



ABEQ Associação Brasileira
de Engenharia Química

**Revista Brasileira de
Engenharia Química**

Vol. 32 - nº 2 / 2016 / ISSN 0102-9843

A indústria química e a gestão eficiente dos recursos hídricos.

ARTIGOS

- *Gestão Eficiente de Recursos Hídricos: Manual da Abiquim demonstra comprometimento da Indústria Química*
- *Tecnologias para descarte zero de efluentes líquidos industriais*

ARTIGOS

- *Contaminação de águas por fármacos e hormônios e tratamentos avançados*

EVENTOS

- *XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Fortaleza*

EQ na palma da mão

- *Uso de Sistemas de Tratamento de Efluentes com Membranas Submersas para Reúso de Água*



ABEQ Associação Brasileira de Engenharia Química

A Associação Brasileira de Engenharia Química (ABEQ) é uma sociedade sem fins lucrativos que congrega pessoas e empresas interessadas no desenvolvimento da Engenharia Química no Brasil.

Há mais de quatro décadas a ABEQ desempenha importante papel na valorização dos profissionais e estudantes da engenharia química em nosso país, bem como na divulgação da engenharia química e de sua contribuição para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

A ABEQ oferece ainda uma variedade de serviços que ajudam a comunidade de engenharia química a melhor posicionar-se quanto aos desafios do presente e do futuro nas áreas tecnológica, científica e de ensino.

Nossos Serviços

CURSOS: ABEQ oferece diversos cursos de extensão.

CONGRESSOS: COBEQ - Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

ENBEQ - Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química.

COBEQ-IC - Congresso Brasileiro em Iniciação Científica de Engenharia Química.

SINAFERM - SHEB - Simpósio Nacional de Bioprocessos e Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassa.

PRÊMIO: Prêmio Incentivo à Aprendizagem, dedicado aos melhores formandos dos cursos de Engenharia Química.

Publicações

BJChE



Brazilian Journal of Chemical Engineering: periódico trimestral que publica artigos científicos em inglês.

BIM



Boletim Informativo: é uma edição mensal, buscando transmitir notícias relevantes sobre Engenharia Química no Brasil e Exterior.

REBEQ



Revista Brasileira de Engenharia Química: a publicação quadrimestral promove o debate sobre questões relacionadas à engenharia química e suas relações com a sociedade.

REGIONAIS: Aqui você encontra informações sobre atividades das regionais da ABEQ.

REGIONAL BAHIA
regionalba@abeq.org.br

REGIONAL PARÁ
regionalpa@abeq.org.br

REGIONAL PERNAMBUCO
regionalpe@abeq.org.br

REGIONAL RIO DE JANEIRO
regionalrj@abeq.org.br

REGIONAL RIO GRANDE DO NORTE
regionalrn@abeq.org.br

REGIONAL RIO GRANDE DO SUL
regionalrs@abeq.org.br

REGIONAL SÃO PAULO
regionalsp@abeq.org.br

ASSOCIE-SE: Para associar-se à ABEQ basta indicar a uma das modalidades de sócio. Além da carteira de sócio o associado passa a usufruir de vantagens exclusivas da ABEQ. Como desconto em Cursos, Seminários e Congressos promovidos pela ABEQ. Convênios com Livrarias, Escolas de Idiomas, entre outros descontos que chegam até 20% na apresentação da carteirinha.

SÓCIOS COOPERADORES



SÓCIOS COLETIVOS





Maria Cristina Silveira Nascimento
Presidente da ABEQ

Prezado leitor,

Nesta edição da REBEQ vamos dar atenção especial à água. Cientes de que este é um bem natural que se torna cada vez mais escasso e caro, reutilizar a água é um dos pilares de sustentabilidade, e aqui me refiro ao sentido mais amplo da palavra, para o meio ambiente e também para a economia das empresas, cidadãos e governos.

Há uma pressão crescente para que os usuários industriais reutilizem a água dentro de suas instalações. O objetivo é o de minimizar a quantidade de água que é descartada, atuando tanto na captação da água tratada como na quantidade e qualidade

da água descartada. Dentre as razões para esta reivindicação estão a disponibilidade e o custo da água, o custo de tratamento adicional, consciência ambiental e relações comunitárias.

Nesta jornada o profissional da engenharia química exerce papel fundamental. Na pesquisa e no desenvolvimento e otimização de processos encontramos iniciativas interessantes e bem-sucedidas. Acreditamos que há espaço de melhorias em quase todas as indústrias para reuso de água e para a minimização de efluentes. Este é um caminho que traz benefícios econômicos e ambientais para a indústria e para a sociedade de forma geral. Boa leitura! ●

SOBRE A ABEQ

Publique na REBEQ

A ABEQ o convida para participar da Revista Brasileira de Engenharia Química, com artigos técnicos de divulgação que sejam de interesse de amplos segmentos da comunidade de engenharia química. Consulte os editores da revista sobre sua idéia.

A ABEQ e você

Associando-se à ABEQ você impulsiona sua carreira profissional e se posiciona melhor frente aos novos desafios que a sociedade impõe sobre a profissão.

A ABEQ lhe oferece múltiplas oportunidades de relacionamento a elite de profissionais da academia e da indústria. Também lhe dá acesso a informação

científica e tecnológica de ponta e lhe oferece oportunidade de participação ativa na comunidade de engenharia química.

Confira:

- Oportunidades de contatos com colegas, associações, universidades, empresas e entidades governamentais.
- Organização de encontros nas áreas científica, tecnológica e de ensino que mobilizam cerca de 3000 profissionais.
- Organização de cursos de extensão e apoio a cursos de terceiros.
- Acesso a publicação científica trimestral com o respeitável índice de impacto 0,4 (Web of Knowledge), a revista técnico-comercial formato

digital e um boletim eletrônico de notícias distribuído para mais de 110 mil contatos.

- Valorização do profissional através de prêmios para estudantes, formandos e pós-graduandos.

FALE com a gente!

Contribua com opiniões, ideias, depoimentos e dúvidas.

Tel. 11 3107-8747

Fax 11 3104-4649

2ª a 6ª feira das 9 às 17 horas

E-mail: abeq@abeq.org.br ou secretaria@abeq.org.br



Informações e Novidades sobre a ABEQ em:

www.abeq.org.br

Editor

Galo Carrillo Le Roux
Editor Associado
Moisés Teles dos Santos

Secretaria Executiva

Bernadete Aguilar Perez

Produção Editorial

Always Propaganda
(11) 3280-0439 - www.always.com.br

Redação, Correspondência e Publicidade

Rua Libero Badaró, 152 - 11º andar
01008-903 - São Paulo - SP
Tel.: (11) 3107-8747 - fax: (11) 3104-4649
www.abeq.org.br - e-mail: abeq@abeq.org.br

ABEQ – GESTÃO 2016 - 2018

CONSELHO SUPERIOR

Argimiro Resende Secchi, Flávio Faria de Moraes, Gorete Ribeiro de
Macedo, Hely de Andrade Júnior, Marcelo Martins Seckler, Pedro
Wongtschowski, Raquel de Lima Camargo Giordano, Ricardo de
Andrade Medronho, Selene Maria de A.G. U. de Souza, Suzana
Borschiver

DIRETORIA

Maria Cristina Silveira Nascimento - Diretora Presidente
Galo Antonio Carrillo Le Roux - Diretor Vice-Presidente
Ricardo da Silva Seabra - Diretor Vice-Presidente
Mayra Costa Matsumoto - Diretora Vice-Presidente
Moisés Teles dos Santos - Diretor Secretário
Mario José Montini - Diretor Tesoureiro

REGIONAIS

Bahia

Luciano Sergio Hocevar - Diretor Presidente

Elaine Christine de Magalhães Cabral Albuquerque - Diretora Vice-
Presidente

Pará

Fernando Alberto Sousa Jatene - Diretor Presidente

Pedro Ubiratan de Oliveira Sabaa Srur - Diretor Vice-Presidente

Pernambuco

Laise Carvalho de Albuquerque Maranhão - Diretora Presidente

Luciano Costa Almeida - Diretor Vice-Presidente

Rio de Janeiro

Elcio Ribeiro Borges - Diretor Presidente

Claudinei de Souza Guimarães - Diretor Vice-Presidente

Rio Grande do Norte

Everaldo Silvino dos Santos - Diretor Presidente

André Luis Lopes Moriyama - Diretor Vice-Presidente

Rio Grande do Sul

Jorge Otávio Trierweiler - Diretor Presidente

Heitor Luiz Rossetti - Diretor Vice-Presidente

São Paulo

Carlos Calvo Sanz - Diretor Presidente

Denise Mazzaro Naranjo - Diretora Vice-Presidente

DIRETORIA CONVIDADA

Maria Elizabeth Brotto e Reinaldo Giudici

Os artigos assinados, declarações dos entrevistados
e publicidade não refletem necessariamente a opinião
da ABEQ.

É proibida a reprodução total ou parcial de textos e
fotos sem prévia autorização.

A Revista Brasileira de Engenharia Química é
propriedade da ABEQ – Associação Brasileira de
Engenharia Química, conforme certificado
1.231/0663-032 do INPI.

Artigos

Gestão Eficiente de Recursos Hídricos:

Manual da Abiquim demonstra comprometimento
da Indústria Química 6

Tecnologias para descarte zero de efluentes líquidos industriais..... 10

Contaminação de águas por fármacos e
hormônios e tratamentos avançados 17

Eventos

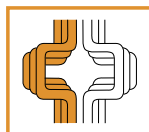
XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Fortaleza 27

EQ na palma da mão

Uso de Sistemas de Tratamento de Efluentes com
Membranas Submersas para Reúso de Água..... 32

Espaço do Professor ABEQ

Entrevista com Professor Luís
Filipe Freitas da Silva de Jesus 34



Informações e Novidades sobre a ABEQ em:

www.abeq.org.br



Áreas Temáticas do XXI SINA Ferm - XII SHEB

1. Biologia Molecular e Biologia de Sistemas Aplicados a Bioprocessos
2. Biotecnologia na Produção de Fármacos
3. Biotecnologia na Produção de Alimentos, Bebidas e Cosméticos
4. Modelagem, Instrumentação e Controle de Bioprocessos
5. Processos Microbiológicos
6. Processos Enzimáticos
7. Recuperação e Purificação de Bioprodutos
8. Biotecnologia Ambiental
9. Biorrefinaria: Biomoléculas e Biocombustíveis

SHEB 1. Pré-tratamento e Fracionamento de Lignocelulósicos

SHEB 2. Processos de Hidrólise Enzimática de Biomassa



DATAS IMPORTANTES

28
FEV

ENVIO DE TRABALHOS
COMPLETOS

13
ABR

RESULTADO DA AVALIAÇÃO
DOS TRABALHOS

15
MAI

DATA FINAL PARA APROVAÇÃO
E PAGAMENTO



ENVIE SEU TRABALHO

Sinaferm / Sheb Esperam por vocês

Realização



ABEQ Associação Brasileira
de Engenharia Química



INSTITUTO FEDERAL
SERGIPE

Gestão Eficiente de Recursos Hídricos: Manual da Abiquim demonstra comprometimento da Indústria Química

Manual explica como identificar oportunidades de melhorar a gestão de recursos hídricos e implementar sistemas de reúso de água

Aline Caldas Bressan¹ · Wagner Freitas²

¹ (Abiquim) – Assessora de Meio Ambiente da Abiquim e Coordenadora da Comissão de Meio Ambiente

² (Solvay Indupa) - Engenheiro de Meio Ambiente da Solvay Indupa e Coordenador do GT Água da Comissão de Meio Ambiente

A água é um recurso essencial à vida em todas as suas formas. Com o aumento da população mundial e as alterações climáticas, a percepção da importância deste recurso tem aumentado. As interferências antrópicas e as necessidades da população fizeram da provável escassez de água uma realidade. O desafio que a humanidade tem pela frente é manter a disponibilidade de água para a crescente população e para a economia como um todo.

No Brasil, apesar da significativa disponibilidade hídrica, a distribuição das demandas no território nacional não está alinhada com a oferta, ou seja, existe alta concentração de demanda em locais onde a oferta não é equivalente.

Segundo os relatórios “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil”, da Agência Nacional de Águas (ANA), em seus informes de 2013 e 2014, apesar de o Brasil possuir 13% da água doce disponível do planeta, a distribuição é desigual. Cerca de 80% de água doce

disponível está concentrada na região hidrográfica amazônica, onde está o menor contingente populacional e a menor demanda – pouco mais de 5% da população brasileira –, enquanto nas regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população do País, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos.

Rios localizados em regiões metropolitanas – como os das Bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), Paraíba do Sul e Alto Tietê – apresentam criticidade quali-quantitativa da água, devido à alta demanda e grande quantidade de carga orgânica lançada, segundo o Informe de 2014 da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). O mesmo relatório também aponta que as regiões Sul e Nordeste do País possuem criticidade quantitativa, devido à grande demanda para irrigação e à baixa disponibilidade hídrica, respectivamente.

Entretanto, a distribuição dos recursos hídricos frente à demanda não é o único fator que interfere na disponibilidade de água. Existem outros fatores que

podem reduzir a oferta desse recurso, como as mudanças climáticas, o desmatamento e a qualidade das águas.

De acordo com o estudo “Riscos Climáticos: Como o setor empresarial está se adaptando”, elaborado pelo Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), projeções realizadas para o Brasil demonstram um aumento de temperatura que pode variar de 0,5 °C a 1,5 °C e alterações nos regimes de chuva em todos os biomas. Por isso, um dos riscos físicos para o ambiente de negócios levantados pelo estudo é a seca. O material traz, ainda, a informação de que o aumento da temperatura tem efeitos diretos sobre o ciclo hidrológico e a distribuição temporal e espacial das chuvas. Esse seria um dos fatores que tendem a afetar a disponibilidade hídrica, fato que já tem se manifestado na região metropolitana de São Paulo nos últimos dois anos, como lembra o estudo (CEBDS, 2015).

É importante ressaltar que, desde muito antes dos últimos anos de seca e da chegada do

El Niño, com seus efeitos sobre o equilíbrio hídrico na região Sudeste do Brasil em 2015, a indústria química já tratava de reduzir o consumo de água em seus processos e produtos, além de fazer o seu reúso.

A gestão das indústrias químicas sobre os recursos hídricos tem se concentrado em três objetivos principais: reduzir

a captação, reduzir a geração de efluentes e aumentar o reúso. Como consequência, o setor tem diminuído o consumo de água por tonelada produzida a cada ano, fato comprovado por indicadores divulgados pela Associação Brasileira da Indústria Química – Abiquim, que dão conta de que entre 2006 e 2014, o setor reduziu 36% da captação de água por

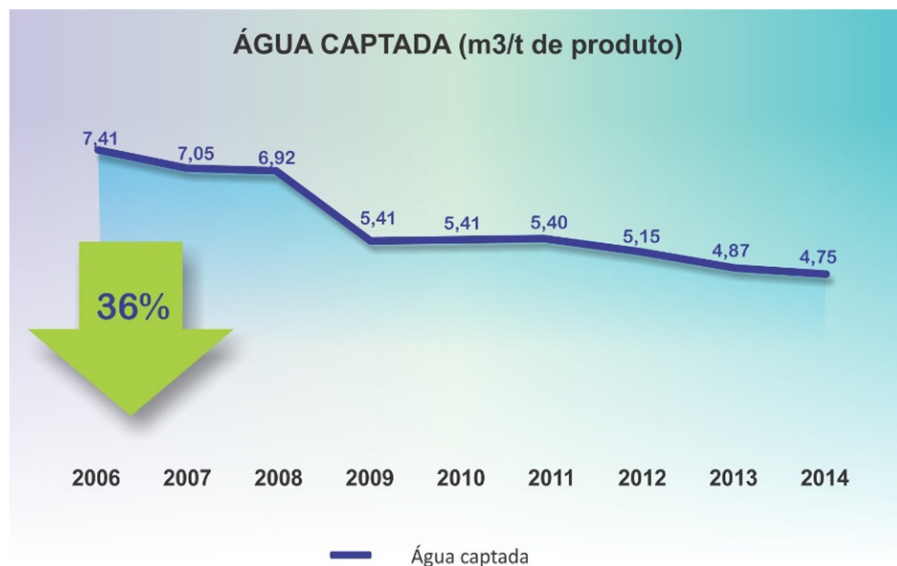
tonelada de produto. Além disso, a indústria química também aumentou a porcentagem de efluentes reciclados em seus processos, de 4,6 % em 2009 para 9,5 % em 2014.

