Tubo de Multicanais

Diâmetro Hidráulico, D_h (mm)	1,4
Perímetro Interno Total, P_i (mm)	44,27
Área Total de Escoamento, A_{TE} (mm ²)	15,45

Tabela 2: Condições de Testes

Fluxo de Calor na ST, q'' (kW/m ²)	1 a 20
Velocidade Mássica, G (kg/m ² s)	80 a 200
Temperatura de Saturação, T_{sat} (°C)	20
Pressão de Saturação, P_{sat} (kPa)	293

3.1 Programa de Testes e Variáveis Analisadas

Os resultados experimentais do coeficiente de transferência de calor e queda de pressão serão analisados de acordo com os seguintes parâmetros: velocidade mássica e fluxo de calor. As faixas de operação estão apresentadas na Tab. 2. As propriedades termodinâmicas do R-600a serão obtidas através do software REFPROP (2002, versão 7.0).

O coeficiente de transferência de calor local, h_z , será determinado através da Lei de Resfriamento de Newton (Eq. 1).

$$\bar{h}_z = \frac{\bar{q}''}{T_{pi_z} - T_{f_z}} \quad 1$$

onde, q'' é o fluxo de calor médio, T_{pi} é a temperatura interna da parede e T_f é a temperatura do fluido.

A queda de pressão na ST é composta por duas partes, uma relacionada ao atrito (Δp_{at}) e outra relacionada a aceleração (Δp_{ac}) devido a mudança de fase, sendo mostrada na Eq. 2.

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{at} + \Delta p_{ac} \quad 2$$

onde Δp_{total} será medido, e a Δp_{ac} é obtida através do modelo homogêneo, desta forma a Δp_{at} será obtida experimentalmente pela diferença as duas outras parcelas.

4. RESULTADOS PARCIAIS

Até o momento foram realizados os testes de validação da bancada experimental. Estes testes são realizados com escoamento monofásico e os dados comparados com correlações existentes na literatura. Os testes monofásicos iniciais estão próximo dos valores teóricos, validando a bancada experimental até o momento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise de todos os testes monofásicos, os testes em ebulição serão iniciados para analisar o coeficiente de transferência de calor e a queda de pressão, ambos na seção de testes. Além dos resultados do coeficiente de transferência de calor e da queda de pressão, as imagens obtidas serão catalogadas para proporcionar uma análise dos padrões de escoamento em cada uma das faixas de teste.

REFERÊNCIAS

BELCHI, A. L. *et al.* **Single and two-phase pressure drop in minichannels using R123a as working fluid.** In: 23rd International Congress of Refrigeration. Czech Republic, Praga, 2011.

COPETTI, J. B. *et al.* **Experimental study on R-600a boiling in 2.6 mm tube.** International Journal of Refrigeration, v. 36, p. 325 – 334, 2013.

DARIO, E. R. 2013, 335 f. **Ebulição convectiva do R-134a em microcanais paralelos e análise da distribuição do escoamento bifásico ar-água em um distribuidor acoplado a microcanais.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2013.

DOMANSKI, P.A., 1998. **Refrigerants for the 21st century.** J. Res. NIST 103 (5), 1e5.

GRANRYD, E. **Hydrocarbons as refrigerants – an overview.** International Journal of Refrigeration, v. 24, p. 15 – 24, 2001.

KAEW-ON, J.; WONGWISES; S. **Experimental investigation of evaporation heat transfer coefficient and pressure drop of R-410A in a multiport mini-channel.** International Journal of Refrigeration, v. 32, p. 124 – 137, 2009.

KANDLIKAR, S. G. **Scale effects on flow boiling heat transfer in microchannels: A fundamental perspective.** International Journal of Thermal Sciences, v. 49, p. 1073 – 1085, 2010.

MOHANRAJ, M. *et al.* **Environment friendly alternatives to halogenated refrigerants – A review.** International Journal of Greenhouse Gas Control, v. 3, p. 108 – 119, 2009.

OLIVEIRA, J. D. 2013. 119 f. **Estudo experimental da transferência de calor e queda de pressão na ebulição do isobutano em um mini-tubo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

PETTERSEN, J. **Flow vaporization of CO₂ in microchannel tubes.** Experimental Thermal and Fluid Science, v. 28, p. 111 – 121, 2004.

REVELLIN, R., THOME, J. R. **Experimental investigation of R-134a and R-245fa two-phase flow in microchannels for different flow conditions.** International Journal of Heat and Fluid Flow, v. 28, p. 63 – 71, 2007.

