



Revista de Química Industrial

**Resíduos químicos
e os rejeitos radioativos
nos serviços de saúde.**

**Da gestão tecnológica
à análise em redes:
uma nova possibilidade**

CONTAMINANTES EMERGENTES

**Avaliação da redução
de toxicidade em
efluentes industriais.**





ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA

2013



CBQ

Congresso Brasileiro
de Química

Química:
Ampliando Fronteiras
Rio de Janeiro
14 a 18 de outubro de 2013
Trabalhos: 14 de julho



IMPEQUI

Simpósio Brasileiro
de Educação Química

A Química Verde
no Universo Educacional
Teresina
28 a 30 de julho de 2013
Trabalhos: 2 de junho

ENTEQUI

Encontro Nacional
de Tecnologia Química

Tecnologia de Tratamento
e Recuperação de Fluidos
Maceió
28 a 30 de agosto de 2013
Trabalhos: 7 de julho

BIOCOM

Simpósio Nacional
de Biocombustíveis

Canoas
24 a 26 de abril de 2013
Trabalhos: 24 de fevereiro

Informações:
www.abq.org.br

Editorial

Este início de ano mantém a série de transformações por que vem passando a nossa RQI nos últimos dois anos. De início, vamos encontrar três artigos de opinião de conferencistas que abrilhantaram o 5º ENTEQUI, realizado em Maceió em agosto do ano passado. Eles contêm importantes informações atualizadas a respeito da gestão de vários tipos de resíduos em nosso país, item essencial para a formação de um profissional completo da área de química hoje.

Recentemente, uma consulta ao Webqualis da CAPES (<http://qualis.capes.gov.br/webqualis/publico/pesquisaPublicaClassificacao.seam?conversationPropagation=begin>) mostra que a RQI manteve-se no estrato B4 nas áreas de Engenharias II e Interdisciplinar, e B5 na área de Engenharias III. Contudo, ela foi promovida do estrato C para B5 nas áreas de Geociências e Química. Isso se reveste de significado porque agora as áreas de Engenharia Química, Química Industrial e Química podem todas contar com a RQI para publicação de trabalhos que impactem de algum modo positivamente as pós-graduações em que participam seus autores.

Há uma expectativa de que novas áreas venham a incorporar a RQI como veículo de publicação de suas pesquisas. Assim, você, caro leitor, é mais uma vez convidado a submeter seu trabalho à RQI, segundo as normas de submissão que se encontram ao final deste número e no portal www.abq.org.br/rqi.

O tema central deste número aborda tema que já foi abordado em uma das palestras internacionais do 51º CBQ, realizado em São Luís em outubro de 2011: contaminantes emergentes. Uma vasta cobertura representada por duas entrevistas com pesquisadores da FIOCRUZ e da UFBA destaca a importância deste assunto e as suas implicações ambientais. Há muita pesquisa e desenvolvimento nessa área, o que justifica que se faça uma repassada em outro tema central da RQI – patentes (número 735, 2º trimestre de 2012), através de uma entrevista com um pesquisador de renome em sua área de atuação.

Lembramos mais uma vez aos nossos caros leitores que as edições digitalizadas da RQI a partir de 1988 já estão disponíveis em seu portal, incluindo índices de palavras-chave e autores. Está em curso a segunda fase desse processo, onde se chegará às edições digitalizados dos últimos 50 anos da revista. A cada passo, um rico tesouro da inserção e do progresso da química em nosso país é desvendado mais uma vez, para que desta forma fique para sempre disponível a toda sociedade. Um pouco dessa memória está sempre presente na seção “Aconteceu na RQI”. O passado da revista e as ótimas perspectivas do presente anteveem um futuro muito produtivo.

Contudo, caro leitor, sua participação é fundamental para esse sucesso e para que a RQI cumpra as missões a que se propõe desde 1932. Como de costume, uma boa leitura, e que este ano seja repleto de boas realizações em todos os setores da vida.

RQI: a memória da química aplicada no Brasil passa por aqui!

Júlio Carlos Afonso
Editor

EXPEDIENTE

RQI – Revista de Química Industrial

(www.abq.org.br/rqi)

Órgão oficial da Associação Brasileira de Química para divulgar os eventos que promove; publicar matérias relevantes na área de química, como entrevistas com eminentes personalidades da ciência e tecnologia em geral, artigos técnicos, técnico-científicos e científicos relacionados à área industrial, P&D (inclusive em escala de laboratório) e desenvolvimento de técnicas analíticas, bem como resenhas de livros e outras publicações. A convite do Editor, a RQI também poderá publicar artigos de opinião de pessoas convidadas.

Indexada no Chemical Abstracts. Indexada no Qualis da CAPES nas áreas de Engenharias II (B4), Engenharias III (B5), Geociências (B5), Interdisciplinar (B4) e Química (5).

Para fins de citação, a abreviatura da revista a ser usada é *Rev. Quim. Ind.*

Fundador

Jayme da Nóbrega Santa Rosa (1903-1998)

Editor

Julio Carlos Afonso (UFRJ)

e-mail: editordarqi@abq.org.br

Conselho Editorial

Airton Marques da Silva (UECE)

Alvaro Crispino (CEFET-RJ)

Cláudio José de Araújo Mota (UFRJ)

David Tabak (FIOCRUZ)

Geraldo André Fontoura (BAYER e UFF)

Magda Beretta (UFBA)

Maria Inês Auad Moutinho (CFQ/ABQ-AL)

Newton Mario Battastini (SINDIQUIM)

Peter Rudolf Seidl (UFRJ)

Silvana Carvalho de Souza Calado (UFPE)

Viridiana Santana Ferreira-Leitão (INT)

Coordenador

Celso Augusto Caldas Fernandes

Criação da logomarca, arte, capa e diagramação

Adriana dos Santos Lopes

Comercialização/Publicidade

Tel/Fax: 21 2224-4480 - e-mail: rqi@abq.org.br

Impressão

Gráfica

e-mail: venturelicjb@gmail.com

Associação Brasileira de Química (www.abq.org.br)

Utilidade Pública Federal: Decreto nº 33.254 de 08/07/1953

Av. Presidente Vargas, 633 sala 2208

20071-004 – Rio de Janeiro – RJ

Tel/fax: 21 2224-4480 - e-mail: rqi@abq.org.br -

© É permitida a reprodução dos artigos e reportagens, desde que citada a fonte.