As informações apresentadas são divulgadas pelo Programa Atuação Responsável®, cuja base de dados é relativa às indústrias químicas associadas à Abiquim, que correspondem a 80% do total do faturamento dos produtos químicos de uso industrial. É possível notar que o controle do consumo por parte da indústria química passou a ser questão de alta relevância para as empresas, não apenas nas suas operações, mas também como fator decisivo sobre expansões, novas instalações e investimentos.

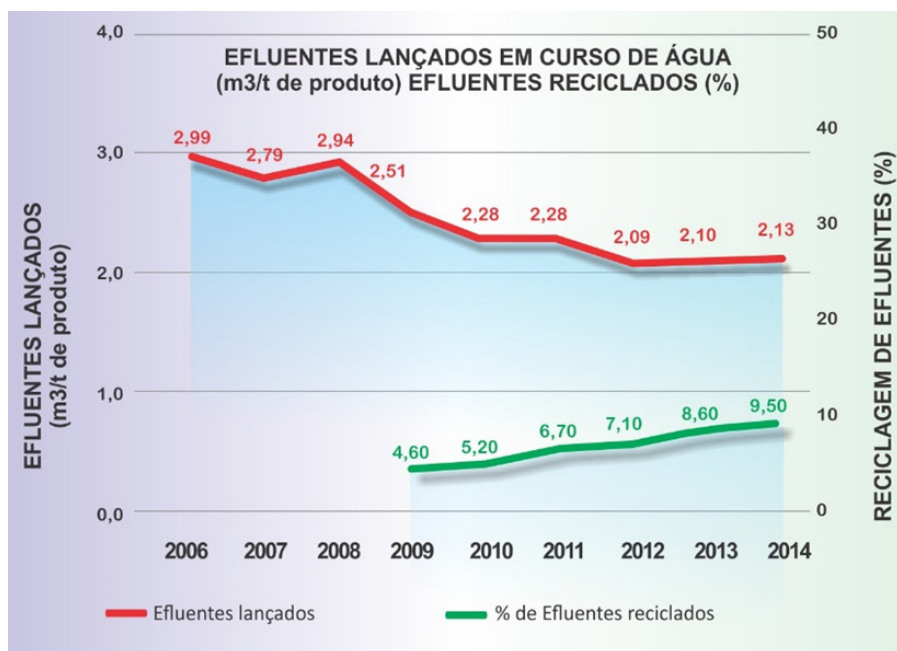
Vale citar que a utilização de água de reúso para fins industriais é uma das ações que a indústria química já tem realizado, assim como a implementação de ações para reduzir perdas de água.

Este fato é corroborado nas palavras do coordenador do GT Água, Wagner Freitas. Ele lembra que a indústria química tem uma grande demanda de água e o uso eficiente dos recursos hídricos é um tema muito relevante. Além disso, à medida que a indústria adota práticas de reúso e melhora a gestão dos recursos hídricos, aumenta-se a disponibilidade de água potável à população.

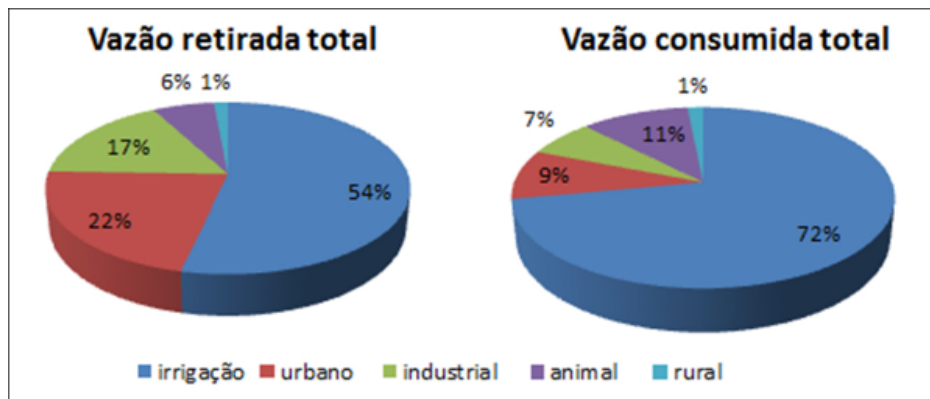
O segmento industrial é o terceiro maior uso do País em termos de vazão de retirada dos rios e o quarto em consumo, segundo o relatório da ANA



Em oito anos, a indústria química brasileira reduziu 36% da captação de água



Percentual de efluentes reciclados pela indústria química subiu de 4,6% para 9,5% entre 2009 e 2014.



Demanda consuntiva total (estimada e consumida) no Brasil
 Fonte: Adaptado de ANA (2015, p. 38).

“Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2014” (ANA, 2015).

O consumo de água por parte da indústria, apesar de não ser o mais significativo, compete com o abastecimento urbano uma vez que a maior parte das indústrias está instalada em regiões metropolitanas ou em áreas muito próximas a elas. No ranking do número de captações em rios de domínio da União, a fabricação de produtos químicos ocupa o quarto lugar entre os segmentos industriais.

No entanto, o que tem preocupado não apenas o segmento químico, mas a indústria como um todo, é que a ‘crise hídrica’ pode ter efeitos muito mais permanentes do que uma seca passageira.

Neste contexto, a Abiquim criou, junto a sua Comissão de Meio Ambiente, um Grupo de Trabalho sobre recursos hídricos (GT Água), que tem como objetivo realizar discussões e análises a respeito do tema, além de propor ações de melhoria, visando tanto ao uso racional do recurso quanto à sustentabilidade dos negócios.

Um dos resultados dos esforços do GT foi a publicação, em julho de 2015, do Guia para Elaboração de Plano de Contingência para a Crise Hídrica, que visa preparar as empresas para situações de escassez hídrica. O Guia foi estruturado em ações sugeridas para quatro níveis de contingência – verde, amarelo, laranja e vermelho – que devem ser definidos por unidade produtiva, ou seja, com base no perfil hidrológico atual da bacia hidrográfica onde a unidade esteja instalada. As medidas de mitigação recomendadas para cada nível possibilitam às empresas avaliar as ações propostas e moldá-las de acordo com sua realidade. No nível verde, a empresa está no uso pleno dos recursos hídricos e, no nível mais crítico (vermelho), o volume de água das fontes hídricas é insuficiente para atender a fábrica. O Guia está disponível gratuitamente para download em abiquim.org.br

Em 2016, o GT Água lançará, na 16ª edição do Congresso de Atuação Responsável, na sala “Meio Ambiente”, o Manual de Gestão Eficiente de Recursos

Hídricos, que tem o objetivo de disseminar boas práticas às empresas de pequeno e médio portes, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável. O conteúdo do Manual contou contribuições das empresas Basf, Braskem, Cabot, Dow, Ecolab, Nitro Química, Peróxidos do Brasil, Solvay e Unipar Carbocloro.

O manual apresenta informações sobre o cenário da disponibilidade hídrica no Brasil, as demandas de diferentes segmentos pelo recurso e o desempenho da indústria química. Além disso, a publicação oferece orientações sobre como uma empresa pode identificar oportunidades de melhoria em sua gestão de recursos hídricos e como sistemas de reúso interno industrial de água podem ser implementados. São abordadas também diferentes tecnologias disponíveis para tratamento de água, além de cases de sucesso de indústrias químicas do Brasil.

Para o lançamento do Manual, estão confirmadas as presenças do fundador e diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA) e professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Ivanildo Hespanhol e do deputado federal Evair de Melo (PV/ES), coordenador do tema Água, da Frente Parlamentar Mista pela Competitividade da Cadeia Produtiva do Setor Químico, Petroquímico e do Plástico.

Sobre o Congresso de Atuação Responsável da Abiquim

O 16º Congresso de Atuação Responsável da Abiquim tem o tema “Química – Criando soluções para uma sociedade responsável”. O evento foi realizado no Novotel Center Norte, em São Paulo (SP), nos dias 18 e 19 de outubro, e recebeu cerca de 500 profissionais e especialistas das mais diversas áreas que discutiram o papel do Programa Atuação Responsável® nas soluções de demandas atuais das empresas químicas, dos setores industriais, que atuam na cadeia de valor da indústria química e da própria

sociedade. O Programa é uma ação voluntária mundial da indústria química, lançado no Brasil pela Abiquim em 1992, que visa a melhoria contínua do desempenho do setor nas áreas de segurança, saúde e meio ambiente e estabelecer a comunicação transparente com as partes interessadas.

O Congresso de Atuação Responsável conta com o patrocínio da Basf, Braskem, Buckman, Cabot, Clariant, CNI/ Sesi, Columbian Chemicals, Dow, Elekeiroz, FM Global, Huntsman, Lanxess, Nitro Química, Oxiten, Rhodia Solvay, Sura Seguros, Unigel, Unipar Carbocloro, Vale Fertilizantes e Videolar-

Innova. Além dessas empresas, patrocinam o Congresso a Comissão Setorial de Silicones da Abiquim (grupo representado pelas empresas Bluestar, Dowcorning, Momentive e Wacker) e a Comissão Setorial Solventes de Uso Industrial da Abiquim (representada pelas empresas Braskem, Elekeiroz, Eastman, Oxiten e Rhodia Solvay). ●

Serviço
16º Congresso de Atuação Responsável
18 e 19 de outubro
Novotel Center Norte
Avenida Zaki Narchi 500
Vila Guilherme, São Paulo
Site: <http://www.congressoar.com.br/>

Tecnologias para descarte zero de efluentes líquidos industriais

Marcelo Martins Seckler¹, Yuri Nascimento Nariyoshi², Carlos Eduardo Pantoja¹, Ligia Carradori Zacharias¹, Frederico Marques Penha¹.

¹ Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química.

² Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia e Tecnologia.

1. A escassez hídrica

Alterações climáticas nas décadas vindouras resultarão em circulação diferenciada da água no planeta e ciclos mais extremos de seca e enchentes, com implicações de aumento na demanda hídrica (Bogardi, Dudgeon *et al.* 2012). Também haverá aumento da demanda para atender ao crescimento da população e para incrementar a parcela da população que ainda não tem acesso a água potável (Bogardi, Dudgeon *et al.* 2012). Tal aumento de demanda intensificará a escassez hídrica. O Brasil não está livre deste problema, pois apesar de contar com aproximadamente 13% da água doce do mundo, tem esse recurso distribuído desigualmente. Além disso, em regiões altamente urbanizadas a escassez hídrica é mais severa (Pombo 2013). No Estado de São Paulo, por exemplo, a preocupação com esta questão já era expressa no plano Plurianual 2004/2007, no qual se lê: “a disponibilidade de água é uma das limitações ao desenvolvimento do Estado, dada a competição por sua utilização para diferentes finalidades” (2003). Os planos plurianuais



subsequentes (2008/2011 e 2012/2015) mantiveram e enfatizaram programas que abordam o controle do consumo de água. Em 2014 e 2015 a baixa precipitação resultou numa baixa disponibilidade de água potável em diversas regiões do país, a qual evidenciou a escassez de água de forma contundente.

Para se atingir gerenciamento ambientalmente sustentável de recursos hídricos, abordagens múltiplas são necessárias, incluindo conservação de água, recuperação e reúso, bem como diversas medidas

de gerenciamento de demanda (Asano 2007). Nesta última categoria enquadram-se preservação de ecossistemas, promoção de uso eficiente de recursos, projetos para resiliência e durabilidade, entre outros (tabela 1).

2. A importância do reúso de água na indústria

O setor industrial deve contribuir para combater a escassez de água, uma vez que é um grande consumidor (ver tabela 2) e também contribui para a deterioração de sua qualidade pela descarga de

Critério
1. Responder a necessidade humana básica de água
2. Manter renovabilidade de longo prazo
3. Preservar ecossistemas
4. Promover uso eficiente de recursos
5. Encorajar conservação de água
6. Encorajar recuperação e reúso de água
7. Enfatizar a importância da qualidade da água para múltiplos usos
8. Examinar a necessidade de recursos hídricos e construir consenso
9. Projetar para resiliência e adaptabilidade

Tabela 1. Critérios para gerenciamento de recursos hídricos (Asano 2007).

indústria	consumo (m ³ água/t produto)
Papel	300
Açúcar	15
Mineração	40
Petróleo	100
Fertilizantes	270
Metalúrgica	40
Alimentos	10

Tabela 2. Consumo específico de água por tipo de indústria (Ranade 2014)

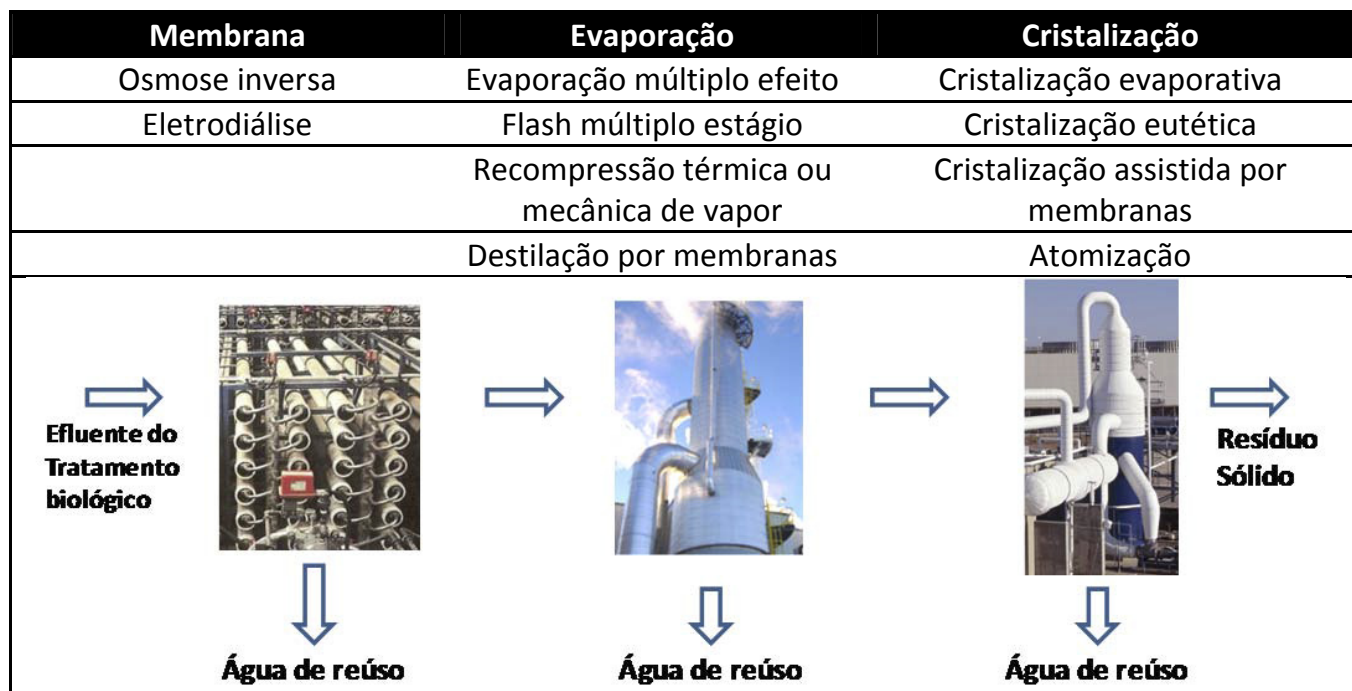
efluentes industriais em corpos hídricos. Uma abordagem eficaz é a promoção do reúso de água, que a um só tempo reduz seu consumo e, no caso de descarga zero de líquido, a emissão dos poluentes contidos na água. No Brasil, ações de reúso são economicamente atrativas, tendo em vista a existência de instrumentos para concessão e cobrança pelo uso dos recursos hídricos estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433, de 1997 (Pombo 2013). Há ainda a possibilidade de valorizar como recursos as substâncias contidas em efluentes, tanto para obter produtos quanto energia.