RIBATSKI, G. **A critical overview on the recent literature concerning flow boiling and two-phase flows inside microscale channels.** In: ECI 8th International Conference on Boiling and Condensation Heat Transfer. Lausanne, Switzerland, 2012.

THOME, J. R. *et al.* **Flow boiling of ammonia and hydrocarbons: A state-of-the-art review.** International Journal of Refrigeration, v. 31, p. 603 – 620, 2008.

VAKILI-FARAHANI, F. *et al.* **Experimental study on flow boiling heat transfer of multiport tubes with R245fa and R1234ze(E)**. International Journal of Refrigeration, v. 36, p. 335 – 352, 2013.

YUN, R. *et al.* **Convective boiling heat transfer characteristics of CO₂ in microchannels**. International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 48, p. 235 – 242, 2005.

ZHANG, J. *et al.* **An experimental study of the characteristics of fluid flow and heat transfer in the multiport microchannel flat tube**. Applied Thermal Engineering, v. 65, p. 209 – 218, 2014.



Cláudia Regina Klauck¹ (Feevale)

Luciano Basso da Silva² (Feevale)

Marco Antonio Siqueira Rodrigues³ (Feevale)

Em função dos problemas apresentados sobre o tratamento de lixiviado de aterro sanitário, existe uma crescente necessidade de processos que apresentem maior eficiência de tratamento ou que possam ser integrados aos processos convencionais. Neste contexto, umas das alternativas viáveis para a degradação deste tipo de efluente é o uso de tecnologias avançadas de tratamento, baseadas na oxidação química e eletroquímica, como os processos oxidativos avançados (POAs), reconhecidos por sua alta eficiência no tratamento de efluentes contendo substâncias recalcitrantes (OLLER *et al.*, 2011). Estes processos são baseados na degradação de matéria orgânica, através da geração do radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$). Este radical apresenta alto poder oxidante e baixa seletividade, oxidando a maior parte dos poluentes orgânicos em tempos relativamente curtos, podendo até mesmo causar a mineralização completa dos compostos (MORAIS & ZAMORA, 2005).

O POA de ozonização é um dos métodos mais estudados e aplicados para o tratamento de lixiviado (KURNIAWAN *et al.*, 2006). Uma vez dissolvido na água, o ozônio reage com diversos compostos, incluindo alguns compostos não biodegradáveis (BILA *et al.*, 2005). Dependendo do pH, a oxidação do ozônio pode seguir por duas vias: oxidação direta, através do ozônio molecular, que age de forma seletiva, ou pela oxidação indireta como Processo Oxidativo Avançado, através da geração de radicais hidroxila, decorrentes da decomposição do ozônio em ambientes alcalinos, agindo de forma não seletiva (MAHMOUD & FREIRE, 2007). De acordo com Morais (2005), um dos principais problemas da ozonização no tratamento de lixiviado é a formação e acúmulo de subprodutos, potencialmente tóxicos, tornando a avaliação de toxicidade desta tecnologia imprescindível.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo a aplicação do processo oxidativo avançado de ozonização em meio alcalino como forma de tratamento de lixiviado de aterro sanitário e avaliação o potencial toxicológico em *Allium cepa*.

¹ Doutoranda em Qualidade Ambiental Feevale. Email: claudiark@feevale.br

² Doutor em Biologia Molecular UFRGS. Professor e pesquisador do PPGQA Feevale.

³ Doutor em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais UFRGS. Professor e pesquisador do PPGQA Feevale.



Coletas de lixiviado

Coletou-se uma amostra de lixiviado bruto (B) no mês de julho de 2013 num aterro localizado na região do Vale dos Sinos. O aterro está localizado em uma área de 10 ha, recebe em média 220 toneladas de resíduos diariamente e, no momento, opera apenas como central de triagem de resíduos. O aterro operou por volta de 50 anos e encontra-se atualmente desativado. O lixiviado gerado pelas valas é caracterizado como em fase de estabilização e recebe tratamento biológico (KLAUCK *et al.*, 2013). As coletas foram realizadas no ponto de entrada do lixiviado na lagoa de tratamento biológico. O lixiviado foi coletado, acondicionado em bombona plástica e transportado para o laboratório onde imediatamente procedeu-se com os experimentos.

Ozonização em pH alcalino

Para o tratamento com ozônio, a amostra utilizada teve o seu pH ajustado para 11, com hidróxido de sódio. Foi utilizado um gerador de ozônio (OzonAR®) com capacidade produção de 4g de O₃ por hora, acoplado em a um tanque. O experimento foi realizado em batelada, com duração de 40h. O lixiviado foi bombeado do tanque, passando pelo venturi, por onde recebeu o ozônio através de microbolhas, reagindo ao longo de uma coluna e retornando em seguida ao tanque inicial. O volume de amostra tratado foi de 50L.