Os textos assinados são de responsabilidade de seus autores.

Normas para envio de artigos: ver na página 25 e no portal

www.abq.org.br/rqi.



ISSN: 0370-694X

Revista de Química Industrial

Ano 81 Nº 738 1º trimestre de 2013

Sumário

- 1 Editorial.
- 2 Sumário.
- 3 Acontecendo: Biocombustíveis em pauta.
- 4 Capa: Contaminantes emergentes.
- 14 Acontecendo: Repassando... patentes.
- 16 Artigo de opinião: Resíduos químicos e os rejeitos radioativos nos serviços de saúde.
- 23 Artigo de opinião: Avaliação da redução de toxicidade em efluentes industriais.
- 28 Aconteceu na RQI.
- 30 Artigo de opinião: Da gestão tecnológica à análise em redes: uma nova possibilidade

3ª capa Agenda.

Biocombustíveis em Pauta

Acontecerá de 24 a 26 de abril de 2013 no Centro de Eventos da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, na cidade de Canoas, Rio Grande do Sul, a sexta versão do Simpósio Nacional de Biocombustíveis – Biocom.

Este evento da ABQ foi lançado em 2008 na cidade de Recife tendo ocorrido no Setor de Eventos do Centro de Tecnologia da UFPE, sendo ali realizado também em 2009. Em 2010 e 2011 ocorreu no Centro de Convenções da FIRJAN no Rio de Janeiro.

No ano passado foi em Canoas, sendo repetido neste ano no mesmo local.

Em 2014/2015 vai para Cuiabá, no Planalto Central.

Os resultados do Simpósio vêm sendo crescentes em número de trabalhos apresentados e de participantes.

A partir do 5º Biocom foi incorporado ao Simpósio o Salão de Jovens Pesquisadores em Biocombustíveis que os organizadores esperam neste ano ter uma maior participação. O objetivo é de criar espaço para apresentação e discussão de trabalhos de pós-graduação em nível de mestrado ou doutorado em temas relacionados a biocombustíveis.

O Programa deste ano aborda o biogás, a bioeletricidade, o biodiesel no Mercosul, biocombustíveis para transporte, produção fotocatalítica de hidrogênio, técnicas de catálise heterogênea e etanol combustível.

Estarão se apresentando nos três dias do evento os convidados internacionais Victor Castro da Carbio, da Argentina; Nicolás Ferrari, da ALUR AS, do Uruguai, e Juan Bussi, da Universidade de la Republica, do Uruguai.

Do Brasil estarão presentes Decio Gazoni da EMBRAPA, Marcia Valle Real da UFF, Marcelo Sampaio do CEEE, Luciana Almeida Silva da UFBA, Marcela Flores, da ANP, Boris Stambuk, da UFSC, Jaime Finguerut, da CTC, Adilson Gonçalves, da



USP-Lorena, Robson Lewis, da Petrobras Biocombustíveis, Guilherme Cabral, da SULGÁS, Eduardo Cavalcanti, do INT, Maria Elizabeth Ritter dos Santos, da PUC-RS, Vivian Mutti da Silva, da UFRGS, Christiane Saraiva Ogradowsky, da FURG, dentre outros.

O Biocom conta com o patrocínio da CAPES, SINDIQUIM, CIENTEC-RS, FAPERGS, CRQ-RS e apoio da ULBRA, UFRGS, PUC-RS e Revista Biodiesel.

Outras informações podem ser acessadas através do endereço eletrônico abq.org.br/biocom.

Contaminantes Emergentes

No 51º CBQ, realizado em São Luís (9 a 13 de outubro de 2011), uma das palestras internacionais foi o tema “Contaminantes Emergentes – Desafios e Perspectivas”, cujo conferencista foi o pesquisador francês Jean-Louis Marty. A RQI publicou no número 733 uma matéria sobre essa palestra, que pode ser acessada por meio do link

<http://www.abq.org.br/rqi/2011/733/RQI-733-pagina8-Contaminantes-Emergentes.pdf>.

A importância deste tema na área de pesquisa e desenvolvimento é atestada pelo grande número de dissertações, teses, patentes e artigos publicados nos últimos anos. Por isso, a RQI aborda na matéria de capa deste número este assunto, oferecendo aos leitores uma ampla visão do problema ambiental que os contaminantes emergentes representam. Para isso, três pesquisadores foram convidados para expor um pouco de sua visão sobre os desafios e as perspectivas relativos a esse tema: Josino Costa Moreira e Eline Simões Gonçalves, ambos do Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública (FIOCRUZ/ENSP), e Magda Beretta, professora associada do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. É coordenadora dos Laboratórios de Análise de Água e Efluentes, e Biotoxicologia do DEA/EP-UFBA, e do Grupo de pesquisa do CNPq Núcleo de Pesquisa em Engenharia Ambiental (NUPEA).

RQI: O que se entende por contaminantes emergentes? Quais são as principais fontes desses contaminantes?

Josino e Eline: Contaminantes ou poluentes emergentes são substâncias potencialmente tóxicas das quais os efeitos ou a presença no ambiente são ainda pouco conhecidos. Desta forma, esses contaminantes não estão incluídos em programas de monitoramento de rotina pelos órgãos de meio ambiente e saúde, e tampouco estão inseridos em normativas ou legislações de controle ambiental.

Como pode ser observado por esta definição, o termo “*emergente*” se refere à preocupação que estas substâncias têm trazido à luz dos novos conhecimentos adquiridos sobre seus impactos reais e potenciais à saúde humana e ambiental. Ou seja, engloba tanto substâncias que já vêm sendo utilizadas há tempos, como também novas substâncias decorrentes dos avanços tecnológicos.

Como exemplo podemos citar os ftalatos

vários pesticidas, compostos polihalogenados (policlorados, polifluorados e polibromados especialmente os éteres difenilpolibromados), medicamentos, cosméticos e outros produtos de uso pessoal, como mostrados na Tabela 1.

Estas substâncias têm sido introduzidas no ambiente em larga escala e, devido às suas propriedades físico-químicas, como persistência, volatilidade, lipofilicidade, etc. são amplamente distribuídas no ambiente e podem impactar a saúde ambiental por um período de tempo relativamente longo.