3. Processos para reúso de água

Os contaminantes mais comuns em efluentes industriais são caracterizados em termos de DBO, DQO, pH, alcalinidade, metais, compostos contendo N, contendo P, cor, sólidos suspensos, óleos e graxas (Woodard and Curran 2006). As tecnologias para tratamento de tais efluentes permitem recuperar a água numa pureza compatível com aplicações na própria indústria, tais como para a geração de vapor e sistemas de troca térmica (Madwar and Tarazi 2003), ou fora dela, como em irrigação no campo e na agricultura ou ainda na recarga de aquíferos. Em geral aplica-se um tratamento primário, que consiste de métodos físicos, como sedimentação ou filtração, seguido por um tratamento secundário por método biológico para remover 85-95% do DBO/DQO e sólidos suspensos. Tratamentos terciários como adsorção, troca iônica, membranas e evaporação são aplicados para remoção de poluentes

tóxicos, (Ranade 2014). Após tais tratamentos, o efluente aquoso é constituído de uma solução aquosa contendo principalmente uma mistura de sais inorgânicos.

Quando o objetivo é o reúso na própria indústria, o tratamento terciário é comumente realizado por uma operação por membranas, pois a água produzida tem pureza compatível com as aplicações mais comuns, e apresenta baixo consumo energético. Unidades de dessalinização de água do mar por osmose inversa, por exemplo, consomem apenas 2 kWh/m³ água (Elimelech and Phillip 2011). Energia elétrica é usada para bombeamento da água através de uma membrana densa contra um gradiente de pressão osmótica. No caso da eletrodialise ou eletrodialise reversa, a energia consumida também tem origem elétrica, mas neste caso ela é necessária para fazer íons se moverem contra um gradiente de potencial eletroquímico. Para concentrações salinas a partir de 0,3% osmose inversa é preferível (Elimelech and Phillip 2011), já para soluções mais diluídas a eletrodialise é geralmente a melhor alternativa (Prakash, Bellman *et al.* 2012). Se a concentração salina aumenta, os potenciais osmótico e eletroquímico também aumentam até tornar estas técnicas inviáveis ambiental e economicamente. Por isso, esta etapa não pode ser usada para elevar a concentração de sais acima de



	Membrana	Evaporação	Cristalização
Consumo energético	Baixo	Médio	Alto
Concentração máxima na saída	6% sais dissolvidos	Solução saturada em sais	Descarga zero de líquido

Figura 1. Sequência típica de separações visando reúso de água, partindo de um efluente industrial que já passou pelos tratamentos primário e secundário.

6%. Na prática, a concentração máxima é inferior, pois a partir de uma dada concentração, sais pouco solúveis precipitam sobre a membrana, formando incrustações que inviabilizam o processo. A concentração pode ser aumentada até certo ponto pelo emprego de anti-incrustantes, o valor máximo dependendo da composição de cada efluente particular.

4. Processos para reúso de água com descarte zero de líquido

Os processos de eletrodiálise e osmose inversa, apesar de tecnologicamente maduros e altamente seletivos, rejeitam

um fração da corrente de alimentação, tipicamente 20 a 30%, na forma de um concentrado salino. Em alguns casos a rejeição chega a atingir até 50% (Baker 2004). Os concentrados salinos representam assim uma quantidade considerável de água que é usualmente disposta em lagoas de evaporação, descartada em águas costeiras ou injetada em poços profundos (Kim 2011). Além de desperdício, o seu descarte impõe danos ao meio ambiente, tais como eutrofização e variações bruscas de pH (Perez-Gonzalez, Urutiaga *et al.* 2012). Como consequência, essas práticas estão se tornando cada vez mais restritas,

induzindo o desenvolvimento de processos para descarte zero de líquido (zero liquid discharge, ZLD). Para este objetivo, devem ser considerados processos que complementem a operação com membranas, concentrando a solução até a remoção completa dos sais originalmente em solução.

A figura 1 apresenta uma sequência possível para o tratamento de um efluente salino industrial, oriundo de tratamento primário e secundário. Como já explicado, a operação com membranas recupera parte da água, gerando como retentado uma solução com concentração de até 6%. Esta solução é

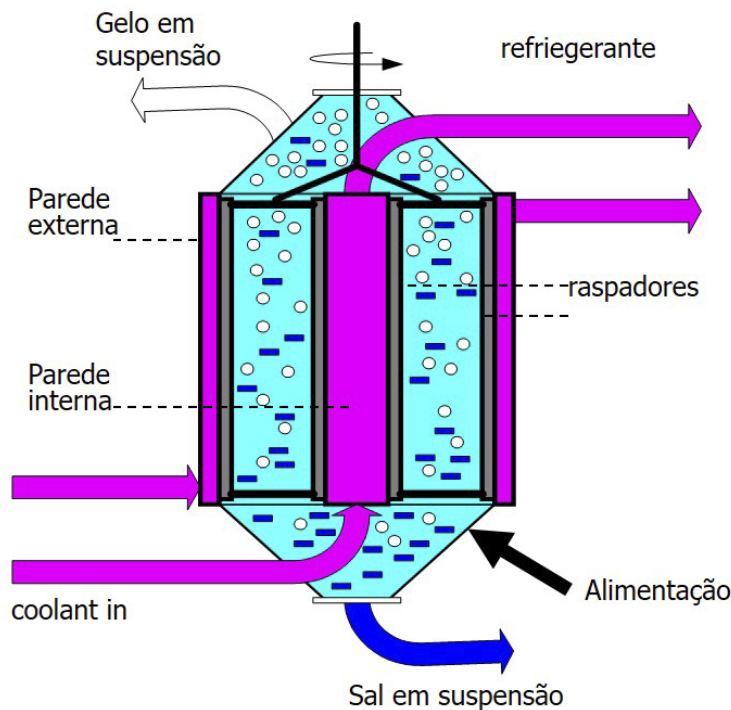


Figura 2. Cristizador eutético desenvolvido na TUDelft (Vaessen, Janse et al. 2003).

tratada em uma operação de evaporação, que recupera mais água e produz uma salmoura com cerca de 20% em sais dissolvidos, próxima da saturação com relação a sais solúveis. Esta é finalmente tratada em uma etapa de cristalização para separação completa dos sais remanescentes.

4.1 Evaporação

Evaporadores empregam energia de origem térmica para realizar a separação. O calor latente de vaporização da água é cerca de 600 kwh/m³, mas o recurso a vaporizadores de múltiplo efeito permite consumos de 60 kwh/m³ água, pois o vapor gerado num estágio é usado para vaporizar água no estágio seguinte, que é submetido a uma pressão ligeiramente menor. Recursos alternativos

comumente usados para reduzir o consumo energético são a recompressão mecânica ou a recompressão térmica de vapor. Evaporadores de filme descendente e de circulação forçada podem ser usados, pois eles suportam a presença de sólidos, gerados pela própria evaporação da salmoura saturada oriunda da etapa de membranas. Em geral estes sólidos são constituídos por sais poucos solúveis, tais como sulfatos de bário, estrôncio e cálcio, compostos de sílica e carbonato de cálcio. No seu conjunto, o teor de sólidos na saída do evaporador não supera 2%. A solução que deixa o evaporador é uma salmoura próxima da saturação com relação a sais solúveis como o cloreto de sódio e o sulfato de sódio. Esta corrente pode corresponder a menos de 10%

da solução na entrada, e deve ser tratada num cristizador para separação completa dos sais remanescentes. Os principais processos de cristalização são descritos a seguir.

4.2 Cristalização evaporativa

A cristalização evaporativa é uma operação unitária consolidada, sendo amplamente empregada para a purificação de correntes líquidas e para a síntese de produtos particulados (Lewis, Seckler et al. 2015) nas indústrias química, farmacêutica, de mineração, entre outras. O emprego de cristalizadores para reúso de água é bem mais recente, mas já é oferecido comercialmente. Este tipo de aplicação apresenta duas peculiaridades. Em primeiro lugar o produto de interesse é a água, ao invés do sólido, que deve



Figura 3. Sistema piloto de cristalização eutética. O corpo do cristalizador é o cilindro vertical escuro à esquerda. À direita vê-se o filtro de esteiras para o sal. O filtro de gelo está na parte posterior da instalação. (Fonte: EFC Separations, www.efc.nl)

ter qualidade compatível com a finalidade de reúso pretendida. No caso de solutos não voláteis, tais como substâncias inorgânicas e orgânicas de elevado peso molecular, a qualidade da água produzida é adequada para as destinações mais comuns, como torres de resfriamento e mesmo caldeiras. No entanto, quando a solução contém solutos voláteis, como, por exemplo, CO_2 , NH_3 e orgânicos leves, uma separação adicional pode ser necessária. Em segundo lugar, todos os sais dissolvidos cristalizam simultaneamente no mesmo equipamento, em oposição à situação corriqueira onde apenas um composto cristaliza. Esta mistura de sólidos é usualmente classificada como um resíduo. Por isso, é desejável que ela seja constituída por partículas

grandes ($\sim 0,3$ mm ou mais) para facilitar a separação sólido-líquido a jusante do cristalizador e para minimizar a retenção de líquido na fase sólida (a qual fica incorporada ao resíduo) após esta separação. Devido a interações entre os compostos que cristalizam, é difícil prever o tamanho das partículas formadas, sendo necessário recorrer a estudos experimentais com cada efluente de interesse.

A principal desvantagem deste método de separação é o elevado custo energético para vaporizar a água. Assim como no caso dos evaporadores, múltiplos efeitos são usados para economizar energia. Também há outros métodos de economia de energia como recompressão mecânica de vapor e recompressão térmica de vapor. Mesmo com estas medidas, o consumo energético

é em geral superior a 100 kWh/m^3 .

4.3 Cristalização eutética

A cristalização eutética (Vaessen, Janse *et al.* 2003; Lewis, Seckler *et al.* 2015) consiste na remoção de calor de um sistema aquoso no ponto eutético, de forma a cristalizar simultaneamente gelo e sal. Os cristais de gelo são separados dos cristais de sal por sedimentação dentro do próprio cristalizador (Figura 2). O gelo é menos denso que a solução e se acumula no topo do equipamento, enquanto o sal decanta. Por apresentarem retículos cristalinos muito diferentes, tanto sal como gelo são puros. A vantagem desta tecnologia é que a entalpia necessária para congelar a água é apenas 15% da quantidade necessária para sua evaporação. Há economia de energia

em relação à cristalização evaporativa, um valor típico seria 20%. Por outro lado, os custos associados ao resfriamento até as baixas temperaturas eutéticas são maiores que os custos associados ao aquecimento. De fato, EFC é viável economicamente quando a temperatura eutética situa-se acima -25°C . Trata-se de uma tecnologia emergente, com instalações em escala piloto na Holanda (Figura 3) e África do Sul.

4.4 Cristalização assistida por membranas

Outra tecnologia emergente é a cristalização assistida por membranas (Membrane Distillation Crystallization, MDC) (Pantoja, Nariyoshi *et al.* 2014). A exemplo da EFC, a MDC surgiu nos anos 1960. Após uma fase de “desaparecimento”, a partir dos anos 1990 até os dias de hoje esta tecnologia tem experimentado desenvolvimento até tornar-se uma promissora alternativa aos processos térmicos tradicionais de dessalinização. A destilação por membranas simples (MD, sem cristalização combinada) já é disponível comercialmente. A MD baseia-se no transporte de vapor d'água através dos poros de uma membrana microporosa (Figura 4). De um lado da membrana, a solução salina que se deseja concentrar é alimentada a temperaturas moderadas ($40\text{--}70^{\circ}\text{C}$), sendo do lado oposto alimentada água pura à temperatura ambiente, por exemplo. O gradiente de

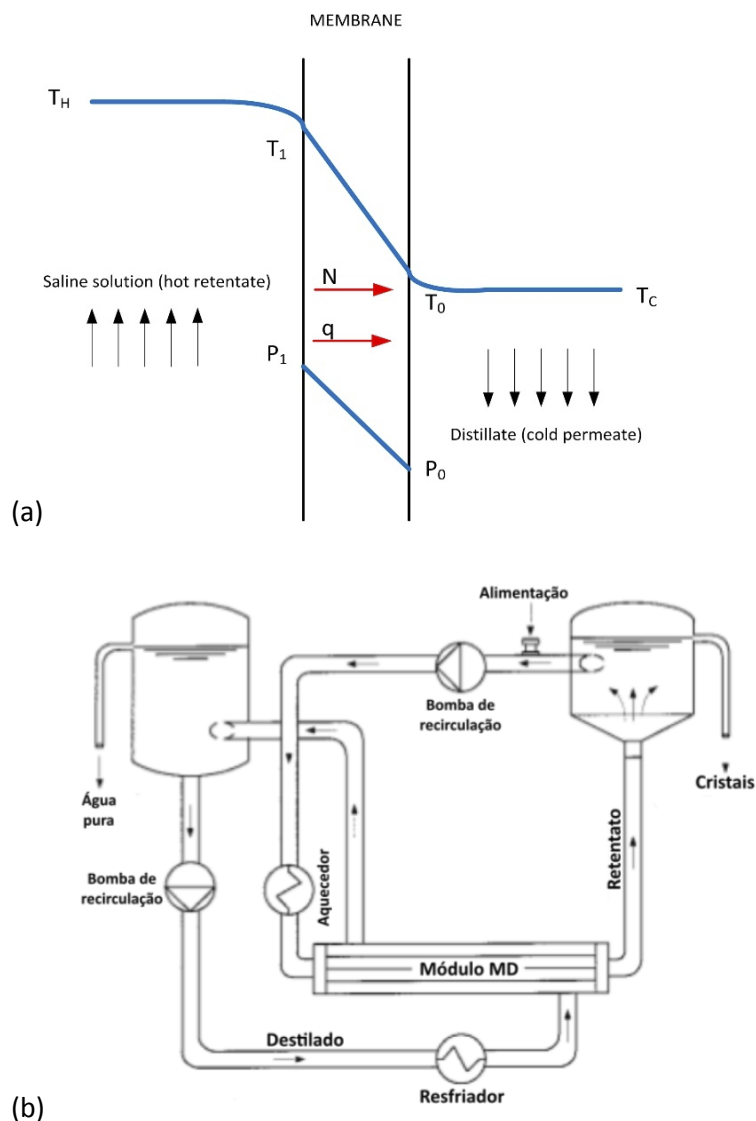


Figura 4. Processo de cristalização assistida por membranas (MDC). (a) representação esquemática, mostrando os perfis de temperatura e pressão de vapor no interior de um poro da membrana. (b) Processo indicando o módulo de destilação por membranas (MD) e cristalizador.

temperaturas que se estabelece entre as interfaces opostas do poro origina um gradiente de pressão de vapor da água, que é a força motriz do processo. Vapor de água migra desde o lado mais quente dos poros, condensando na interface fria, onde passa a constituir a corrente de água pura. Sal é removido a jusante do módulo de membranas num cristalizador. Por meio de reciclo entre cristalizador e membrana,

em princípio é possível recuperar toda a água contida na salmoura. A grande área de contato proporcionada pelas membranas hidrofóbicas microporosas resulta em taxas razoáveis de vapor de água mesmo para gradientes de temperatura moderados. Este fato permite a utilização de fontes de energia de baixa entalpia, normalmente abundantes em complexos químicos e petroquímicos

(integração energética), ou mesmo a integração com células de captação de energia solar. Outro ponto positivo deste processo está relacionado com as pressões moderadas envolvidas, próximas à pressão atmosférica.

5. Conclusões

O reúso de água é uma alternativa que pode ser aproveitada pela indústria para combater a escassez hídrica. Osmose inversa e eletrodialise são tecnologias maduras que permitem tratar efluentes aquosos para gerar água com qualidade compatível com o reúso na própria indústria e fora dela. Como estas tecnologias não permitem a recuperação total da água contida

nos efluentes, há emissão de salmouras cujo impacto ambiental é indesejável. Por isso, há uma tendência de se adotar tecnologias complementares para descarga zero de líquido. A cristalização evaporativa é uma tecnologia que há alguns anos tem sido oferecida comercialmente para este tipo de aplicação. A cristalização eutética é uma tecnologia emergente que tem potencial para consumir menos energia que a cristalização evaporativa. A cristalização assistida por membranas também é uma tecnologia emergente que apresenta como vantagens a simplicidade e a facilidade em aproveitar fontes residuais de energia, bem como aproveitar diretamente a energia solar. ●

Referências bibliográficas

Lei no 11.605 de 24/12/2003. Dispõe sobre o Plano Plurianual para o período de 2004/2007. São Paulo.