Adição De carvão ativado

Uma alíquota de 5L do efluente tratados por ozonização, nas configurações descritas anteriormente foi tratada adicionalmente com carvão ativo. Para este procedimento foi adicionado carvão ativado em pó (Nuclear®) na proporção de 50g.L⁻¹. Esta configuração foi definida experimentalmente. A amostra foi mantida sob agitação em agitador magnético de bancada por um período de 1h, sendo as mesmas, posteriormente, submetidas à filtração em papel filtro qualitativo.

Caracterização do lixiviado bruto e após o tratamento

As amostras de antes e depois do tratamento oxidativo foram analisa quanto aos seguintes parâmetros: Cloretos, Condutividade, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio

Amoniacal, Nitrogênio Total Kjeldahl, pH, Turbidez, Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Manganês, Níquel, Zinco e Ferro.

Avaliação da toxicidade com bioensaio em *Allium cepa*

A caracterização toxicológica e genotoxicológica das amostras foi realizada através do bioensaio em *Allium cepa* através da exposição de 6 bulbos de cebolas cujas raízes foram previamente preparadas. As raízes foram nas seguintes diluições : 12,5%, 25% e 50% . Os por um período de 48h (RANK & NIELSEN, 1997; RANK & NIELSEN 1998). Em todos os ensaios manteve-se um grupo de controle negativo com água de abastecimento público. Ao fim deste período, foi descartada a cebola de cada tratamento que apresentou o menor crescimento radicular. Dos bulbos restantes, foram aferidos os comprimentos das três maiores raízes de cada cebola, calculando-se a média de comprimento das raízes em relação ao crescimento do grupo controle.

Para a análise de genotoxicidade, as raízes foram coletadas, fixadas e coradas em lamina de microscopia conforme descrito em MAGDALENO *et al.*, 2008 e posteriormente analisadas em microscópio óptico (A=1000x). Analisaram-se 1.000 células de cada raiz, para quantificação de divisões celulares (Índice Mitótico) e 200 células em anáfase/telófase para quantificação de alterações cromossômicas (AC). Após a contagem, os valores foram comparados com o grupo controle.

Os resultados da aferição de crescimento radicular, células em divisão e alterações cromossômicas foram analisados estatisticamente. Cada tratamento foi comparado com o grupo controle. As amostras apresentaram distribuição normal, sendo analisadas por análise de variância (ANOVA) seguida do teste de comparações Tukey, no programa estatístico SPSS®, considerando-se o nível de significância (*p*) de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do POA ozônio causou um aumento no parâmetro DBO₅, indicando conversão de compostos para formas mais biodegradáveis. Adicionalmente observa-se redução de DQO (22%), e nitrogênio amoniacal (68%), acompanhado do aumento de nitrato (tab.1). A aplicação de ozônio promoveu uma maior remoção de DQO e menor oxidação de nitrogênio amoniacal. Deve se considerar que no caso desta amostra, a DQO já se encontrava em valores consideravelmente baixos. Após a aplicação de carvão, nota-se uma melhora na remoção de DBO₅ e DQO, bem como nitrogênio amoniacal e nitrogênio total Kjeldahl.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros físico-químicos para o ensaio em sistema de ozonização (O₃) e após passagem por carvão ativado (O₃+CA), bem como percentual de eficácia dos tratamentos, o símbolo (+) indica aumento em relação ao inicial, e o símbolo (-) indica redução em relação ao inicial.

	Bruto	O ₃	%	O ₃ +CA	%
Cloreto (mg L ⁻¹)	378,20	232,30	-38	261,10	-31
Condutividade (mS cm ⁻¹)	2,72	3,85	+41	4,39	+61
DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	24,00	80,00	+233	45,00	+87
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	193,10	150,50	-22	68,50	-64
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,80	1,22	+52	2,58	+222
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,50	7,27	+1354	3,80	+600
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,10	n.d.	-100	n.d.	-100
Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	139,31	43,60	-68	22,45	-83
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg L ⁻¹)	150,92	54,24	-64	30,10	-80
Ph	7,85	9,38	+19	9,27	+18
Turbidez (NTU)	27,50	33,60	+22	2,10	-92
Cádmio (mg L ⁻¹)	0,00	0,00	-	0,00	-
Chumbo (mg L ⁻¹)	0,02	0,22	+1000	0,03	+50
Cromo Total (mg L ⁻¹)	0,02	0,14	+600	0,09	+350
Manganês (mg L ⁻¹)	1,32	0,34	-74	0,22	-83
Zinco (mg L ⁻¹)	0,01	0,30	+2900	0,05	+400

Comparando-se com a resolução nº128/2006 do Consema, os valores de DBO₅ e DQO encontram-se dentro valores legais para emissão já na amostra bruta. Já os parâmetros nitrogênio amoniacal e nitrogênio total, apesar de terem sofrido redução após o tratamento, ainda encontram-se fora dos limites permitidos para o lançamento de efluentes. A coloração da amostra reduziu consideravelmente após o tratamento com ozonização bem como após a aplicação de carvão ativado, apresentando-se límpida (fig. 1).