É importante entender que por “saúde ambiental” entendemos os aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que são determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicossociais do ambiente, ou seja, engloba a teoria e a prática de avaliar, corrigir, controlar e prevenir a ação destes fatores que potencialmente podem afetar de forma negativa a

Tabela 1: Categorização de algumas substâncias poluentes emergentes

CLASSE DE SUBSTÂNCIAS	EXEMPLOS
Fármacos	
Antibióticos	Trimetoprim, eritromicina, lincomicina, sulfametazona
Analgésicos e drogas antiinflamatórias	Codeína, ibuprofeno, acetaminofeno, ácido acetilsalicílico, diclofenaco, fenoprofeno
Drogas psiquiátricas	Diazepan
Reguladores lipídicos	Bezafibrato, ácido clofibrico, ácido fenofibrico
β-Bloqueadores	Metoprolol, propranolol, timolol
Contrastes (raio X)	Iopromide, iopamidol, diatrizoate
Esteróis e hormônios (contraceptivos)	Estradiol, estrona, estriol, dietilestilbestrol
Produtos de uso pessoal	
Fragrâncias	nitropolicíclicos e macrocíclicos
Agentes de protetor solar	Benzofenona, cânfora metilbenzilideno
Repelentes	N,N-dietiltoluamida
Antissépticos	Triclosan, clorofeno
Surfactantes	Alquilfenol etoxilados, alquilfenóis (nonilfenol e octilfenol), alquilfenol carboxilados
Retardantes de chama	difenil éteres polibromados PBDEs), tetrabromo bisfenol A, Tris(2-cloroetil)fosfato
Agentes e aditivos industriais	Agentes quelantes (EDTA), sulfonatos aromáticos
Aditivos de gasolina	dialquiléteres, metil-t-butil éter (MTBE)
Produtos de desinfecção	Iodo-THMs, bromoácidos, bromoacetonitrilas, bromoaldeídos, cianoformaldeídos, bromatos, NDMA

Fonte: BARCELÓ, 2003

saúde das gerações presente e futura.

Destaque é dado nos possíveis efeitos sobre futuras gerações e isto justifica a importância que tem sido atribuída às substâncias capazes de atarem sobre o sistema endócrino (desreguladores endócrinos – *endocrine disruptors*).

Ou seja, a *emergência* é resultante dos avanços científicos nos procedimentos de monitoramento ambiental, no desenvolvimento de competência analítica que utiliza equipamentos cada vez mais sensíveis e no entendimento dos processos toxicológicos e ecotoxicológicos. Realmente, o desenvolvimento das técnicas analíticas vem possibilitando a determinação destas substâncias em matrizes ambientais e/ou biológicas em concentrações cada vez mais reduzidas (ng ou pg L⁻¹). Uma excelente revisão dos aspectos analíticos utilizadas nestes estudos pode ser encontrada no artigo de Gros e colaboradores (2008).

É importante ressaltar que nosso conhecimento sobre os aspectos ecotoxicológicos da maioria das substâncias existentes ainda é muito

primário ou mesmo inexistente. Isto pode ser depreendido comparando-se o número aproximado de substâncias químicas conhecidas e documentadas, cerca de 28 milhões, com a percentagem daquelas que são reguladas por organismos nacionais e internacionais – cerca de 1%. Esta situação é crítica e resulta da diferença de tempo entre o desenvolvimento de novas substâncias e suas utilizações industriais e o conhecimento dos impactos das mesmas sobre a saúde ambiental, especialmente em longo prazo.

Existem várias fontes de emissão de contaminantes emergentes como emissões e rejeitos industriais, rejeitos urbanos, estações de tratamento e mesmo de desmonte de material contaminado.

Talvez a fonte mais importante seja o efluente das estações de tratamento de esgotos, por esta via, os contaminantes emergentes entram continuamente no ambiente aquático. E também o esgoto *in natura*, despejado diretamente nos corpos hídricos, situação bastante comum em nosso País. Neste aspecto, existem dois problemas a considerar: a ausência de rede coletora adequada e a eficiência do tratamento dos rejeitos domésticos ou industriais, que não é capaz de remover os contaminantes emergentes por completo.

Sendo assim, fica claro que a preocupação quanto à contaminação hídrica pelas mais diversas substâncias, principalmente aquelas que não se conhece os efeitos ecotoxicológicos, deve ser prevenida e/ou minimizada, em obediência ao princípio da precaução.

No Brasil, o Princípio da Precaução tem seu fundamento na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938, de 31/08/1981) e implica em uma ação antecipatória à ocorrência do dano ambiental, de forma que na ausência da certeza científica formal, a existência de um risco de um dano sério ou irreversível requer a implementação de medidas que possam prever este dano. (<<http://www.ufrgs.br/bioetica/precau.htm>>, acessado em 10/09/11).



Outro fator limitante do conhecimento esta relacionado ao reduzido número de substâncias monitoradas (sem considerar a complexidade matricial). Isto faz com que em um universo bastante grande de substâncias sejam

priorizadas algumas e assim, perdem-se informações toxicológicas altamente relevantes como efeitos sinérgicos, aditivos, inibições etc., resultantes das interações entre as mesmas, inclusive, aquelas substâncias consideradas, “a priori”, não prioritárias. Como consequência, desprezamos os riscos à saúde ambiental causada por estas misturas de substâncias e favorecemos, cada vez mais, o aparecimento de novos “poluentes emergentes”.

RQI: Quais são as regiões do mundo mais afetadas pelos contaminantes emergentes?

Josino e Eline: De maneira geral, todo o globo terrestre sofre ameaças deste tipo de contaminantes. Eles são ubíquos. Entretanto nos países mais desenvolvidos, a consciência da população e os mecanismos de controle da poluição são mais eficientes do que nos países menos desenvolvidos, assim, depreende-se que os riscos maiores são encontrados nesses últimos, onde contribuem também inúmeros outros fatores (sócio-econômicos, culturais, etc). De um modo geral, as bacias hidrográficas situadas nas proximidades de áreas urbanas com alta densidade demográfica são mais susceptíveis de serem afetadas pela presença de contaminantes emergentes.

RQI: Como situa o Brasil frente a esse problema?