Asano, T. B., F.L.; Leverenz, H.L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*, McGraw Hill.

Baker, R. W. (2004). *Membrane technology and applications*, Wiley.

Bogardi, J. J., D. Dudgeon, et al. (2012). "Water security for a planet under pressure: Interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4(1): 35-43.

Elimelech, M. and W. A. Phillip (2011). "The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment." *Science* 333(6043): 712-717.

Kim, D. H. (2011). "A review of desalting process techniques and economic analysis of the recovery of salts from retentates." *Desalination* 270: 1-8.

Lewis, A. E., M. M. Seckler, et al. (2015). *Industrial crystallization: Fundamentals and applications*, Cambridge University Press.

Madwar, K. and H. Tarazi (2003). "Desalination techniques for industrial wastewater reuse." *Desalination* 152(1): 325-332.

Pantoja, C. E., Y. Nariyoshi, et al. (2014). *Membrane distillation crystallization applied to reverse osmosis and*

electrodialysis waste streams: process analysis. ISIC 19 - International Symposium on Industrial Crystallization, Toulouse, France.

Perez-Gonzalez, A., A. M. Urtiaga, et al. (2012). "State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates." *Water Res.* 46: 267-283.

Pombo, F. R. M., A. ; Szklo, A.S. (2013). "An analysis of water management in Brazilian petroleum refineries using rationalization techniques." *Resources, Conservation and Recycling* 73: 7.

Prakash, S., K. Bellman, et al. (2012). *Recent advances in water desalination through biotechnology and nanotechnology. Bionanotechnology II: Global Prospects*, CRC Press: 365-382.

Ranade, V. V. B., V.M. (2014). *Industrial wastewater treatment, recycling and reuse*, Elsevier, Butterworth-Heinemann.

Vaessen, R. J. C., B. J. H. Janse, et al. (2003). "Evaluation of the performance of a newly developed eutectic freeze crystallizer: Scraped cooled wall crystallizer." *Chemical Engineering Research and Design* 81(10): 1363-1372.

Woodard and Curran (2006). 1 - *Evaluating and Selecting Industrial Waste Treatment Systems. Industrial Waste Treatment Handbook (Second Edition)*. Burlington, Butterworth-Heinemann: 1-28.

Contaminação de águas por fármacos e hormônios e tratamentos avançados

Arlen Mabel Lastre-Acosta¹, Marcela Prado Silva Parizi¹, Antonio Carlos Silva Costa Teixeira¹

¹ Departamento de Engenharia Química – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

O crescimento populacional, industrial e urbano tem contribuído para o aumento da quantidade e complexidade dos poluentes químicos presentes em águas superficiais e subterrâneas. Ao se falar em degradação dos recursos hídricos, vem crescendo a preocupação da comunidade científica e da sociedade com substâncias hoje classificadas como poluentes de interesse ou preocupação emergente (pollutants of emerging concern, CEC). Pouco se conhece quanto aos impactos desses contaminantes no meio ambiente e na saúde humana. Efeitos como redução da fertilidade e feminização de machos de algumas espécies aquáticas foram relatados (Molander *et al.*, 2009) e por vezes divulgados na mídia (Christante, 2010).

Micropoluentes Emergentes

Compostos farmacêuticos, pesticidas, hormônios, perturbadores endócrinos, entre outros, são categorizados como micropoluentes emergentes, substâncias químicas xenobióticas presentes em baixas concentrações ($\mu\text{g L}^{-1}$ e ng L^{-1}) em águas superficiais e subterrâneas, solos, sedimentos. Tais substâncias não precisam persistir no ambiente para cau-

sar efeitos adversos, uma vez que sua degradação/remoção, ainda que eventualmente lenta, é compensada pela entrada contínua no ambiente (Barcelo, 2003). Sabe-se, também, que alguns destes compostos, quando descartados nos corpos d'água, provocam efeitos de genotoxicidade e aumento da resistência de bactérias patogênicas (Aydin *et al.*, 2015).

Existe atualmente interesse crescente de grupos científicos quanto à presença de desreguladores endócrinos (DE) no ambiente aquático, devido ao potencial destes micropoluentes emergentes em afetar a saúde e a reprodução de humanos e de animais (Bila e Dezotti, 2003). Tais substâncias podem interferir no funcionamento normal do sistema endócrino de seres humanos e animais (i) mimetizando o efeito dos hormônios endógenos; (ii) antagonizando o efeito dos hormônios endógenos; (iii) interrompendo a síntese e o metabolismo dos hormônios endógenos ou (iv) perturbando a síntese dos receptores hormonais específicos (Silva *et al.*, 2012). Diferentes substâncias são classificadas como DE, entre as quais pesticidas, fármacos, compostos usados e produzidos

na indústria química, além de hormônios naturais e sintéticos. Os hormônios podem ser entendidos como mensageiros químicos que regulam e influenciam importantes funções: desenvolvimento corporal, crescimento, reprodução e comportamento (Birkett e Lester, 2003). Os hormônios esteroides, sintetizados a partir do colesterol, são os hormônios mais comumente encontrados em águas residuais (Racz e Goel, 2010). Estes hormônios podem causar efeitos prejudiciais para os ecossistemas, como a feminização de peixes machos e alterações no DNA (Li, 2014). Os hormônios estrona, 17- β -estradiol e estriol são as formas naturais dos hormônios esteroides, enquanto o 17- α -etinilestradiol é sua forma sintética, utilizada na fabricação dos anticoncepcionais. Alguns destes compostos podem afetar o metabolismo de organismos sensíveis, inclusive populações humanas como crianças e gestantes, mesmo em concentrações traço como encontrados no ambiente (Dong *et al.*, 2013).

A Tabela 1 traz exemplos de compostos farmacêuticos de diversas classes terapêuticas (antibióticos, hormônios

Tabela 1 – Exemplos de fármacos e hormônios detectados em águas e efluentes no Brasil.

Fármaco	Concentrações	Matriz	Localidade	Referência
Acetaminofeno (analgésico)	0,3-10,3 ng L ⁻¹ < 34,6 ng L ⁻¹	Água superficial Água superficial	Represa Billings, São Paulo (SP) Baía de Santos, São Paulo (SP)	Almeida e Weber (2005) Pereira <i>et al.</i> (2016)
Amoxicilina (antibiótico)	0,46-17 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Ampicilina (antibiótico)	< 0,45 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Atenolol (β-bloqueador)	0,9-16,4 ng L ⁻¹ 6,1 ng g ⁻¹ 2,5 µg L ⁻¹ 0,95 µg L ⁻¹ 1,3 µg L ⁻¹	Água superficial Sedimentos Efluente hospitalar Efluente hospitalar Efluente hospitalar	Represa Billings, São Paulo (SP) Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA) Efluente do pronto atendimento, HUSM, Santa Maria (RS) Efluente do HUSM, Santa Maria (RS) Córrego receptor, Santa Maria (RS)	Almeida e Weber (2005) Beretta <i>et al.</i> (2014) Wilde <i>et al.</i> (2012) Wilde <i>et al.</i> (2012) Wilde <i>et al.</i> (2012)
Bezafibrato (antilipêmico)	1,2-3,7 ng L ⁻¹ ≤ 0,03 µg L ⁻¹ 1,2 µg L ⁻¹	Água superficial Água superficial Esgoto bruto	Represa Billings, São Paulo (SP) Rio Paraíba do Sul (RJ) ETE, Rio de Janeiro (RJ)	Almeida e Weber (2005) Stumpf <i>et al.</i> (1999) Stumpf <i>et al.</i> (1999)
Buformina (antidiabético)	2,6-18,4 ng L ⁻¹	Água superficial	Represa Billings, São Paulo (SP)	Almeida e Weber (2005)
Cafeína (estimulante e diurético)	0,35-28,3 ng L ⁻¹ 2,5 ng g ⁻¹ 294 µg L ⁻¹ 1,3 µg L ⁻¹ 1-17 µg L ⁻¹ 3,3 µg L ⁻¹ < 648,9 ng L ⁻¹	Água superficial Sedimentos Esgoto bruto Esgoto tratado Água superficial Água potável Água superficial	Represa Billings, São Paulo (SP) Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA) ETE Samambaia, Campinas (SP) ETE Samambaia, Campinas (SP) Rio Atibaia, Campinas (SP) Campinas (SP) Baía de Santos, São Paulo (SP)	Almeida e Weber (2005) Beretta <i>et al.</i> (2014) Ghiselli (2006) Ghiselli (2006) Ghiselli (2006) Ghiselli (2006) Pereira <i>et al.</i> (2016)
Carbamazepina (anticonvulsivo)	0,41 ng g ⁻¹	Sedimentos	Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA)	Beretta <i>et al.</i> (2014)
Cefalexina (antibiótico)	0,64-29 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Ciprofloxacino (antibiótico)	0,41-2,5 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Diazepam (ansiolítico)	0,2-4,8 ng L ⁻¹ 0,39 ng g ⁻¹	Água superficial Sedimentos	Represa Billings, São Paulo (SP) Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA)	Almeida e Weber (2005) Beretta <i>et al.</i> (2014)
Diclofenaco (anti-inflamatório)	8,1-394,5 ng L ⁻¹ 0,67 ng g ⁻¹ 2,9 µg L ⁻¹ 1,8 µg L ⁻¹ < 19,4 ng L ⁻¹ 0,01-0,06 µg L ⁻¹	Água superficial Sedimentos Esgoto bruto Esgoto tratado Água superficial Água superficial	Represa Billings, São Paulo (SP) Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA) ETE Samambaia, Campinas (SP) ETE Samambaia, Campinas (SP) Baía de Santos, São Paulo (SP) Rio Paraíba do Sul (RJ)	Almeida e Weber (2005) Beretta <i>et al.</i> (2014) Ghiselli (2006) Ghiselli (2006) Pereira <i>et al.</i> (2016) Stumpf <i>et al.</i> (1999)
Dipirona (analgésico)	36,4 µg L ⁻¹ 23,7 µg L ⁻¹	Esgoto bruto Esgoto tratado	ETE Samambaia, Campinas (SP) ETE Samambaia, Campinas (SP)	Ghiselli (2006) Ghiselli (2006)
Eritomicina (antibiótico)	0,24 ng g ⁻¹	Sedimentos	Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA)	Beretta <i>et al.</i> (2014)
Estriol (hormônio)	46,0 ng L ⁻¹	Água tratada	Piracicaba (SP)	Torres <i>et al.</i> (2015)
Estrona (hormônio)	0,04 µg L ⁻¹ 0,027 µg L ⁻¹ < 600 ng L ⁻¹ < 0,1 ng L ⁻¹ 14,0 ng L ⁻¹ 6,0-8,0 ng L ⁻¹	Esgoto bruto Nascente Água superficial Água tratada	Rio de Janeiro Jaboticabal (SP) Rio Piracicaba (SP) Piracicaba (SP)	Ternes <i>et al.</i> (1999) Lopes <i>et al.</i> (2010) Torres <i>et al.</i> (2015) Torres <i>et al.</i> (2015)
Ibuprofeno (anti-inflamatório)	10,0-78,2 ng L ⁻¹ 11,6 ng g ⁻¹ 54,2 µg L ⁻¹ 48,4 µg L ⁻¹ < 2094,4 ng L ⁻¹ ≤ 0,01 µg L ⁻¹	Água superficial Sedimentos Esgoto bruto Esgoto tratado Água superficial Água superficial	Represa Billings, São Paulo (SP) Baía de Todos os Santos e costa norte de Salvador (BA) ETE Samambaia, Campinas (SP) ETE Samambaia, Campinas (SP) Baía de Santos, São Paulo (SP) Rio Paraíba do Sul (RJ)	Almeida e Weber (2005) Beretta <i>et al.</i> (2014) Ghiselli (2006) Ghiselli (2006) Pereira <i>et al.</i> (2016) Stumpf <i>et al.</i> (1999)

Tabela 1 (cont.) - Exemplos de fármacos e hormônios detectados em águas e efluentes no Brasil.

Fármaco	Concentrações	Matriz	Localidade	Referência
Losartana (anti-hipertensivo)	< 32 ng L ⁻¹	Água superficial	Baía de Santos, São Paulo (SP)	Pereira <i>et al.</i> (2016)
Metoprolol (β-bloqueador)	4,7 µg L ⁻¹	Efluente hospitalar	Efluente do pronto atendimento, HUSM, Santa Maria (RS)	Wilde <i>et al.</i> (2012)
	0,70 µg L ⁻¹	Efluente hospitalar	Efluente do HUSM, Santa Maria (RS)	Wilde <i>et al.</i> (2012)
	1,3 µg L ⁻¹	Efluente hospitalar	Córrego receptor, Santa Maria (RS)	Wilde <i>et al.</i> (2012)
Naproxeno (anti-inflamatório)	0,01-0,05 µg L ⁻¹	Água superficial	Rio Paraíba do Sul (RJ)	Stumpf <i>et al.</i> (1999)
Norfloxacina (antibiótico)	0,41-2,2 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Paracetamol (analgésico)	18,1 µg L ⁻¹	Esgoto bruto	ETE Samambaia, Campinas (SP)	Ghiselli (2006)
	5,9 µg L ⁻¹	Esgoto tratado	ETE Samambaia, Campinas (SP)	Ghiselli (2006)
Progesterona (hormônio)	0,56 ng L ⁻¹	Água superficial	Rio Piracicaba (SP)	Torres <i>et al.</i> (2015)
	26,0 ng L ⁻¹	Água tratada	Piracicaba (SP)	Torres <i>et al.</i> (2015)
Propranolol (β-bloqueador)	0,70 µg L ⁻¹	Efluente hospitalar	Efluente do pronto atendimento, HUSM, Santa Maria (RS)	Wilde <i>et al.</i> (2012)
	0,32 µg L ⁻¹	Efluente hospitalar	Efluente do HUSM, Santa Maria (RS)	Wilde <i>et al.</i> (2012)
	0,56 µg L ⁻¹	Efluente hospitalar	Córrego receptor, Santa Maria (RS)	Wilde <i>et al.</i> (2012)
Sulfametoxazol (antibiótico)	0,78-1,8 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Tetraciclina (antibiótico)	2,5-11 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Trimetoprima (antibiótico)	2,3-6,9 ng L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Atibaia (SP)	Locatelli <i>et al.</i> (2011)
Valsartana (anti-hipertensivo)	< 75 ng L ⁻¹	Água superficial	Baía de Santos, São Paulo (SP)	Pereira <i>et al.</i> (2016)
17α-etinilestradiol (hormônio)	35,0-150,0 ng L ⁻¹	Água superficial	Rio Piracicaba (SP)	Torres <i>et al.</i> (2015)
	92,0 ng L ⁻¹	Água tratada	Piracicaba	Torres <i>et al.</i> (2015)
	0,31 µg L ⁻¹	Água superficial	Rio Jundiá, Indaiatuba (SP)	Sodré <i>et al.</i> (2007)
	< 0,12-5,9 µg L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Iguaçu, Curitiba (PR)	Machado <i>et al.</i> (2014)
17β-estradiol (hormônio)	0,021 µg L ⁻¹	Esgoto bruto	ETE da Penha, Rio de Janeiro (RJ)	Ternes <i>et al.</i> (1999)
	16-30,6 ng L ⁻¹	Nascente	Jaboticabal (SP)	Lopes <i>et al.</i> (2010)
	8,6-25,8 ng L ⁻¹	Água superficial	Jaboticabal (SP)	Lopes <i>et al.</i> (2010)
	6,8 ng L ⁻¹	Água tratada	Jaboticabal (SP)	Lopes <i>et al.</i> (2010)
	6,0-8,0 ng L ⁻¹	Água superficial	Rio Piracicaba (SP)	Torres <i>et al.</i> (2015)
	41,0 ng L ⁻¹	Água tratada	Piracicaba (SP)	Torres <i>et al.</i> (2015)
	2,51 µg L ⁻¹	Água superficial	Ribeirão Anhumas, Campinas (SP)	Sodré <i>et al.</i> (2007)
	< 0,10-13,5 µg L ⁻¹	Água superficial	Bacia do Rio Iguaçu, Curitiba (PR)	Machado <i>et al.</i> (2014)

contraceptivos, anti-inflamatórios, analgésicos etc.) em matrizes aquosas no Brasil. Os trabalhos pioneiros sobre a presença desses micropoluentes remontam a Stumpf *et al.* (1999) e Ternes *et al.* (1999). Esses estudos detectaram resíduos de fármacos e de perturbadores endócrinos em efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETE) e em águas fluviais no estado do Rio de Janeiro. Por sua vez, Almeida e Weber (2005) relatam a presença de fármacos como acetaminofeno, atenolol, bezafibrato, buformin,

cafeína, diazepam, diclofenaco e ibuprofeno no Reservatório Billings (SP), enquanto o risco da exposição do ambiente a β-bloqueadores presentes em efluente hospitalar foi levantado por Wilde *et al.* (2012) em Santa Maria (RS). O trabalho recente de Machado *et al.* (2016) constitui um dos primeiros levantamentos nacionais da presença de contaminantes emergentes em água potável e reservatórios de abastecimento no Brasil.