Figura 1: aspecto visual da amostra bruta (esquerda) tratada por ozônio (centro) e após polimento com carvão ativado (direita) (foto: autor).

Dados da literatura científica relatam diminuição nos valores de DQO, nitrogênio total e nitrogênio amoniacal após a aplicação de doses elevadas de ozônio em pH alcalino. Wu e

colaboradores (2004), quando trataram um lixiviado com teor de DQO de 2500mgL^{-1} , através da aplicação de ozônio à uma dosagem de $1,2\text{g}$ de O_3 por litro, e encontraram uma remoção de 15% de DQO. Silva e colaboradores (2004) observaram degradação de poluentes e redução moderada de DQO e conseqüente diminuição de toxicidade, somente após a aplicação de altas doses de ozônio ($3,0\text{g L}^{-1}$), em um lixiviado previamente tratado por coagulação. Na configuração utilizada no presente estudo, percebe-se uma melhora moderada na remoção de DQO e nitrogênio amoniacal. Considerando-se a quantidade estimada de ozônio aplicada ao longo de 40h ($\sim 3,2\text{g L}^{-1}$) de tratamento e o valor relativamente moderado de DQO reduzida, com relação aos estudos apresentados anteriormente, bem como o aumento na toxicidade da amostra, o tratamento na configuração aplicada não foi adequado ao tratamento de lixiviado, devendo ter seus parâmetros otimizados.

Avaliação de toxicidade

A avaliação de toxicidade do lixiviado tratado por ozonização indicou que esta tecnologia na configuração testada pode ser considerada tóxica. Em comparação com o grupo controle apenas as amostras de lixiviado tratado por ozonização causaram redução no crescimento radicular e células em divisão em todas as diluições avaliadas. O carvão ativado mostrou-se bastante eficiente na redução de toxicidade, entretanto não foi suficiente para minimizar os efeitos sobre a divisão celular (dados não mostrados). Apesar do tratamento de ozonização e carvão ativado ter promovido um maior crescimento radicular e divisão celular, estes valores ainda apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao grupo controle. O mesmo comportamento não é observado nas diluições de lixiviado bruto. Indicando, portanto, um aumento na toxicidade pós POA em relação à amostra inicial. Já quanto ao parâmetro genotoxicidade, não houveram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.

A ozonização tem sido reportada como capaz de induzir um aumento ou diminuição na mutagenicidade de águas superficiais e efluentes. Mondardo *et al.* (2006) concluíram que o tratamento com ozônio em águas superficiais não causou um aumento na genotoxicidade em peixes. Nakamuro *et al.* (1989), Ono *et al.* (1992) e Takanashi *et al.* (2002) indicam que o tratamento com ozônio é eficaz na remoção de percussores mutagênicos de águas superficiais. Entretanto, outros pesquisadores (LANGLAIS *et al.*, 1992; XU *et al.*, 2002) não observaram nenhuma mudança significativa na toxicidade em peixes e crustáceos em efluentes submetidos ao processo de ozonização. Já Petala *et al.* (2008) relatam que para o tratamento de

efluentes, baixas doses de ozônio são capazes de causar diminuição na toxicidade, já doses mais elevadas induzem um aumento na toxicidade, devido à formação de subprodutos tóxicos.

Silva *et al.* (2004) realizaram o processo de ozonização e *air stripping* para remoção de amônia em um lixiviado estabilizado, do aterro sanitário de Gramacho, RJ, previamente tratado por coagulação/floculação. Os autores também realizaram a avaliação ecotoxicológica em *A. salina*, *Vibrio fischeri* e *Brachydanio rerio*, e encontraram uma redução na toxicidade do efluente após o processo de ozonização, quando comparado com a amostra bruta. Outro estudo conduzido por Bila e colaboradores (2005) com lixiviado proveniente deste mesmo aterro, avaliaram a eficiência da ozonização para o aumento da biodegradabilidade e influencia na toxicidade da amostra. De forma semelhante ao presente estudo, os autores aplicaram testes de toxicidade aguda, em *Brachydanio rerio* e *Poecilia vivipara* com a amostra bruta e tratada, e os resultados indicaram uma alta toxicidade tanto antes quanto após o tratamento.