Josino e Eline: O primeiro estudo sobre contaminantes emergentes no Brasil foi realizado no Estado do Rio de Janeiro, em 1999, onde foi avaliada

a presença de resíduos de fármacos (diferentes antiinflamatórios, analgésicos e antilipêmicos) em água potável e rios de captação, como o rio Paraíba de Sul, na Baía de Guanabara e também, em afluentes e efluentes de ETEs, e em amostras de água fornecida para abastecimento público das cidades de Niterói, Resende, Três Rios e Campos (STUMPF *et al.*, 1999). Em geral, os compostos frequentemente detectados nas águas superficiais deste estudo foram o ácido clofíbrico, o diclofenaco e o naproxeno em concentrações máximas próximas a 200 ng L⁻¹. Os demais compostos foram encontrados em concentrações abaixo ou próximas de 10 ng L⁻¹.

Somente após 10 anos, um novo estudo sobre o mesmo tema foi realizado por Kuster e colaboradores (2009), quando foi detectada a presença de interferentes endócrinos como estrogênios, progestogênios, fitoestrogênios e suas formas conjugadas, em amostras dos rios Guandu, Paraíba do Sul e Macaé. Nas amostras analisadas, os compostos encontrados foram estriol-16-glucuronida, estradiol-17-glucoranida, estradiol-3-sulfato, estriol, daidzeína, coumestrol, genisteína e progesterona, em concentrações médias na faixa 0,72–170 ng L⁻¹.

Recentemente, Gonçalves (2012) avaliou a presença de 35 fármacos de diferentes classes terapêuticas, cafeína e bisfenol-A em rios de diferentes escalas no Estado do Rio de Janeiro, inclusive, nos rios Guandu e Paraíba do Sul. Os resultados obtidos mostraram que nenhuma das 47 amostras analisadas estava livre da contaminação por esses compostos, sendo que o interferente endócrino bisfenol-A foi detectado em 96% das amostras analisadas em concentrações que variaram entre <9,7 a 31.700 ng L⁻¹. Nestes três estudos, foram gerados dados pontuais, com apenas uma coleta. Ainda não há dados oriundos de monitoramentos em longo prazo, em que sejam avaliadas as variações sazonais desses compostos no ambiente e na água distribuída à população do Estado do Rio de Janeiro.



No Estado de São Paulo, estudos sobre essa temática vêm avançando. Atualmente, podem-se encontrar publicações provenientes do monitoramento de efluentes de estações de tratamento de esgoto, de mananciais de captação e da água tratada, todas do município de Campinas, quanto à ocorrência de fármacos e interferentes endócrinos, e alguns estudos de toxicidade (GHISELLI, 2006; MONTAGNER, 2007 e 2011; SODRÉ *et al.*, 2010).

A reduzida quantidade de trabalhos científicos realizados no país vai além do interesse científico ou dos órgãos do governo, mas envolve também a carência de pesquisadores especializados no tema, especialmente se considerarmos que a exigência de profissionais qualificados e investimentos na infraestrutura laboratorial, acreditação e no desenvolvimento e validação de métodos analíticos para a determinação de baixíssimas concentrações, como as observadas nas matrizes ambientais e biológicas.

Em realidade este ainda é um tema muito atraente para pesquisas, pois: (i) o desenvolvimento das técnicas analíticas, cada vez mais permitem a detecção de compostos em concentrações cada vez

mais baixas em matrizes de alta complexidade; (ii) o aumento da conscientização da opinião pública sobre a importância do monitoramento da qualidade ambiental (especialmente da qualidade da água) e sua preservação; (iii) o aumento da necessidade de reuso de alguns bens ambientais, como a água, que exige melhorias nos sistemas de tratamentos de esgoto e efluentes. Ademais, diante de tantos dados sobre a presença desse contaminantes e de seus efeitos aos seres humanos e principalmente aos organismos aquáticos, torna-se cada vez mais necessário a obtenção de informações sobre o destino desses compostos no meio ambiente. Entretanto sob o ponto de vista da vigilância ambiental, algumas destas substâncias têm restrições e limites legais, mas a maioria, não.

RQI: Porque o tratamento de efluentes contendo esses materiais é tão desafiador?

Josino e Eline: A maioria destas substâncias é persistente, ou seja, não sofre degradação rápida quando submetida às condições ambientais e não são retidas ou degradadas sob as condições de tratamentos amplamente utilizadas. Pesquisas têm demonstrado que muitos desses compostos na

completamente removidos durante o tratamento convencional de efluentes, em especial os domésticos (GAGNÉ *et al.*, 2006; METCALFE *et al.*, 2003). Em alguns países, os efluentes de aterros sanitários são, inclusive, tratados conjuntamente com o esgoto doméstico, o que modifica a composição do efluente e afeta a eficiência dos processos. Contudo, em países onde a rede de coleta e o tratamento de esgoto atendem grande parte da população, são as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que podem promover a primeira e, provavelmente, a única oportunidade de remoção desses resíduos antes de chegarem aos ambientes aquáticos, o que torna importante a caracterização de seu destino nos sistemas de tratamento (KOSJEK *et al.*, 2007).

A maior parte dos estudos realizados sobre remoção de contaminantes emergentes nas ETEs tem focado principalmente a fase aquosa, sendo que a carga desses contaminantes na fase sólida é frequentemente negligenciada.

Assim, a ocorrência e a distribuição de contaminantes emergentes no lodo do esgoto demanda ainda investigações detalhadas, especialmente porque o esgoto digerido é disposto em aterros ou usado como fertilizantes na agricultura e esta representa uma outra entrada de contaminantes emergentes no ambiente.

Outro aspecto importante e que exige ainda informações mais apuradas, é o reúso de água tratada na ETE, já que está impõe-se como a solução mais adequada para o gerenciamento sustentável do ciclo da água. E como um dos problemas-chave na reciclagem de esgoto é o problema emergente dos micropoluentes como fármacos, hormônios, fragrâncias e produtos de uso pessoal, é de se esperar que tais informações sejam geradas dentro em breve.

Os requisitos a serem atingidos para o efluente de uma ETE existem em função de legislação específica, que prevê padrões de qualidade para o efluente e para o corpo receptor.

Assim, um dos desafios é a geração de dados robustos sobre o percentual de remoção de todo o sistema de tratamento e também dados de ecotoxicidade para fundamentar novas regulamentações especialmente para novos compostos, subprodutos, fármacos e demais contaminantes emergentes com relação ao tratamento da água e esgoto doméstico e industrial.