A contaminação dos recursos hídricos por fármacos e hormônios é resultado de diversas

fontes poluidoras, pontuais e difusas. Esses compostos são parcialmente metabolizados no organismo conforme sua função terapêutica, sendo excretados na urina e nas fezes juntamente com seus metabólitos e conduzidos via esgoto doméstico às ETE, onde boa parte deles não é completamente eliminada (Ikehata *et al.*, 2006). Outras fontes poluidoras envolvem efluentes da indústria farmacêutica e da agroindústria, descargas da aquicultura e piscicultura, esterco animal usado para adubação, efluente hospitalar e a disposição

de medicamentos vencidos em lixões ou aterros sanitários. Concentrações surpreendentemente altas de ciprofloxacino ($6,5 \text{ mg L}^{-1}$), cetirizina ($1,2 \text{ mg L}^{-1}$), norfloxacino ($0,52 \text{ mg L}^{-1}$) e enoxacina ($0,16 \text{ mg L}^{-1}$) foram encontradas em lagos na região de Haiderabade, na Índia (Fick *et al.*, 2009). Liu *et al.* (2012) detectaram concentrações elevadas de oxitetraciclina ($0,36\text{-}12,36 \text{ mg L}^{-1}$) em efluente de processo industrial no norte da China.

Por outro lado, o conhecimento do destino fármacos no meio ambiente é essencial para avaliar seus potenciais impactos. Entre outros fatores, a persistência de micropoluentes orgânicos em águas superficiais depende da cinética de degradação por meio de processos bióticos e abióticos. A degradação fotoinduzida e/ou fotoiniciada pela radiação solar pode consistir na principal via de remoção de poluentes em águas superficiais, particularmente para poluentes refratários à degradação biológica (Boreen *et al.*, 2004). Nesse sentido, ainda são escassos estudos detalhados relacionados à investigação do destino ambiental fotoquímico de fármacos, hormônios e outros contaminantes emergentes.

Estudos têm apontado plantas farmacêuticas como fontes pontuais importantes do aporte de fármacos no ambiente. Em países como Índia e China, líderes na produção de princípios ativos e genéricos, concentrações de antibióticos superiores a 10 mg L^{-1} foram identificadas em efluentes industriais, a exemplo do ciprofloxacino (Larsson *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2008). Outro exemplo são concentrações altas do anticonvulsivo carbamazepina ($0,84 \text{ mg L}^{-1}$) e do antidepressivo venlafaxina ($11,7 \text{ mg L}^{-1}$) em ETE de planta de formulação de medicamentos em Tel Aviv (Israel) (Lester *et al.*, 2013). De modo similar, diferentes estudos têm relatado que as estações de tratamento de água (ETA) e esgoto (ETE) apenas reduzem parcialmente a concentração de hormônios, o que não garante a degradação dos mesmos.

Tratamentos convencionais (floculação, adsorção em carvão ativado, stripping, coagulação eletroquímica, filtração, incineração, tratamento biológico etc.) possuem limitações técnicas e/ou econômicas: à exceção dos dois últimos, os processos físico-químicos concentram os poluentes, na maior parte das vezes sem degradá-los, reduzindo seu volume, porém criando o problema da disposição final. Por exemplo, o lodo ativado pode conter concentrações de poluentes até 1000 vezes superiores às encontradas no afluente das estações (Rodrigues-Silva *et al.*, 2014). Por exemplo, segundo Dong *et al.* (2013), em torno de 30% e 70% dos hormônios 17- α -etinilestradiol e 17- β -estradiol, respectivamente, são removidos em ETE.

Alternativas para Degradação de Fármacos e Hormônios em Águas e Efluentes: Processos Avançados de Oxidação

Legislações mais restritivas quanto à presença de micropoluentes em águas e efluentes aquosos, aliadas às demandas sociais quanto

aos impactos dessas substâncias sobre o meio ambiente e a saúde humana, têm fomentado o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, entre as quais se incluem processos fotolíticos e foto-oxidativos, no conjunto denominados *Processos Avançados de Oxidação ou Processos Oxidativos Avançados* (POA). Tais processos têm sido apontados como tecnologias eficientes para o tratamento de sistemas aquosos contaminados com produtos farmacêuticos. Os POA baseiam-se em reações de oxidação promovidas por espécies transitórias, principalmente o radical hidroxila ($\cdot\text{OH}$), geradas via química, fotoquímica ou por meio de outras formas de energia. Os radicais $\cdot\text{OH}$ têm alto poder oxidante e são pouco seletivos, o que favorece a degradação de muitos poluentes orgânicos (Legrini *et al.*, 1993). Depois de sucessivas reações envolvendo também oxigênio dissolvido, em muitas condições os poluentes são convertidos a dióxido de carbono, água e compostos inorgânicos, ou pelo menos transformados em produtos menos prejudiciais e menos recalcitrantes.

A degradação de fármacos e hormônios em matrizes aquosas, por meio dos POA $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, O_3/UV , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, TiO_2/UV , Fenton e foto-Fenton, tem sido muito estudada (Ikehata *et al.*, 2006). Processos baseados no emprego de energia ultrassônica, cavitação hidrodinâmica e feixes de elétrons têm sido menos estudados, em-

bora se mostrem eficientes para degradação desses poluentes (Mohajerani *et al.*, 2012; Zupanc *et al.*, 2014). Segundo Barbosa *et al.* (2016) nos últimos dez anos em média 40 trabalhos sobre a degradação de hormônios estrogênicos por POA foram publicados por ano.

Fotólise e Peroxidação Foto-Assistida (UV/H₂O₂)

A fotólise promovida por radiação UV é um importante processo presente em POA fotoirradiados e que eventualmente pode ser utilizada isoladamente como processo de tratamento ou esterilização de efluentes tratados. Nesse contexto, são encontrados na literatura diferentes trabalhos dedicados a estudar a degradação de hormônios pela fotólise. Liu e Liu (2004) mostraram que os hormônios estrona e 17-β-estradiol são degradados rapidamente quando submetidos a irradiação UV-C em solução aquosa. Chowdhury *et al.* (2011) estudaram a degradação do hormônio 17-α-etinilestradiol sob radiação solar e concluíram que sua fotólise em águas naturais é mais rápida devido à geração de espécies reativas a partir de substâncias presentes no meio como, NO₃⁻, Fe³⁺ e ácidos húmicos.

O uso de oxidantes juntamente com a irradiação UV tem sido estudado por diversos autores a fim de tratar soluções aquosas contendo fármacos e hormônios. Pereira *et al.* (2012) obtiveram 74% remoção de estrona em água superficial pelo processo UV/H₂O₂, enquanto Zhang e Li (2014), aplicando o mesmo processo de tratamento, observaram 92%, 95% e 97% de remoção dos hormônios 17-β-estradiol, 17-α-etinilestradiol e estrona, respectivamente, após 2 minutos de irradiação UV na presença de peróxido de hidrogênio. Por sua vez, Mouamfon *et al.* (2011) obtiveram 99% de remoção do antibiótico sulfametoxazol por fotólise empregando uma lâmpada LP-UV irradiando em 254 nm.

Oxidação Fenton e Foto-Fenton

A oxidação via reagente de Fenton é baseada na geração de radicais •OH a partir da reação entre peróxido de hidrogênio e Fe²⁺ (Pignatello *et al.*, 2006). A taxa da reação diminui durante o processo devido ao consumo dos reagentes (Fe²⁺ e H₂O₂) e da redução muito lenta do Fe³⁺ para Fe²⁺. A radiação UV-vis promove a redução fotoquímica do Fe³⁺ para Fe²⁺, gerando também radicais hidroxila (processo foto-Fenton). Na literatura, emprega-se o termo “Fenton-like” quando a clivagem de H₂O₂ é iniciada por complexos de Fe³⁺. Em qualquer caso, aqua e aqua-hidróxi complexos ferrosos e férricos estão presentes simultaneamente (Pignatello *et al.*, 2006). O pH deve estar entre 2,5 e 4; para valores de pH inferiores a 2,5 o peróxido de hidrogênio é protonado, formando a espécie mais estável H₃O₂⁺ (Mohajerani *et al.*, 2012). Em pH acima de 5, ocorre precipitação dos íons ferro na forma de hidróxidos.

Além de lâmpadas que emitem radiação ultravioleta, o emprego da radiação solar tem se mostrado eficaz para degradação de

fármacos por meio do processo foto-Fenton (Giri e Golder, 2015). Batista *et al.* (2014) obtiveram concentrações finais abaixo do limite de detecção após 20, 12 e 6 minutos de tratamento para sulfametazina, sulfamerazina e sulfadiazina, respectivamente, nas condições experimentais, empregando 0,2 mmol L⁻¹ de Fe³⁺, 0,2 mmol L⁻¹ de H₂O₂ e pH 3.

Fotocatálise Heterogênea

Outro processo oxidativo que apresenta grande potencial para a remoção de poluentes e de tratamento de resíduos, eficaz na remoção de hormônios em soluções aquosas, é a oxidação fotocatalítica heterogênea. Podem ser citados como catalisadores o óxido de zinco (ZnO), sulfeto de zinco (ZnS), óxido de ferro (Fe₂O₃), de silício (Si), óxido de estanho (SnO₂) e sulfeto de cádmio (CdS), entre outros, mas o fotocatalisador que tem se destacado devido ao baixo custo, alta estabilidade e por não apresentar impactos ambientais é o dióxido de titânio (TiO₂) (Augugliaro *et al.*, 2006). Diversos autores mostraram que a utilização do TiO₂ na fotocatalise heterogênea é eficaz na remoção de hormônios estrogênicos (Silva *et al.*, 2012). Nakashima *et al.* (2003) obtiveram remoção de 90% do hormônio estrona em 4 minutos utilizando o processo UV/TiO₂. Há também muitos estudos que abordaram o emprego de fotocatalise heterogênea para degradação de fármacos em diferentes matrizes aquosas. Por

exemplo, Bernabeu *et al.* (2011) estudaram a degradação de onze fármacos de diferentes classes pelo processo UV/TiO₂, obtendo concentrações finais abaixo do limite de detecção após 3 horas de tratamento para a maioria dos fármacos.

Ozonização

Dentre as várias motivações para o emprego de ozônio neste tipo de aplicação podem-se destacar três: o ozônio é um forte agente oxidante ($E^{\circ} = 2,1$ V EPH), permite gerar espécies radicalares e possui baixa estabilidade. As duas primeiras características permitem que o ozônio possa oxidar uma série de compostos inorgânicos e orgânicos e a última é uma característica desejável, uma vez que o efluente tratado pode ser lançado sem residual de oxidante danoso à biota aquática (Beltrán, 2004). Além disso, diferentes autores têm mostrado análises de custos comparativas para diferentes POA, ressaltando o processo de ozonização como uma alternativa de menor custo (Nielsen *et al.*, 2013).

A oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos pelo processo de ozonização ocorre principalmente por dois mecanismos: (i) via direta (pH ≤ 4), que envolve o ozônio molecular reagindo diretamente com os poluentes, como agente eletrofílico ou nucleofílico; e (ii) via indireta (pH > 10), através da formação de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) gerados pela decomposição do O₃ (Beltrán, 2004). O ataque de radicais

$\bullet\text{OH}$ aos compostos orgânicos é até 1011 vezes mais rápido que o promovido por oxidantes comuns, como o próprio ozônio (Beltrán, 2004). O emprego de POA baseado em ozônio tem se mostrado eficaz para tratamento de efluentes contaminados com micropoluentes emergentes. De fato, Westerhoff *et al.* (2005) mostraram que por meio da ozonização foram alcançadas porcentagens de remoção acima de 98% para os hormônios estrona, 17- β -estradiol e 17- α -etinilestradiol em água superficial.

Por sua vez, na literatura científica existem vários trabalhos relacionados com o tratamento de matrizes aquosas contaminadas com fármacos por meio da ozonização (Dai *et al.*, 2015). Como exemplo, menciona-se o trabalho de Lee *et al.* (2011), que obtiveram maior remoção do poluente clortetraciclina pelo processo O₃/UV/H₂O₂, seguida dos processos O₃/UV, O₃/H₂O₂ e O₃, em água destilada e águas residuais.

Cavitação Acústica

A cavitação acústica envolve a formação (nucleação) de microbolhas induzida por ultrassom, que expandem e colapsam (implodem) em intervalos de tempo muito pequenos (Mohajerani *et al.*, 2010), liberando grandes quantidades de energia. Como consequência, a temperatura e a pressão no interior da cavidade atingem valores muito altos (cerca de 5500 °C e 1000 atm, respectivamente) (Mohajerani

et al., 2010). Tais condições favorecem a pirólise de poluentes (Bagal e Gogate, 2014), além de promover a dissociação térmica de moléculas de água e de oxigênio dissolvido, dando origem a átomos de hidrogênio altamente reativos, radicais hidroxila, radicais oxigênio ($\bullet\text{O}$) e radicais hidroperóxido (HO 2^{\bullet}) (Pang *et al.*, 2011). Os radicais $\bullet\text{OH}$ atuam oxidando micropoluentes no seio da solução, no interior da bolha de cavitação e/ou na interface gás-líquido, o que depende do caráter hidrofóbico/hidrófilo dos contaminantes, como apontado por Lastre-Acosta *et al.* (2015) para o antibiótico sulfadiazina.

Há na literatura exemplos de estudos voltados ao emprego de cavitação acústica para degradação de levofloxacina, paracetamol, levodopa, ciprofloxacino, sulfametazina, sulfadiazina e alguns perturbadores endócrinos, entre outros (Guo *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2013). Recentemente, Lastre-Acosta *et al.* (2015) mostraram a viabilidade da aplicação do ultrassom de alta frequência para o tratamento de soluções aquosas contaminadas com o antibiótico sulfadiazina (SDZ). Nesse estudo, a combinação de ultrassom com a reação de Fenton (processo sono-Fenton) melhorou notavelmente a degradação da sulfadiazina.