No caso do presente estudo, conclui-se que, embora não tenha causado alterações no parâmetro genotoxicidade, houve uma diminuição considerável no número de células em divisão e crescimento radicular após o tratamento com ozônio. Esta redução de crescimento indica que a tecnologia na configuração aplicada está causando a formação de subprodutos mais tóxicos do que a amostra inicial. A toxicidade manteve-se tão elevada que mesmo a aplicação de carvão ativado não foi suficiente para causar sua diminuição em todas as diluições expostas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa OzonAR®, Capes e Fapergs.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BILA, D. M.; MONTALVÃO, F.; SILVA, A. C.; DEZOTTI, M. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. **Journal of Hazardous Materials** v.117, p.235–242, 2005.

KLAUCK, C.R.; RODRIGUES, M.A.S.; SILVA, L.B. Toxicological evaluation of landfill leachate using plant (*Allium cepa*) and fish (*Leporinus obtusidens*) bioassays. **Waste Management & Research**. V. 31 N. 11, p. 1148-1153, 2013.

KURNIAWAN, T.A.; LO W.; CHAN, G.Y.S. Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate, **Chemical Engineering Journal**.v.125, p. 35-57, 2006.

LANGLAIS, B.; LEGUBE, B.; BEUFFE, H.; DORÉ, M. Study of the nature of the by-products formed and the risks of toxicity when disinfecting a secondary effluent with ozone. **Water Science and Technology**. V. 25, p. 135-143, 1992.

MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**. V.30, p. 198-205, 2007.

MAGDALENO, A.; MENDELSON, A.; IORIO, A.F.; RENDINA, A.; MORETTON, J. Genotoxicity of leachates from highly polluted lowland river sediments destined for disposal in landfill. **Waste Management** v.28, p.2134-2139, 2008.

MONDARDO, R.I.; SENS, M.L.; MELO FILHO, L.C. Pré-tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. V. 11, p. 337-342, 2006.

MORAIS, P.B.; BERTAZZOLI, R. Electrodegradation of landfill leachate in a flow electrochemical reactor. **Chemosphere**. V. 58, p. 41-46, 2005.

MORAIS, J.L.; ZAMORA, P.P. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. **Journal of Hazardous Materials**. V. 123, p. 181-186, 2005.

NAKAMURO, K.; UENO, H.; SAYATO, Y. Mutagenic activity of organic concentrates from municipal river water and sewage effluent after chlorination or ozonation. **Water Science and Technology**. V. 21, p. 1895-1898, 1989.

OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination – A review. **Science of Total Environment**. V.409, p. 4141-4166, 2011.

ONO, Y.; SOMIYA, I.; KAWAMUR A.M.; UENISHI, K. Genotoxicity of organic substances in municipal sewage and its ozonated products. **Water Science and Technology**. V. 22, p.501-517, 1992.

PETALA, M.; SAMARAS, P.; ZOUBOULIS, A.; KUNGOLOS, A.; SAKELLAROPOULOS, G.P. Influence of ozonation in the in vitro mutagenic and toxic potential of secondary effluents. **Water Research**. V. 42, p. 4929-4940, 2008.

RANK, J.; NIELSEN, M.H. Genotoxicity testing of wastewater sludge using the *Allium cepa* anaphase-telophase chromosome aberration assays. **Mutation Research**. V. 418, p. 113–119, 1998.

RANK, J.; NIELSEN, M.H. *Allium cepa* anaphase-telophase root tip chromosome aberration assay on N-methyl-N-nitrosourea, maleic hydrazide, sodium azide and ethyl methane sulfonate. **Mutation Research**. V. 390, p. 121–127, 1997.

RIO GRANDE DO SUL, Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 128/06 - Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br>.

SILVA, A.C.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA JR, G.L. Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. **Chemosphere**. V. 5, p. 207–214, 2004.

TAKANASHI, H.; MAYUMI, M.; KATO, M.; HIRATA, M.; HANO, T. Removal of mutagen precursor from wastewater by activated sludge and oxidation treatment. **Water Science and Technology**. V. 46, p. 389–394, 2002.

WU, J.J.; WU, C.C.; MA, H.W.; CHANG, C.C. Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes. **Chemosphere**. V.54, p.997-1003, 2004.

XU, P.; JANEX, M.L.; SAVOYE, P.; COCKX, A.; LAZAROVA, V. Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design. **Water Research**. V. 36, p. 1043–1055, 2002.