Ademais, já que as fontes de contaminantes emergentes não podem ser eliminadas em sua totalidade, processos de tratamento específicos precisam ser otimizados. Ozonização, radiação ultravioleta (UV), filtração por membrana, e adsorção por carbono ativado são tratamentos em potencial que poderiam promover uma efetiva remoção de contaminantes emergentes. Entretanto, a implementação destas técnicas podem aumentar o custo da estação de tratamento de esgoto.

Alternativamente, o entendimento do destino dos contaminantes emergentes nas ETEs pode render métodos baseados em um melhor gerenciamento ou menores modificações nas atuais ETEs.

A Tabela 2 (na página ao lado) apresenta os valores típicos de remoção de alguns poluentes emergentes presentes em esgoto doméstico em uma ETE.

Como podem ser observadas, as taxas de remoção de poluentes emergentes na ETE são informações importantes no levantamento de quais compostos estão chegando ao ambiente aquático.

Assim, diferentes métodos de tratamento e condições de operação em cada estação irão influenciar as concentrações encontradas no efluente final.

Desta forma, a avaliação da eficiência de cada etapa do tratamento (lagoa de aeração, sedimentação, lodo ativado, dentre outros) na remoção de poluentes emergentes se faz necessário para a elaboração de um modelo de entrada de poluentes emergentes para o ambiente a partir das ETEs.

Tabela 2: Concentração de poluentes emergentes em afluentes e efluentes em ETEs e eficiência de remoção no tratamento de esgotos

Composto	Afluente ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Efluente ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Remoção máxima (%)
Analgésico/anti-inflamatório			
Ácido Acetilsalicílico	3,2	0,6	81
Ácido Salicílico	57-330	0,05-3,6	99
Dextropoxifeno	0,03	0,06	0
Diclofenaco	0,33-3,0	0,17-2,5	0-75
Ibuprofeno	0,54-38,7	0-4	12-100
Ketoprofeno	0,41-5,7	0,008-2,3	8-100
Ácido Mefenâmico	0,20-3,2	0,34-2,3	0-50
Naproxeno	0,6-40,7	0-12,5	15-100
Paracetamol	6,9	0	100
β-bloqueadores			
Metoprolol	-	-	0-83
Propranolol	70	304	0-96
Atenolol	-	-	< 10
Antilipêmicos			
Benzafibrato	0,4-2,6	0-0,8	15-100
Gemfibrozil	0,3-0,7	0,18-1,3	10-75
Ácido Clofibrato	0,15-1	0-0,88	0-91
Compostos neuroativos			
Carbamazepina	0,59-1,5	0,1-1,5	4-53
Diazepam	0,59-1,18	0,1-0,66	93
Outros			
Etinilestradiol	0,003	0,0004	85
Clotrimazole	0,031	0,14	55
Ifosfamida	0,007-0,029	0,010-0,043	0
Tamoxifeno	0,15	0,20	0
Contraste de raios x	0,18-7,5	0,14-8,1	0

Fonte: FENT *et al.* (2006)

RQI: O que é mais difícil: tratar efluentes contendo contaminantes emergentes ou substituí-los por outras substâncias mais ambientalmente seguras, mantendo a qualidade do produto?

Josino e Eline: Neste aspecto, que envolve a prevenção de potenciais efeitos à saúde humana, temos alguns aspectos a considerar: (i) o passivo ambiental, ou seja, a contaminação já existente; (ii) a educação do povo; (iii) e a substituição das substâncias reconhecidamente danosas por outras que não o sejam. Acredito que todos estes aspectos devem ser abordados simultaneamente.

O tratamento de efluentes ainda necessita o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e de

baixo custo para ser acessível a todos, principalmente aos países pobres. O uso de vários tipos de tratamentos terciários e de nanotecnologia para suplantar os problemas atualmente existentes tem se despontado como importantes áreas de pesquisas para a sustentabilidade ambiental. Se considerarmos as condições díspares existentes no Brasil, esta área torna-se fundamental. A substituição envolve pesquisas aprofundadas sobre a ecotoxicologia das substâncias e dos produtos. Assim, uma etapa importante e que pode ser imediatamente iniciada é a educação, que exige primeiro pessoal qualificado para isto, e segundo, vontade política.

RQI: Que exemplo ilustrativo poderia ser citado?

Josino e Eline: Eis um exemplo concreto: a contaminação por difenil éteres polibromados (PBDEs). Os difeniléteres polibromados (PBDE) constituem uma família de substâncias químicas empregadas como retardantes de chama em plásticos, circuitos eletrônicos, têxteis etc. Esta família é constituída por 209 congêneres dos quais os mais abundantes são os penta, octa e deca-PBDEs.

Os PBDEs são lipofílicos, têm baixa pressão de vapor e coeficiente de partição octanol/água na faixa compreendida entre 5,9 e 10,0. São persistentes, têm baixa solubilidade em água e elevada afinidade para se ligar a material particulado (DE WIT, 2002).

O descarte de produtos eletroeletrônicos é uma das fontes importantes destes agentes tóxicos para o ambiente. Para se ter uma idéia da magnitude desta contaminação, estima-se que cada indivíduo nascido na Europa em 2003 produzirá cerca de 8 t de lixo eletroeletrônico durante sua vida, e atualmente são produzidos cerca de 9 milhões de t deste lixo. Uma estimativa feita nos Estados Unidos mostra que existe um potencial de 747 milhões de itens eletroeletrônicos representando cerca de 13 milhões de toneladas métricas (OGUNSEITAN *et al.*, 2009).

Atualmente estas substâncias são encontradas em todos os ambientes terrestres como resultado da migração que resulta da disposição final dos produtos que as contêm e de suas lixiviação e dispersão.

Suas características físico-químicas favorecem a biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. De fato, fatores de bioconcentração da ordem de 1.400.000 tem sido encontrados em mexilhões assim como a biomagnificação que tem sido relatada em peixes (GUSTAVSON *et al.*, 1999, BUREAU *et al.*, 2000). Devido a suas características e a grande dispersão ambiental, esta família de substâncias já foi identificada em mamíferos e inclusive no homem. Trabalho realizado na Alemanha mostra que entre 1985 e 1999 a concentração média de PBDEs no sangue humano da população residente naquele País aumentou de cerca de 3,1 para 4,7 ng g⁻¹ lipídios (SCHROTER-KERMANI *et al.*, 2000).