Cavitação Hidrodinâmica

A cavitação hidrodinâmica ocorre através da passagem de líquido por uma constrição, como uma válvula, uma placa de orifício ou um Venturi, ou por

dispositivos em alta velocidade imersos no líquido, como hélices e turbinas. Nessa passagem, a energia cinética e a velocidade do líquido aumentam à custa da queda da pressão. Se a geometria do sistema é adequada para provocar uma pressão próxima do ponto de cavitação (normalmente a pressão de vapor do meio na temperatura de operação), milhões de cavidades são geradas. Com a expansão do jato de líquido e recuperação da pressão, as cavidades entram em colapso (Ozonek, 2012), liberando muita energia, o que pode induzir efeitos químicos e mecânicos. De fato, altas pressões e temperaturas localizadas resultam na quebra homolítica de moléculas de água dentro das cavidades, resultando na formação de radicais $\bullet\text{OH}$ (Zupanc et al., 2014). Os radicais $\bullet\text{OH}$ podem atacar moléculas de contaminantes orgânicos no interior das bolhas de cavitação (onde também ocorre decomposição termolítica de compostos voláteis); na interface gás-líquido, onde há degradação de compostos hidrofóbicos não-voláteis; e na fase líquida, no caso de compostos hidrofílicos não-voláteis (Lastre-Acosta et al., 2015). O processo pode ser intensificado pela adição de oxidantes auxiliares, como peróxido de hidrogênio, fonte adicional de radicais hidroxila (Zupanc et al., 2013). Fármacos como ácido clofíbrico, ibuprofeno, naproxeno, cetoprofeno, carbamazepina e diclofenaco foram satisfatoriamente degradados através da cavitação hidrodinâmica, com

remoções entre 50-90% (Zupanc et al., 2014).

Irradiação por Feixe de Elétrons

A irradiação por feixe de elétrons (*electron beam irradiation*, EBI) é uma técnica avançada de tratamento que apresenta vantagens em relação a outros POA, já que geralmente não requer a adição de oxidantes, outros reagentes ou catalisadores; não é influenciada pela turbidez; não exige correção prévia de pH; e não gera precipitados ou material que exija separação antes do descarte do efluente tratado. A técnica é baseada na radiólise de moléculas de água, gerando radicais $\bullet\text{OH}$, átomos de hidrogênio ($\text{H}\bullet$) e elétrons solvatados (e^-_{aq}), espécies que promovem oxidação, redução ou degradação de poluentes orgânicos (Cooper et al., 2004). Esse processo já foi aplicado em escala comercial para efluentes têxteis (Han et al., 2012). Homlok et al. (2011) obtiveram remoção total de diclofenaco em concentrações iniciais de 0,1-1 mmol L⁻¹ para dose de 1 kGy; mineralização e diminuição significativa da toxicidade foram obtidas para doses 5 a 10 vezes maiores. Silva et al. (2016) estudaram a aplicação desse processo para degradação do antidepressivo fluoxetina, identificando produtos de degradação e avaliando a toxicidade de soluções tratadas e não tratadas.

Conclusões

Os Processos Avançados de Oxidação (POA) têm grande potencial e em vários casos já são aplicados como pré-tratamento de processos biológicos para contaminantes resistentes à biodegradação ou como processo de pós-tratamento de águas ou efluentes aquosos antes da descarga diretamente nos corpos d'água receptores. A avaliação da eficiência de um dado tratamento envolve a definição clara dos objetivos quanto à remoção do(s) contaminante(s)-alvo, à extensão da mineralização, à mitigação de impactos agudos e crônicos aos corpos d'água receptores, aos organismos neles existentes e à saúde humana, bem como a avaliação econômica. ●

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, G. A.; WEBER, R. R. Fármacos na Represa Billings. *Revista Saúde e Ambiente*, 6, 2005.
- AUGUGLIARO, V.; LITTER, M.; PALMISANO, L.; SORIA, J. The combination of heterogeneous photocatalysis with chemical and physical operations: a tool for improving the photo-process performance. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 7, 127, 2006.
- AYDIN, S.; INCEB, B.; INCEA, O. Development of antibiotic resistance genes in microbial communities during long-term operation of anaerobic reactors in the treatment of pharmaceutical wastewater. *Water Research*, 83, 337, 2015.
- BAGAL, M. V.; GOGATE, P. R. Wastewater treatment using hybrid treatment schemes based on cavitation and Fenton chemistry: a review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 1, 2014.
- BARCELO, D. Emerging pollutants in water analysis. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 22, XIV, 2003.
- BATISTA, A. P. S.; PIRES, F. C. C.; TEIXEIRA, A. C. S. C. Photochemical degradation Of sulfadiazine, sulfamera-

- zine and sulfamethazine: Relevance of concentration and heterocyclic aromatic groups to degradation kinetics. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 286, 40, 2014.
- BELTRÁN, F. J. Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems. Boca Ratón: Lewis Publishers, 2004.
- BERETTA, M.; BRITTO, V.; TAVARES, T. M.; TEIXEIRA DA SILVA, S. M.; PLETSCH, A. L. Occurrence of pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in marine sediments in the Todos os Santos Bay and the north coast of Salvador, Bahia, Brazil. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 1278, 2014.
- BERNABEU, A.; VERCHER, R.F.; SANTOS-JUANES, L.; SIMÓN, P.J.; LARDÍN, C.; MARTÍNEZ, M.A.; VICENTE, J.A.; GONZÁLEZ, R.; LLOSÁ, C.; ARQUES, A.; AMAT, A.M. Solar photocatalysis as a tertiary treatment to remove emerging pollutants from wastewater treatment plant effluents. *Catalysis Today*, 161, 235, 2011.
- BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Fármacos no meio ambiente. *Química Nova*, 26, 4, 523, 2003.
- BIRKETT, J. W.; LESTER, J. N. Endocrine Disrupters in Wastewater and Sludge Treatment Processes, 1st ed., IWA Publishing, Lewis Publishers CRC Press LLC: USA, 2003.
- BOREEN, A. L.; ARNOLD, W. A.; McNEILL, K. Photochemical fate of sulfa drugs in the aquatic environment: sulfa drugs containing five-membered heterocyclic groups. *Environmental Science Technology*, 38, 3933, 2004.
- CHRISTANTE, L. Contaminantes na água comprometem reprodução de várias espécies. Disponível em <http://g1.globo.com/Noticias>, publicado em 22/ março/2010.
- CHOWDHURY, R. R.; CHARPENTIER, P. A.; RAY, M. B. Photodegradation of 17 β -estradiol in aquatic solution under solar irradiation: kinetics and influencing water parameters. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 219, 67, 2011.
- COOPER, W. J.; GEHRINGER, P.; PIKAEV, A. K.; KURUCZ, C. N.; MINCHER, B. J. Radiation Processes. In: *Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater*. Simon Parsons (Ed.), IWA Publishing, London, UK, 2004.
- DAI, Q. Z.; CHEN, L. L.; CHEN, W.; CHEN, J. M. Degradation and kinetics of phenoxyacetic acid in aqueous solution by ozonation. *Separation and Purification Technology*, 142, 287, 2015.
- DONG, Z.; SENN, D. B.; MORAN, R. E.; SHINE, J. P. Prioritizing environmental risk of prescription pharmaceuticals. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 65, 60, 2013.
- FICK, J.; SODERSTROM, H.; LINDBERG, R. H.; PHAN, C.; TYSKLIND, M.; LARSSON, D. G. J. Contamination of surface, ground, and drinking water from pharmaceutical production. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28, 2522, 2009.
- GAO, Y.-Q.; GAO, N.-Y.; DENG, Y.; GU, J.-S.; GU, Y.-L.; ZHANG, D. Factor affecting sonolytic degradation of sulfamethazine in water. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 1401, 2013.
- GHISELLI, G. Avaliação da Qualidade das Águas Destinadas ao Abastecimento Público na Região de Campinas: Ocorrência e Determinação dos Interferentes Endócrinos (IE) e Produtos Farmacêuticos e de Higiene Pessoal (PFHP). 2006. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- GIRI, A. S.; GOLDER, A. K. Decomposition of drug mixture in Fenton and photo-Fenton processes: Comparison to singly treatment, evolution of inorganic ions and toxicity assay. *Chemosphere*, 127, 254, 2015.
- GUO, W. L.; SHI, Y. H.; WANG, H. Z.; YANG, H.; ZHANG, G. Y. Intensification of sonochemical degradation of antibiotics levofloxacin using carbon tetrachloride. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 680, 2010.
- HAN, B.; KIM, J. K.; KIM, Y.; CHOI, J. S.; JEONG, K. Y. Operation of industrial-scale electron beam wastewater treatment plant. *Radiation Physics and Chemistry*, 81, 1475, 2012.
- HOMLOK, R.; TAKÁCS, E.; WOJNÁROVITS, L. Elimination of diclofenac from water using irradiation technology. *Chemosphere*, 85, 603, 2011.
- IKEHATA, K.; NAGHASHKAR, N. J.; EI-DIN, M. G. Degradation of aqueous pharmaceuticals by ozonation and advanced oxidation processes: A review. *Ozone-Science & Engineering*, 28, 353, 2006.
- KUMMERER, K. Antibiotics in the aquatic environment - A review - Part I. *Chemosphere*, 75, 417, 2009.
- LARSSON, D. G. J.; DE PEDRO, C.; PAXEUS, N. Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals. *Journal of Hazardous Materials*, 148, 751, 2007.
- LASTRE-ACOSTA, A. M.; CRUZ-GONZALEZ, G.; NUEVAS-PAZ, L.; JAUREGUI-HAZA, U. J.; TEIXEIRA, A. C. S. C. Ultrasonic degradation of sulfadiazine in aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 918, 2015.
- LEE, H.; LEE, E.; LEE, C. H.; LEE, K. Degradation of chlorotetracycline and bacterial disinfection in livestock wastewater by ozone-based advanced oxidation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17, 468, 2011.
- LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A. M. Photochemical processes for water-treatment. *Chemical Reviews*, 93, 671, 1993.
- LESTER, Y.; MAMANE, H.; ZUCKER, I.; AVISAR, D. Treating wastewater from a pharmaceutical formulation facility by biological process and ozone. *Water Research*, 47, 4349, 2013.
- LI, D.; YANG, M.; HU, J.; REN, L.; ZHANG, Y.; LI, K. Determination and fate of oxytetracycline and related compounds in oxytetracycline production wastewater and the receiving river. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27, 80, 2008.
- LI, W. C. Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. *Environmental Pollution*, 187, 193, 2014.
- LIU, B.; LIU, X. Direct photolysis of estrogens in aqueous solutions. *Science of the Total Environment*, 320, 269, 2004.
- LIU, M.; ZHANG, Y.; YANG, M.; TIAN, Z.; REN, L.; ZHANG, S. Abundance and distribution of tetracycline resistance genes and mobile elements in an oxytetracycline production wastewater treatment system. *Environmental Science and Technology*, 46, 7551, 2012.
- LOCATELLI, M. A. F.; SODRÉ, F. F.; JARDIM, W. F. Determination of antibiotics in Brazilian surface waters using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 60, 385, 2011.
- LOPES, L. G.; MARCHI, M. R.R.; SOUZA, J. B. G.; MOURA, J. A.; LORENZON, C. S.; CRUZ, C.; AMARAL, L. A. Estrogênios em águas naturais e tratadas da região de Jaboatão - São Paulo. *Química Nova*, 33, 639, 2010.
- MACHADO, K. C.; GRASSIA, M. T.; VIDAL, C.; PESCARA, I. C.; JARDIM, W. F.; FERNANDES, A. N.; SODRÉ, F. F.; ALMEIDA, F. V.; SANTANA, J. S.; CANELA, M. C.; NUNES, C. R. O.; BICHINHO, K. M.; SEVERO, F. J. R. A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil. *Science of the Total Environment*, 572, 138, 2016.
- MACHADO, K. S.; CARDOSO, F. D.;

- RODRIGUES AZEVEDO, J. C.; BRAGA, C. B. Occurrence of female sexual hormones in the Iguazu river basin, Curitiba, Parana State, Brazil. *Acta Scientiarum-Technology*, 36, 421, 2014.
- MOHAJERANI, M.; MEHRVAR, M.; EIN-MOZAFFARI, F. Recent achievements in combination of ultrasonolysis and other advanced oxidation processes for wastewater treatment. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 8, 78, 2010.
- MOHAJERANI, M.; MEHRVAR, M.; EIN-MOZAFFARI, F. Using an external-loop airlift sonophotoreactor to enhance the biodegradability of aqueous sulfadiazine solution. *Separation and Purification Technology*, 90, 173, 2012.
- MOLANDER, L.; ÅGERSTRAND, M.; RUDÉN, C. WikiPharma-A freely available, easily accessible, interactive and comprehensive database for environmental effect data for pharmaceuticals. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 55, 367, 2009.
- MOUAMFON, M. V. N.; LI, W.; LU, S.; CHEN, N.; QIU, Z.; LIN, K. Photodegradation of Sulfamethoxazole Applying UV- and VUV-Based Processes. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218, 265, 2011.
- NAKASHIMA, T.; OHKO, Y.; KUBOTA, Y.; FUJISHIMA, A. Photocatalytic decomposition of estrogens in aquatic environment by reciprocating immersion of TiO₂-modified polytetrafluoroethylene mesh sheets. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 160, 115, 2003.
- NIELSEN, U.; HASTRUP, C.; KLAUSEN, M. M.; PEDERSEN, B. M.; KRISTENSEN, G. H.; JANSEN, J. L. C.; BAK S. N.; TIERK, J. Removal of APIs and bacteria from hospital wastewater by MBR plus O₃/O₃+H₂O₂, PAC or CIO₂. *Water Science & Technology*, 67, 854, 2013.
- OZONEK, J. Application of Hydrodynamic Cavitation in Environmental Engineering. London: Taylor & Francis Group, 2012.
- PANG, Y. L.; ABDULLAH, A. Z.; BHATIA, S. Review on sonochemical methods in the presence of catalysts and chemical additives for treatment of organic pollutants in wastewater. *Desalination*, 277, 1, 2011.
- PEREIRA, C. D. S.; MARANHO, L. A.; CORTEZ, F. S.; PUSCEDDU, F. H.; SANTOS, A. R.; RIBEIRO, D. A.; CESAR, A.; GUIMARÃES, L. L. Occurrence of pharmaceuticals and cocaine in a Brazilian coastal zone. *Science of the Total Environment*, 548, 148, 2016.
- PEREIRA, V. J.; GALINHA, J.; BARRETO CRESPO, M. T.; MATOS, C. T.; CRESPO, J. G. Integration of nanofiltration, UV photolysis, and advanced oxidation processes for the removal of hormones from surface water sources. *Separation and Purification Technology*, 95, 89, 2012.
- PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36, 1, 2006.
- RACZ, L. A.; GOEL, R. K. Fate and removal of estrogens in municipal wastewater. *Journal of Environmental Monitoring*, 12, 58, 2010.
- RODRIGUES-SILVA, C.; MANIERO, M. G.; PERES, M. S.; GUIMARAES, J. R. Occurrence and degradation of quinolones by advanced oxidation processes. *Quimica Nova*, 37, 868, 2014.
- SILVA, C. P.; OTERO, M.; ESTEVES, V. Processes for the elimination of estrogenic steroid hormones from water: A review. *Environmental Pollution*, 165, 38, 2012.
- SILVA, V. H. O.; BATISTA, A. P. S.; TEIXEIRA, A. C. S. C.; BORRELY, S. I. Degradation and acute toxicity removal of the antidepressant fluoxetine (Prozac®) in aqueous systems by electron beam irradiation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 11927, 2016.
- SODRÉ, F. F.; MONTAGNER, C. C.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos em águas superficiais da região de Campinas (SP, Brasil). *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 2, 187, 2007.
- STUMPF, M.; TERNES, T. A.; WILKEN, R. D.; RODRIGUES, S. V.; BAUMANN, W. Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Science of the Total Environment*, 225, 135, 1999.
- TERNES, T. A.; STUMPF, M.; MUELLER, J.; HABERER, K.; WILKEN, R. D.; SERVOS, M. Behavior and occurrence of estrogens in municipal sewage treatment plants - I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. *Science of the Total Environment*, 225, 81, 1999.
- TORRES, N. H.; AGUIAR, M. M.; FERREIRA, L. F. R.; AMÉRICO, J. H. P.; MACHADO, A. M.; CAVALCANTI, E. B.; TORNISIELO, V. L. Detection of hormones in surface and drinking water in Brazil by LC-ESI-MS/MS and ecotoxicological assessment with *Daphnia magna*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1, 2015.
- WESTERHOFF, P.; YOON, Y.; SNYDER, S.; WERT, E. Fate of endocrine-disruptor, pharmaceutical, and personal care product chemicals during simulated drinking water treatment processes. *Environmental Science and Technology*, 39, 6649, 2005.
- WILDE, M. L.; KUEMMERER, K.; MARTINS, A. F. Multivariate optimization of analytical methodology and a first attempt to an environmental risk assessment of beta-blockers in hospital wastewater. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23, 1732, 2012.
- ZHANG, A.; LI, Y. Removal of phenolic endocrine disrupting compounds from waste activated sludge using UV, H₂O₂, and UV/H₂O₂ oxidation processes: effects of reaction conditions and sludge matrix. *Science of the Total Environment*, 493, 307, 2014.
- ZUPANC, M.; TINA, K.; PETKOVŠEK, M.; DULAR, M.; KOMPARE, B.; ŠIROK, B.; STRAZAR, M.; HEATH, E. Shear-induced hydrodynamic cavitation as a tool for pharmaceutical micropollutants removal from urban wastewater. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 1213, 2014.