Recentemente, um estudo realizado nos Estados Unidos mostrou que 70% das 303 amostras de leite humano analisadas estavam contaminadas principalmente com os congêneres BDEs 28, 47, 99, 100 e 153. As concentrações encontradas variaram desde o limite de detecção do método analítico utilizado até 1430 ng g⁻¹ de lipídios, com uma mediana de 28 ng g⁻¹ lipídio (DANIELS *et al.*, 2010). Estes dados confirmam a ampla distribuição destas substâncias no planeta e a contaminação humana resultante desta exposição, embora muito pouco se saiba da situação brasileira tanto do ponto de vista ambiental quanto biológico.

Do ponto de vista toxicológico, embora as consequências da exposição ambiental a estas substâncias na saúde humana ainda sejam pouco conhecidas, estudos têm reportado interferência dos PBDEs na homeostase dos hormônios tireoidianos, como a tiroxina, que participa na regulação da velocidade metabólica, no metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídeos e na oxigenação dos tecidos (HOOPER E MCDONALD, 2000). Esses

hormônios são importantes no desenvolvimento normal do cérebro.

Os principais alvos da toxicidade dos PBDEs são o fígado, a tireóide e os sistemas reprodutivo e nervoso. Muitos estudos têm relatado associação positiva entre PBDEs e hipertireoidismo clínico ou subclínico e alguns derivados hidroxilados dos PBDEs podem se ligar aos receptores tireoidianos alfa1 e beta e inibirem a liberação de TSH (DARNERUD, 2008, CONTAM, 2011). Estudos recentes têm demonstrado atividade carcinogênica destas substâncias relacionadas com cânceres de seio, ovário e cervical (LI *et al.*, 2012) bem como efeitos sobre o neurodesenvolvimento de crianças expostas (HERBTSMAN *et al.*, 2012).

De fato, pesquisas em roedores mostram que a exposição pré-natal pode causar problemas de aprendizado e de comportamento que persistem mesmo na vida adulta (DANIELS *et al.*, 2010). Em virtude de seus efeitos toxicológicos, a produção e o uso de formulações contendo PBDEs foi proibida na Europa e o de formulações contendo penta e octaBDE, no Estados Unidos. Entretanto mesmo com estas proibições estas substâncias continuam a contaminarem o ambiente através de sua liberação dos produtos ainda em uso e daqueles dispostos em depósitos de lixo (BARCELÓ *et al.* 2011).

A via ambiental é a principal via de exposição direta a estas substâncias. A contaminação dos segmentos ambientais, a persistência e a capacidade de biomagnificação ao longo da cadeia alimentar destes agentes tóxicos fazem com que a via digestiva seja outra via importante.

Devido à sua distribuição ubíqua e aos potenciais efeitos que estas substâncias podem ter sobre os organismos vivos, inclusive o homem, o desenvolvimento de metodologias simples, baratas e de ampla aplicação para suas degradações são extremamente necessárias.

O problema ambiental está criado; resta-nos o encargo de como resolvê-lo, que certamente passará para as novas gerações de químicos.

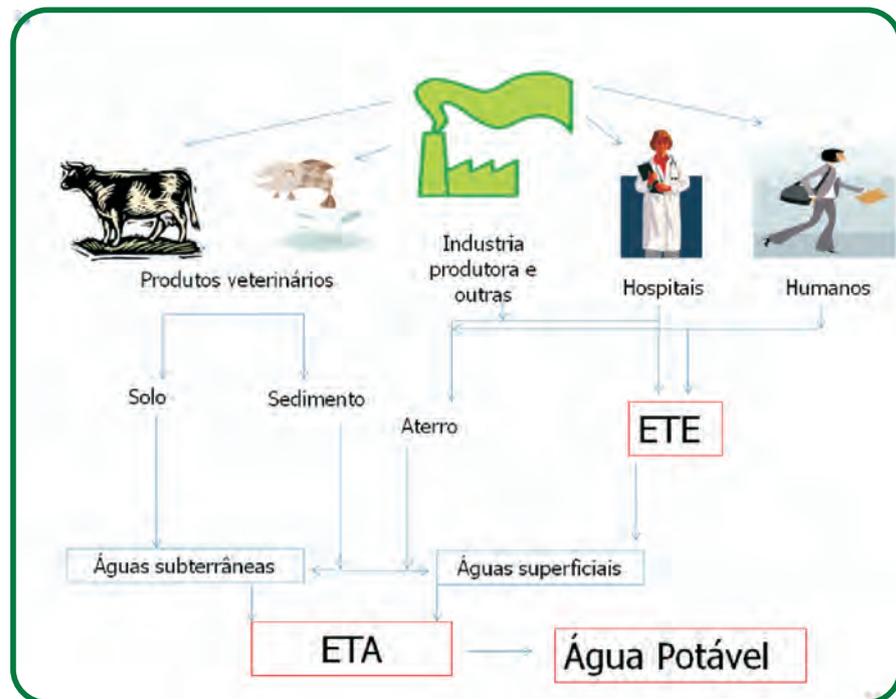


Figura 1: Rotas de circulação de fármacos no ambiente

RQI: O que se entende por contaminantes emergentes? Quais são as principais fontes desses contaminantes?

Magda: O que caracteriza os contaminantes emergentes é que ainda não estão especificados em legislações e o conhecimento sobre eles, tais como formas de contaminação, rotas, matrizes ambientais e remoções ainda é escasso. A descoberta destes compostos no meio ambiente se tornou possível através da evolução de equipamentos de amostragem e análises, pois estão presentes em concentrações na faixa de ppb ($\mu\text{g L}^{-1}$ ou $\mu\text{g kg}^{-1}$) e ppt (ng L^{-1} ou ng kg^{-1}). Alguns deles se comportam como disruptores endócrinos, provocando alterações no sistema endócrino humano e têm sido constantemente encontrado nas amostras de águas superficiais, sedimentos, biota, efluentes e mesmo em água potável.

Os principais grupos a que pertencem estes compostos são:

- 1) Fármacos (analgésicos, anti-inflamatórios, antibióticos, etc.);
- 2) Produtos de cuidado pessoal (fragrâncias, bronzeadores, etc.);
- 3) Produtos químicos industriais (bisfenol-A, alquilfenóis, etc.), bem como seus produtos de

degradação e metabólitos.