Válvulas de Alívio e Segurança

TREINAMENTO PARTE TEÓRICA

- Breve histórico de válvulas de alívio de pressão
- Objetivo
- Terminologia
- Tipos de válvulas (convencional, balanceada por fole ou pistão e válvulas de piloto operadas)
- Componentes de uma válvula de alívio de pressão
- Padrão e materiais alternativos por segmento
- Entendendo a norma API aplicada à válvula de alívio e segurança
- Válvulas conforme padrão API – RP 526
- Preenchimento de uma folha de dados conforme API – RP 526
- NR-13 aplicada a válvulas de alívio e segurança
- Tipos de válvulas para aplicação conforme código ASME I
- Tipos de válvulas para aplicação conforme código ASME seção VIII
- Conhecendo os cenários mais presentes para dimensionamento de válvulas
 - Alívio térmico -Bloqueio indevido -Fogo externo
- Cálculo de válvulas de alívio de pressão conforme código ASME I
- Cálculo de válvulas de alívio de pressão conforme código ASME VIII
- Seleção e Preenchimento de folha de dados para fluidos no estado líquido, gás e vapor de água (Base API RP 520)-exemplos
- Fenômenos operacionais
- (Chattering – Simmering – Flutting)



TREINAMENTO PARTE PRÁTICA

O treinamento Prático e Teórico é apresentado pela PR Barbero divisão de Treinamento em associação a COOPERVERVALVE que presta serviços na área de manutenção nas indústrias em geral e plataformas tem a finalidade de propiciar um moderno conceito de procedimentos de manutenção de válvulas de alívio de pressão.

Manutenção inspeção e teste

- Inspeção
- Remoção, transporte e instalação
- Teste de recepção
- Recuperação e troca de componentes (Análise de alguns componentes como exemplo)
- Inspeção após Desmontagem e limpeza
- Lapidação e Montagem
- Teste de Calibração
- Teste de vedação norma API-RP-527
- Teste para Válvulas de segurança que trabalhem em caldeiras (Pré-teste)
- Teste de integridade das juntas
- Teste do Fole
- Tolerância da pressão de calibração



Nossos contatos

Paulo Roberto Barbero
Consultor Técnico
paulor.barbero@terra.com.br

Caroline Zuquiere Dias
Engenharia Química
czdias@gmail.com

Tel: (11)2371-8325/ cel:(11) 99228-2891
End:Av. Dep.Emílio Carlos 1780, sala 7
Vila Santa Maria – São Paulo- CEP 02720-200
www.prbarbero.com.br

XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Fortaleza

Fabiano André Narciso Fernandes¹

¹ Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Química

O COBEQ, maior congresso de Engenharia Química do Brasil, foi realizado entre os dias 25 e 29 de setembro de 2016 nas areias calorosas de Fortaleza. Dois anos depois do congresso realizado em Florianópolis, professores, alunos e profissionais da indústria se encontraram novamente para apresentarem e discutirem temáticas proeminentes e atuais, relacionadas à aplicação prática, pesquisa e ensino da Engenharia Química no Brasil e no mundo.

Foi a primeira vez que o COBEQ chegou a Fortaleza e a cidade recebeu a todos de braços abertos. Foram dias profícuos (palavra repetida diversas vezes por vários palestrantes durante o congresso) em que além de muita troca de conhecimento, os congressistas puderam também conhecer as belezas de Fortaleza e do Ceará (para os que se aventuram mais). O COBEQ em Fortaleza proporcionou a todos uma experiência ímpar, possibilitando a todos, logo no primeiro dia, sair de sessões de energia e de engenharia ambiental e experimentar a

energia do pôr do sol ambientada na linda Praia de Iracema.

Esta edição foi organizada pelo Departamento de Engenharia

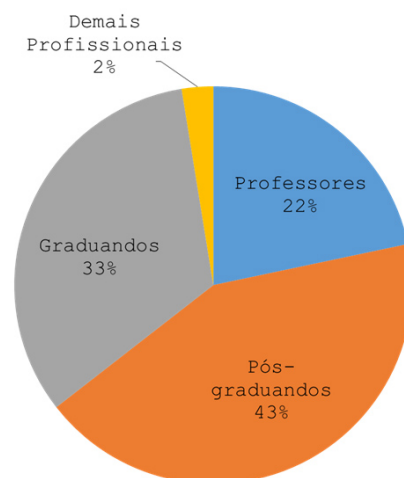
Química, foi totalmente integrado com o COBEQ possibilitando uma maior discussão dos rumos do ensino de Engenharia Química



Química da Universidade Federal do Ceará, com participação de professores e pesquisadores dos departamentos de Tecnologia de Alimentos, da Engenharia Civil, da UNILAB e da Embrapa Agroindústria Tropical. Desde sua concepção, o evento foi pensado para estimular o surgimento de novas propostas e abordagens para o avanço da engenharia química; promover o intercâmbio de técnicas entre pesquisadores; fomentar novas colaborações entre cientistas, professores, alunos e profissionais; e de integrar ensino e pesquisa.

O ENBEQ, Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia

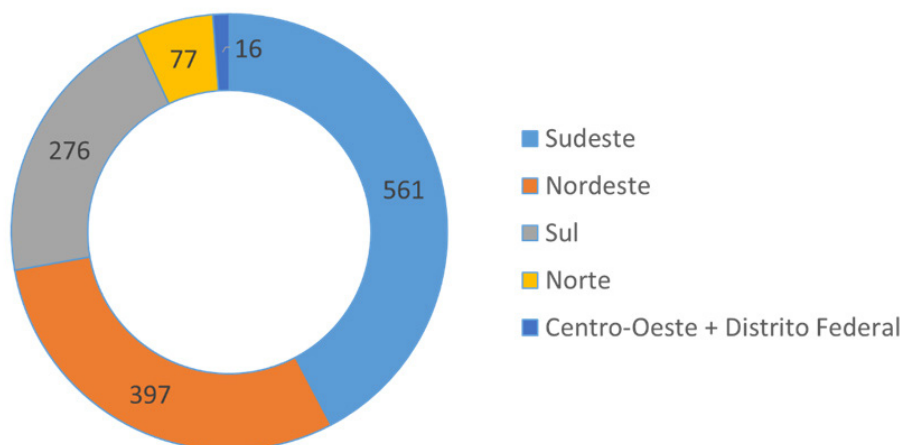
no Brasil. Houve também o intuito de aumentar a entropia entre docentes e discentes, que puderam discutir juntos, de



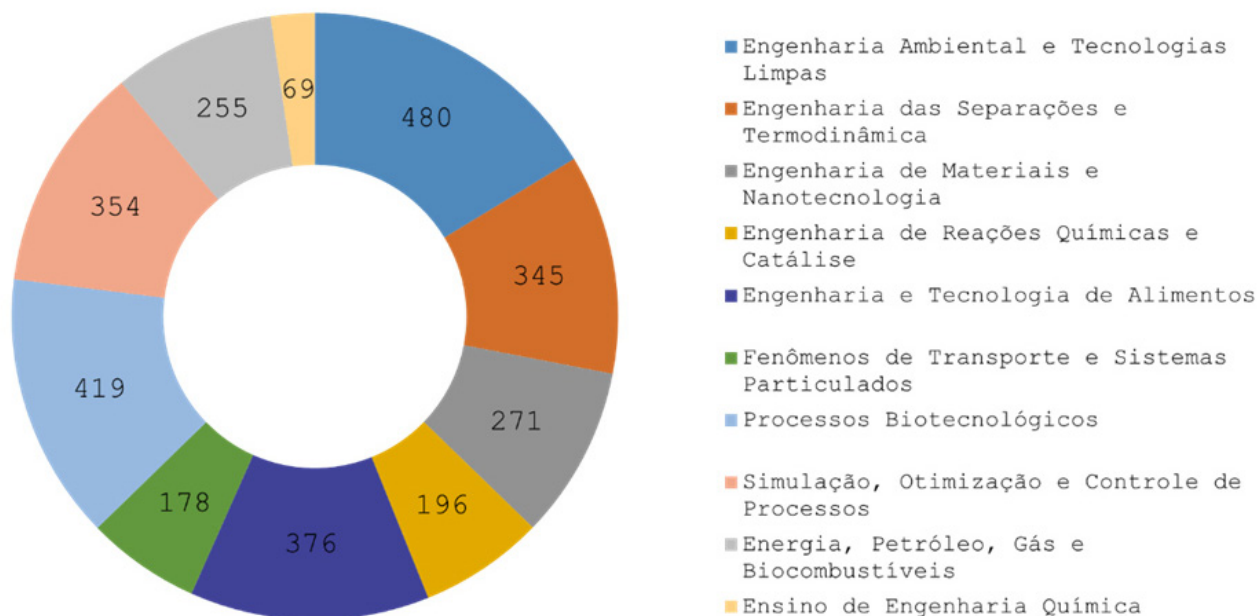
Distribuição por categoria de inscrição dos participantes

maneira democrática o futuro do ensino. Numa visão em que uma ciência forte só é possível se o ensino também for forte, e que os profissionais e professores de amanhã são os alunos de hoje.

O evento teve a participação de 1289 congressistas que ao todo apresentaram 1953 trabalhos nas formas de pôsteres e apresentações orais. Os pós-graduandos representaram 43% dos congressistas, estando em maior número. Os professores,



Distribuição geográfica dos participantes



Distribuição dos trabalhos aprovados por área temática

pesquisadores e profissionais da indústria foram 24% dos congressistas e nossos futuros engenheiros somaram 33%.

O COBEQ realmente se mostrou um congresso brasileiro, com participantes vindo de quase todos os estados do Brasil. O sotaque predominante no COBEQ foi o sotaque paulista (embora muitos argumentem que paulista não tenha sotaque –

quem tem sotaque são os outros) e o carioca (este sim com sotaque e sofrendo bullying por derrapar nos ss de “esqueci o Smith & Van Ness na esquina”). Mostrando um grande crescimento na ciência e engenharia nacional, os congressistas de vários estados do Nordeste vieram ao Ceará apresentar suas pesquisas e mostrar o quanto a região e sua diversidade de sotaques tem

crescido. Ainda pequena, mas se sentindo presente, a região Centro-Oeste despontou no COBEQ.

Os trabalhos apresentados versaram desde a educação até a fronteira do conhecimento. Devido ao grande espectro de trabalhos, estes foram divididos nas já tradicionais áreas do evento. Neste COBEQ, houve grande destaque da área

de Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas com 480 trabalhos e de Processos Biotecnológicos com 419 trabalhos, que reuniram a maior quantidade de trabalhos dentre as 10 áreas temáticas do congresso.

Durante os 5 dias do evento tivemos 16 plenárias, 21 keynotes, 48 sessões orais e 7 sessões de pôsteres e 3 sessões técnicas. A novidade desta edição ficou por conta das keynotes, sessões de 30 min nas quais ou pôde-se prestigiar líderes de grupos consolidados mostrando suas principais pesquisas ou pôde-se assistir a novos cientistas mostrando suas pesquisas em temas na fronteira do conhecimento.

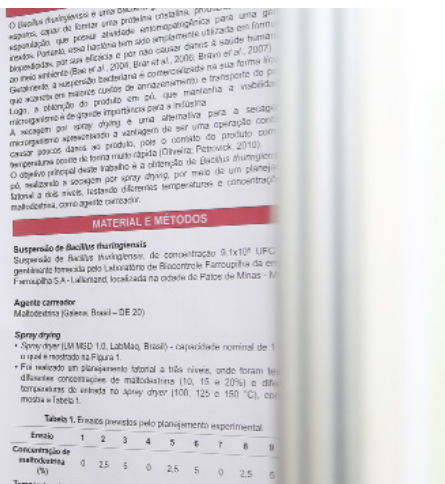
A nova geração de engenheiros pôde acompanhar a programação do evento na palma da mão, através do App para tablets e celulares que continha a programação do evento. Por alguns dias a caça a Pokemons foi deixada de lado para caçar os trabalhos mais interessantes da engenharia química. Até mesmo os mais experientes (para não dizer os mais velhinhos) deixaram os quase-já-obsoletos livros de programação em papel de lado e foram adsorvidos por esta nova tecnologia.

O COBEQ iniciou suas atividades no domingo, dia 25 de setembro, com as boas vindas dadas pelas Profa Dra Diana Cristina Silva de Azevedo (presidente ou presidenta do congresso – dependendo de sua corrente político-partidária), pela Enga Maria Cristina Silveira

Palestrantes convidados

A. Seidel-Morgenstern	Solving difficult separation problems using process combinations
Álvaro Silva Lima	Sistemas aquosos bifásicos como ferramenta para o particionamento, concentração, purificação de biomoléculas
Antônio Meirelles	Uma abordagem generalizada de destilação e absorção com correntes paralelas
Claudio Oller	Recuperação de cobre por via biotecnológica de rejeitos de minas
Diego Mantovani	Nanomaterials and nanotechnology for innovative biomaterials and health applications
Edward L. Cussler	Teaching chemical product design
Frederico Tavares	Usando termodinâmica estatística para descrever fluidos de reservatórios
Hamilton Albuquerque	Cinética complexa na interconversão entre energias química e elétrica
Juan Carcel	Power ultrasound application in food processing
Kamy Sepehrnoori	Various research topics in reservoir simulation
Maria Helena Santana	Biomateriais e nanotecnologia em medicina regenerativa
Marcos Antônio Barrozo	Tambores rotativos na engenharia química: fluidodinâmica e aplicações
Ricardo Medronho	Pode a ciclonação substituir os separadores gravitacionais trifásicos no tratamento da corrente gás/óleo/água em plataformas offshore?
Regina de Fátima Moreira	Fotocatálise no tratamento de águas e efluentes líquidos: aplicações do TiO ₂ dopado com terras raras O que está acontecendo agora com meu processo?
Reinaldo Giudici	Monitorando processos químicos em tempo real Biotechnology
Roberto Fernandez-La-fuente Roger Nicoud	Entrepreneurship and Innovation: a personal experience

Nascimento (Diretora Presidente da ABEQ) e pela Profa Dra Luciana Rocha Barros Gonçalves (presidente do comitê científico). Boas vindas que foram seguidas de uma pequena amostra da cultura cearense, e da palestra magna proferida pelo Prof Dr José Carlos Pinto. Ao término da cerimônia de abertura, um coquetel foi oferecido aos participantes (foi uma pena que a deliciosa buchada de bode não cabia em cima de um canapé).



Nesta edição do COBEQ, pesquisadores com grande experiência nas diversas áreas do congresso foram convidados para as conferências plenárias. Foram selecionados nomes conhecidos no cenário mundial e também pesquisadores brasileiros com destacada atuação em pesquisa e desenvolvimento. A interação entre indústria e academia também esteve presente com palestras técnico-científicas proferidas pela Agilent e por pesquisadores da Braskem e Petrobras. E como se diz por aqui, foi só o milho e não teve fuleiragem não.

Os novos e os futuros engenheiros mostraram o fruto de seu trabalho científico e puderam participar de um saudável concurso que elegeu os melhores trabalhos apresentados pelos alunos de graduação e pós-graduação dos 369 trabalhos que concorreram. Embora muitos trabalhos merecessem prêmios, nove autores foram premiados com um HD externo para poderem guardar de recordação todos os dados obtidos durante suas pesquisas.