Eles são lançados no ambiente a partir de várias rotas, e uma vez presentes nos corpos hídricos podem aparecer em pequenas concentrações na água tratada (potável). Isto acontece porque as estações de tratamento de efluentes e de água não conseguem remover de forma eficiente estas substâncias.

A figura 1 ilustra as possíveis rotas, de um grupo destes compostos, os fármacos, no ambiente.

Os fármacos têm se apresentado como poluentes de difícil remoção em efluentes e águas, e são consumidos tanto pelos seres humanos quanto por animais através dos usos veterinários, em quantidades significativas.

Os medicamentos ingeridos por via oral ou parenteral sofrem reações químicas no organismo e são excretados através da urina e das fezes.

A eliminação pode ser feita por compostos livres, conjugados ou através de seus metabólitos.

RQI: Quais são as regiões do mundo mais afetadas pelos contaminantes emergentes?

Magda: Praticamente todas. A extensa utilização de novos produtos químicos e de medicamentos

propicia o aparecimento destes contaminantes em qualquer região que apresente alguma atividade antrópica.

RQI: Como situa o Brasil frente a esse problema?

Magda: Para se ter uma visão próxima da realidade são necessários extensos estudos para elaboração de um diagnóstico mais preciso. Existem alguns trabalhos já realizados no país, e todos indicam que os compartimentos ambientais analisados apresentam concentrações residuais destes compostos, inclusive água potável.



FOTO: FAPESP

Poluição em água potável

RQI: Porque o tratamento de efluentes contendo esses materiais é tão desafiador?

Magda: Todas estas substâncias compõem um grupo muito heterogêneo em relação às suas propriedades físico-químicas, e isto dificulta a adoção de técnicas de tratamento que consigam remover com eficiência a maioria destes compostos.

O sistema de tratamento de esgoto consiste em: tratamento preliminar para remoção de sólidos grosseiros, tratamento primário com o objetivo de remover sólidos sedimentáveis e consequentemente parte da matéria orgânica, tratamento secundário para remoção de matéria orgânica e eventuais nutrientes através de mecanismos biológicos, e tratamento terciário que objetiva remover poluentes tóxicos, compostos não biodegradáveis ou então nutrientes não eliminados no tratamento secundário. Porém a maioria das

estações de tratamento de esgoto no Brasil dispõem somente de tratamento preliminar, ou preliminar com primário e lançam os seus dejetos em rios ou no mar.

A Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/11 (potabilidade da água), a Resolução CONAMA 357/05 (padrões de classificação de corpos de água), e a Resolução CONAMA 430/11 (lançamento de efluentes), não dispõem de valores limites sobre estes contaminantes.

Portanto, a preocupação está na possibilidade da remoção ineficiente destes compostos no tratamento de águas naturais para abastecimento humano, bem como o impacto na biota aquática.

RQI: O que é mais difícil: tratar efluentes contendo contaminantes emergentes ou substituí-los por outras substâncias mais ambientalmente seguras, mantendo a qualidade do produto?

Magda: A lista de contaminantes presentes no ambiente é imensa, e pensar em substituir todos é quase impossível.

Por exemplo, a problemática associada com a poluição das águas pelos compostos farmacêuticos se diferencia de outras substâncias de origem antropópica (por exemplo, pesticidas), pois neste caso a proibição da sua produção ou consumo não é uma solução viável devido a que os medicamentos são destinados a melhorar a saúde humana, um ponto que até hoje na nossa sociedade, tem prioridade em relação aos cuidados e preservação do meio ambiente. Por conseguinte, as principais linhas de ação para atenuar possíveis efeitos adversos causados com a presença de fármacos no ambiente devem incluir:

- a) Os processos sociais, tais como tentar sensibilizar a sociedade, de que os medicamentos devem ser utilizados de forma racional e que os que não forem utilizados devem ter o destino adequado através de pontos de recolha específicos;
- b) Melhorias na composição dos medicamentos,

para tentar substituir os ingredientes ativos menos agressivos ao meio ambiente e satisfazendo doses de modo que a fração excretada após ingestão seja mínima;

c) Otimização de tecnologia e de funcionamento de ETAs,

Temos que levar em conta a presença desses compostos quando do planejamento do projeto.

Diretrizes semelhantes devem ser elaboradas para solucionar o problema relacionado à presença dos outros contaminantes emergentes.

Para finalizar gostaria de citar trechos da tese de Ana Lúcia Silva (Tese de doutorado, USP – Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2009), que refletem nossos desafios em relação a este tema:

> “De tudo que foi exposto conclui-se que a detecção e a determinação da ação destas substâncias constituem-se em um pequeno detalhe dentro da complexidade inerente à problemática dos contaminantes emergentes e as ações que se fazem necessárias para a busca da solução deste tipo de poluição.”

> “O tema traz um imenso desafio e uma grande oportunidade: a de evoluir das atuais ações relacionadas ao meio ambiente, saindo de um modelo cartesiano, responsivo e reativo para outro que seja preventivo e prime pela parceria entre os vários atores da sociedade.”

> “A reversão deste quadro se dará a partir de outras iniciativas, incluindo a sociedade, que evoluam da realidade regional para a global, dentro de visão multidisciplinar, com ética ambiental e transformação do próprio homem.”

Referências

- BARCELÓ (2003). *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v.22(10), p. XIV-XVI..
- BARCELÓ et al. (2011). *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v. 30(6), 842-848.
- BURREAU et al. (2000), *Organohalogen Compounds*, 47, 253-255.
- CONTAM, (2011). *EFSA Journal*. v. 9(5), 2156, p. 1- 268.
- DANIELS et al. (2010) *Environmental Health Perspective*, v. 118(1), p. 155.