Premiados

André M. Castro	UFRJ
Bruno da Costa Magalhães	UFRJ
Crissiê Dossin Zanrosso	UFRGS
Diogo Silva Sanches Jasqueira	UNICAMP
Jéssica Marcon Bressanin	UNICAMP
Kevin Wirbuls de Moraes	Inst. Mauá Tecn.
Leandro da Rocha Novaes	UFRJ
Rayanne Mendes Bezerra	UFC
Rui Carlos Castro Domingues	UFRJ

Encabeçado pelo Prof Dr Samuel Jorge Marque Cartaxo, o ENBEQ veio com uma nova roupagem, integrando as plenárias à programação do COBEQ, levando novos temas de discussão aos tradicionais GTs, e de forma empreendedora e inovadora juntou professores, estudantes e profissionais da indústria numa mesma sala para debater os temas dos GTs e a educação em engenharia química. Pense no sucesso. Foi tão arretado que atrasou a cerimônia de encerramento.

Os dias passaram rápido, amigos de longa data puderam se reencontrar, novas amizades foram feitas, as delícias do coffee-break foram devoradas, muito conhecimento foi trocado, mas quinta-feira chegou e o congresso teve que se despedir de seus participantes. Hora de fazer as malas e voltar para casa. Fortaleza e o COBEQ deixarão saudades, mas dois anos passam rápido e logo logo estaremos todos reunidos novamente no COBEQ 2018 em terras paulistas.

Em nome de toda a comissão organizadora, agradecemos a participação de todos e a colaboração dos muitos professores e alunos que contribuíram de alguma forma para a realização deste grande evento. Obrigado. ●

Diana Cristina Silva de Azevedo	Presidente do Congresso
Fabiano André Narciso Fernandes	Vice-Presidente do Congresso
Sebastião Mardônio Pereira Lucena	Tesoureiro
Luciana Rocha Barros Gonçalves	Presidente do Comitê Científico
Ivanildo José da Silva Júnior	Vice-Presidente do Comitê Científico
Samuel Jorge Marques Cartaxo	Presidente do ENBEQ

Uso de Sistemas de Tratamento de Efluentes com Membranas Submersas para Reúso de Água

Prof. Dr. José Carlos Mierzwa

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da USP

O cenário de escassez de água configurado nos anos de 2014 e 2015 chamou a atenção dos profissionais de engenharia e outras áreas para a necessidade de estratégias para minimizar a dependência das indústrias da água captada dos mananciais. De modo geral as indústrias do setor químico e correlatos tem uma fonte confiável de recursos hídricos, que são os seus próprios efluentes. Contudo, para viabilizar a utilização deste recurso é imprescindível uma atenção especial para as possíveis tecnologias de tratamento que irão viabilizar, ou não, a prática de reúso.

Considerando-se a legislação ambiental vigente, as indústrias são obrigadas a tratar os seus efluentes para viabilizar o seu lançamento, mesmo que seja para a rede pública de esgotos sanitários, ou são obrigadas a pagar um valor diferenciado para o lançamento de seus efluentes na rede pública caso este tratamento não seja feito.

Como prática de tratamento, especificamente para os efluentes com carga orgânica elevada, a tecnologia mais amplamente



utilizada é o processo de lodos ativados convencional, o qual utiliza microrganismos e aeração para reduzir o potencial de poluição dos seus efluentes. A configuração mais utilizada de sistemas biológicos consiste na utilização de unidades de pré-tratamento, para remoção de óleos e gorduras, materiais grosseiros e areia, seguido de um sedimentador para a remoção de sólidos sedimentáveis, reator biológico para a degradação da matéria orgânica e clarificador secundário para separar o efluente tratado da massa microrganismos. Este processo tem como limitação a unidade final de separação sólido líquido, ou seja, o clarificador secundário, pois depende da ação da

gravidade para separação do lodo biológico do efluente tratado. A principal limitação do clarificador secundário é a concentração de sólidos que ele pode ser alimentado, já que o lodo biológico tem uma massa específica muito próxima à da água. Esta limitação traz outros inconvenientes para o sistema biológico, que é a limitação da concentração de biomassa ativa que o reator pode ser operado, a qual é mantida na faixa de 3 a 4 mg/L, expressa em sólidos suspensos voláteis.

Como o processo biológico de tratamento de efluentes envolve reações químicas específicas, nas quais os microrganismos metabolizam a carga orgânica presente no

efluente, convertendo a mesma em biomassa, dióxido de carbono e energia, o seu desempenho e, conseqüentemente as dimensões do reator biológico dependem da concentração de micro-organismos presentes. Pelo efeito de concentração, quanto maior a quantidade de micro-organismos mantida no reator biológico, menor o seu volume. Contudo, uma maior concentração de micro-organismos no reator resulta na perda de desempenho da unidade convencional de clarificação.

Uma solução para este problema foi o desenvolvimento dos reatores biológicos com membranas submersas (MBR, do inglês Membrane Bioreactor), nos quais os clarificadores secundários são substituídos por membranas poliméricas, que são imersas no próprio reator biológico. Como as membranas utilizadas apresentam poros com diâmetro variando entre 0,05 a 0,2 micrometros, elas funcionam como uma barreira absoluta para a separação sólido líquido e o seu desempenho independe da concentração de sólidos presentes no reator.

Com a maior capacidade de separação propiciada pelas membranas, os reatores biológicos podem operar com concentração de sólidos suspensos voláteis significativamente superior ao sistema convencional, podendo chegar a 14 g/L. Do ponto de vista físico, as principais conseqüências da utilização das membranas nos reatores

biológicos é a eliminação da necessidade dos clarificadores secundários e a redução do volume do reator biológico. Do ponto de vista de processo, a operação dos reatores biológicos com maior concentração de biomassa resulta em um melhor desempenho do sistema em relação à degradação de contaminantes orgânicos recalcitrantes, já que é possível condicionar os micro-organismos para estes substratos.

Em termos de desempenho, os sistemas de tratamento biológicos com membranas submersas permitem obter eficiências de redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), próximas de 99%, produzindo efluentes com DBO inferior a 5,0 mgO₂/L e turbidez inferior a 0,1 unidade. Com a utilização de arranjos específicos é possível, ainda, reduzir a concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio.

A qualidade final do efluente obtido permite, por sua vez, que a prática de reúso de água seja considerada de uma forma mais abrangente, principalmente para aplicações menos restritivas, como água de reposição em torres de resfriamento e água de lavagem. Caso o efluente do sistema MBR sofra um tratamento adicional, pelo processo de osmose reversa, torna-se possível obter uma água com qualidade para usos em aplicações mais restritivas.

No Brasil os sistemas MBR começam a ser considerados para a prática de reúso de água,

podendo-se destacar a iniciativa desenvolvida para o fornecimento de água de reúso para o Polo Petroquímico de Capuava, Projeto Aquapolo (<http://www.aquapolo.com.br/quem-somos/sobre-o-aquapolo/>). Embora não seja um programa de reúso interno, ou seja, feito com o efluente originado nas indústrias do próprio Polo, ele se destaca pela utilização de uma nova abordagem relativa à oferta de água para processos industriais.

O Projeto Aquapolo é um marco na utilização do sistema MBR para produção de água para uso industrial, o qual entrou em operação em 2012 e tem demonstrado o potencial da prática de reúso de água para o enfrentamento dos problemas de escassez que afetam diversas regiões do país.

Esta experiência bem-sucedida vem sendo avaliada por vários setores econômicos do país e por empresas de saneamento do Estado de São Paulo e de outros estados da Federação, como alternativa para o enfrentamento dos problemas de escassez de água que estão se tornando mais evidentes, assim como para a melhoria da qualidade ambiental dos recursos hídricos disponíveis.

Informações mais detalhadas sobre sistemas MBR podem ser obtidas em literatura específica, destacando-se o livro Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos, tradução da maior referência mundial em tratamento de efluentes, Metcalf & Edy, da editora McGraw-Hill. ●

Entrevista com Professor Luís Filipe Freitas da Silva de Jesus

Aboa receptividade ao convite da ABEQ Regional de São Paulo aos coordenadores de cursos das instituições de ensino do país, para a indicação do Professor ABEQ, tem atraído inúmeros professores que, juntamente com a ABEQ, estão interessados na divulgação da Engenharia Química nacional.

O Projeto Professor ABEQ, reimplantado em 2015, conta atualmente com representação em quatro regiões do país: Nordeste, Norte, Sudeste e Sul. Os Professores ABEQ atualmente representam Escolas de Engenharia Química, dos seguintes estados: Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Santa Catarina e São Paulo.

O Boletim Informativo Mensal (BIM) da ABEQ, em suas edições, já apresentou alguns dos Professores ABEQ, representantes de instituições de ensino dos estados da Bahia, Ceará, Minas Gerais, Santa Catarina e São Paulo.

PROFESSOR ABEQ ATUA JUNTO AO CAMPUS DE SALVADOR DO IFBA

Em entrevista concedida a REBEQ, o Professor Luís Filipe Freitas da Silva de Jesus, docente, e que desde setembro é o Coordenador do Curso de Engenharia Química do Instituto Federal da Bahia, nos apresenta suas impressões e experiências docentes.

Graduado em Engenharia Química, Especialista



em Automação Industrial e Mestre em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), o Professor Luís Filipe Freitas da Silva de Jesus é o Professor ABEQ representante do Instituto Federal da Bahia (IFBA). O Curso de Engenharia Química do IFBA está sediado no campus de Salvador, e apesar de recentemente implantado (2009), é um dos mais bem avaliados no país.

A entrevista na íntegra com o Professor encontra-se reproduzida a seguir.

Boa leitura!

REBEQ - Quando se formou e qual sua escola de formação? O que destacaria do seu curso de graduação?

Luís Filipe Freitas - Graduação concluída na Universidade Federal da Bahia, em 2009. Curso de base teórica sólida, aliada com atividades práticas e experimentais. Destaco a oportunidade da Iniciação Científica (IC) desenvolvida na área de Catálise, trabalhando em projetos de síntese, desativação e regeneração de catalisadores. Nos 3 anos de IC, trabalhei com diversas técnicas de caracterizações,

que complementaram minha formação, tais como: DRX, FRX, FTIR, termogravimetria, análise textural, cromatografia, entre outras.

REBEQ - Desde quando ministra aulas em cursos de Engenharia Química e qual(is) a(s) disciplina(s) que ministra?

Luís Filipe Freitas - Há 04 anos ensinando em cursos de engenharia química, já ministrei disciplinas, como: Introdução a Engenharia Química, Operações Unitárias e Termodinâmica. Atualmente lecionando no Instituto Federal da Bahia ministro as disciplinas de Análise de Processos e Controle de Processos.

REBEQ - Com relação à docência em Engenharia Química: quais atividades ou experiências considera gratificantes? quais os desafios atuais?

Luís Filipe Freitas - Como docente das disciplinas de Análise de Processos e Controle de Processos, procuro conciliar os fundamentos teóricos com atividades práticas de modelagem, simulação e controle de processos, e estudos de caso que se aproximem da realidade industrial. Como são disciplinas de final de curso, a maioria dos alunos já está estagiando, e retroalimentam as aulas com depoimentos das práticas desenvolvidas no estágio, e relacionam o conteúdo visto em sala de aula com as atividades em ambiente industrial. Esta troca diária e contínua de experiências é muito gratificante.



REBEQ - Quais as conquistas de sua Instituição de Ensino, e suas, ao longo do tempo, com a oferta do curso de Engenharia Química?

Luís Filipe Freitas - O curso de Engenharia Química do campus de Salvador do IFBA foi implantado em 2009, e apesar de um curso recente, recebeu pontuação máxima no Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE); e em uma relação dos melhores cursos de engenharia química do Brasil a partir do CPC (Conceito Preliminar de Curso), o IFBA aparece entre os 10 primeiros.

A conquista mais recente do curso de Engenharia Química do IFBA foram as três (03) estrelas adquiridas na avaliação de cursos superiores realizada pelo Guia do Estudante (GE) no ano de 2016, e constarão na publicação GE Profissões Vestibular 2017. Este é mais um resultado do reconhecimento de nossa qualidade.

No mês de setembro deste ano iniciei minha contribuição como Coordenador do Curso de Engenharia Química. Será uma missão de muitos desafios

e aprendizagem, cujo objetivo maior é manter o status de excelência do curso.

REBEQ - Quais os eventos de Engenharia Química promovidos pela sua Instituição de Ensino?

Luís Filipe Freitas - O Curso de Engenharia Química estimulou a criação do Diretório Acadêmico do curso (DAEQ) e da Empresa Júnior do Curso de Engenharia Química (ENGTEQ), implementou, com a Diretoria Adjunta do Ensino Superior (DAES), a monitoria do curso de Engenharia Química e vem incentivando os alunos do curso à participarem de programas de intercâmbio e atividades extra-curriculares integradoras.

No DAEQ, os alunos promovem eventos sociais, campanhas filantrópicas, palestras, minicursos, oficinas e auxiliam a coordenação de curso, trazendo propostas para a melhoria do curso. Como exemplos, foram organizadas as SETEs (Semanas de Engenharia, Tecnologia e Inovação do IFBA/Campus de Salvador), o CONEEQ 2013 (Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia

Química em 2013), minicursos como o de Fabricação de Cerveja e Fabricação de Perfumes, Oficinas para Fabricação de Sabões e Detergentes, dentre outras atividades voltadas a práticas da engenharia química.

A ENGTEQ foi criada para proporcionar aos estudantes do curso uma primeira experiência profissional, onde por meio de uma empresa com estrutura organizacional definida, os membros da mesma ocupam cargos com responsabilidades

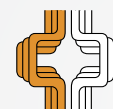
associadas, com projetos, prazos e metas definidos e pactuados por todos. Nas atividades desenvolvidas, além de palestras, treinamentos e minicursos, os estudantes desenvolvem, sob supervisão de um docente, projetos de engenharia química cujo objetivo maior é despertá-los para uma consciência de seu papel como profissional e membro de uma organização com responsabilidades técnica, social e ambiental.

REBEQ - Qual sua expectativa

em ser o(a) Professor(a) ABEQ e o que pretende realizar nesta indicação?

Luís Filipe Freitas - O professor ABEQ estabelece um elo importante entre a instituição de ensino e a ABEQ, fundamental para divulgar ações, eventos, atividades desenvolvidas tanto na IES, quanto pela ABEQ. Com a implantação do projeto Professor ABEQ conseguimos aumentar a visibilidade do nosso curso. Parabéns por esta excelente iniciativa. ●

AGENDA DE CURSOS | 2016



ABEQ Associação Brasileira de Engenharia Química



CURSO: **AGITAÇÃO**

E MISTURA

8 DE DEZEMBRO

AGITAÇÃO E MISTURAS

OBJETIVO:

Estudar os processos de agitação e mistura utilizados na indústria, suas áreas de aplicação, vantagens e inconvenientes por intermédio de estudos de caso.

LOCAL:

CRQ - 4ª Região - R. Oscar Freire, 2039 - São Paulo-SP.

8 DEZ

► Informações e inscrição



CURSO: **BALANÇOS MATERIAIS**

E DE ENERGIA

NA PRÁTICA

12 DE DEZEMBRO

BALANÇOS DE MATERIAL E ENERGIA USANDO O SOLVER DO EXCEL

OBJETIVO:

Análise de desempenho de unidades existentes incluindo condições diferentes do projeto original através de exemplos extraídos de casos reais.

LOCAL:

CRQ - 4ª Região - R. Oscar Freire, 2039 - São Paulo-SP.

12 DEZ

► Informações e inscrição



CURSO: **MOVIMENTAÇÃO DE FLUIDOS**

TUBULAÇÕES, BOMBAS, VENTILADORES E COMPRESSORES

NA PRÁTICA

16 DE DEZEMBRO

MOVIMENTAÇÃO DE FLUIDOS

OBJETIVO:

Oferecer ao profissional ferramentas simples e eficazes para a análise e resolução de problemas típicos encontrados em unidades existentes, relacionados com a capacidade dos equipamentos, como bombas, ventiladores, compressores, tubulações e instrumentos, quando atingidos os seus limites de projeto.

LOCAL:

CRQ - 4ª Região - R. Oscar Freire, 2039 - São Paulo-SP.

16 DEZ

► Informações e inscrição

VISITE NOSSO SITE:

www.abeq.org.br