- DARNERUD (2008). *International Journal Andrology*, v. 31, p. 152-60.
- DE WIT (2002). *Chemosphere*, v. 46, p. 583–624.
- FENT, WESTON, E CAMINADA (2006). *Aquatic Toxicology*, v. 76, p.122-159.
- GAGNÉ, BLAISE E ANDRE (2006). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.64(3), p.329-336.
- 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). Campinas, 2006. 181 f. (Tese de Doutorado em Química Analítica). Universidade de Campinas.
- GONÇALVES, E. S. Ocorrência e distribuição de fármacos, cafeína e bisfenol-A em alguns corpos hídricos no Estado do Rio de Janeiro. Niterói, RJ, 2012, 203 f. (Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense.
- GROS, PETROVIC e BARCELÓ (2008). Analysis of Emerging Contaminants of Municipal and Industrial Origin, *Hdb Env Chem* (5), Part S/1: 37–104, disponível online.
- GUSTAVSON et al. (1999). *Environmental Toxicology Chemistry*, v. 18, p. 1218-22.
- Hooper e McDonald (2000). *Environmental Health Perspectives*, v. 108(5), p. 387 – 392.
- KOSJEK et al. (2007). *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, v.26(11), p.1076-1085.
- KUSTER et al. (2009). *Environmental International*, n. 35, p. 997-1003.
- LI et al. (2012). *Environmental Health Perspectives*, v. 118(5), p. 1075-1079.
- METCALFE et al. (2003). *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 22(12), p.2881-2889.
- MONTAGNER & JARDIM (2011). *Journal of Brazilian Chemistry Society*, v. 22(8), p. 1452-1462.
- MONTAGNER, C. Ocorrência de interferentes endócrinos e produtos farmacêuticos nas águas superficiais da bacia do rio Atibaia. Campinas, 2007. 108 f. (Mestrado em Química Analítica) Universidade de Campinas.
- OGUSEITAM et al. (2009). *Science*, v. 326, p. 670-671.
- SCHROTER-KERMANI et al. (2000). *Organohalogen Compounds*, v.47, p. antrevis49-52.
- SODRÉ et al. (2010). *Microchemical Journal*, v. 96, p. 92-98.
- STUMPF et al. (1999). *The Science of the Total Environment*, v. 225, p. 135-141.

Nota do editor: os entrevistados podem ser contatados pelos seguintes meios:

Josino Costa Moreira:

Tel.: 21 2598-2968. E-mail: josinocm@fiocruz.br

Eline Simões Gonçalves:

Tel.: 21 2598-2967. E-mail: elinesg@ensp.fiocruz.br

Magda Beretta: E-mail: mberetta@ufba.br

Repassando... Patentes

Matéria de capa de grande impacto do número 735 da RQI, este tema é novamente passado em revista por pesquisador de grande prestígio nacional em sua área de atuação. Ele comenta a relevância das patentes na área de P & D.

Cláudio José de Araújo Mota, do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, coordenador do grupo Laboratório de Reatividade de Hidrocarbonetos e Catálise Orgânica (<http://www.iq.ufrj.br/larhco>) que desenvolve pesquisas nas áreas de a acidez de zeólitas, química de carbocátions, transformação química da glicerina e do etanol, conversão do CO₂ e processos para refino do petróleo e petroquímica.

RQI: Qual a importância para o país do estímulo para a geração de patentes?

Cláudio Mota: O Brasil avançou muito em termos de publicações científicas nos últimos 20 anos. Hoje, ocupamos uma posição destacada e que ainda irá subir muito, se continuarmos e aumentarmos o ritmo de formação de doutores e financiamento à pesquisa. Entretanto, a publicação científica, somente, não levará o país a alcançar um maior patamar de desenvolvimento econômico e social. O mundo é cada vez mais tecnológico e os países precisam estar atentos a estas mudanças. As patentes visam exatamente à proteção comercial dos avanços científicos, que podem no futuro se tornarem tecnologias de uso industrial.

A geração de patentes no país vem crescendo ano a ano. Em grande parte por conta da Lei da Inovação, que facilitou o acesso das empresas a financiamentos públicos a fundo perdido, e direcionou as Universidades para criarem seus Núcleos de Inovação Tecnológica (NIT), de forma a estarem preparadas para proteger as invenções produzidas pelos seus docentes e alunos. Na UFRJ, por exemplo, o NIT começou a funcionar de forma precária há cerca de 6 ou 7 anos atrás. Eu me recordo que na primeira vez que os procurei com o intuito de saber mais a respeito do processo de proteção intelectual, o NIT era composto de um coordenador e mais um ou dois funcionários, que não possuíam quase que nenhuma experiência no



tema. Hoje, o antigo NIT se transformou na Agência de Inovação da UFRJ e conta com quadros bem mais preparados e em maior número, de forma a atender a demanda que se criou na Universidade para proteção do conhecimento. Aliás, um dos pontos que precisa ser mudado para que haja mais geração de patentes nas Universidades é a mentalidade dos pesquisadores. Muitos ainda não enxergam nas patentes um instrumento de divulgação de suas pesquisas, preferindo relatá-las em periódicos científicos. Com isto, o país perde economicamente, pois o simples depósito de um pedido de patente já protege a instituição do uso comercial dos resultados das pesquisas, que após este passo, podem ser apresentados em periódicos científicos sem qualquer problema. Enfim, o Brasil precisa ser também um grande gerador de patentes, como já é de artigos científicos. Esta é a forma mais consagrada de fazer as pesquisas acadêmicas, fundamentalmente produzidas em Universidades e Institutos de Pesquisa, virarem produtos tecnológicos, que gerarão riqueza e bem estar para a população.

RQI: Em que a pesquisa acadêmica e tecnológica pode beneficiar-se com essa política?

Cláudio Mota: Eu costumo dizer que Ciência e Tecnologia são irmãs siamesas e que não podem ser

separadas. O conhecimento científico vem sempre na frente do tecnológico, mas ambos andam muito próximos um do outro. Citando um exemplo do meu grupo, em 2005 iniciamos um programa de pesquisa voltado ao aproveitamento da glicerina, coproduto de fabricação do biodiesel. Na época, não se sabia muito bem o que fazer com tanta glicerina que seria gerada com a implantação do biodiesel na matriz de combustíveis veiculares do país. Foi então que comecei a pesquisar alternativas. O início das pesquisas teve um viés mais acadêmico, pois precisávamos conhecer o assunto e ter uma noção dos problemas que poderíamos encontrar. Nesta fase, os trabalhos envolveram alunos de graduação e pós-graduação e privilegiou a divulgação científica, mas sem perder o foco na tecnologia. Na sequência, iniciamos parceria com empresas, como Repsol e Quattor (hoje parte do conglomerado Braskem) para desenvolvimento de produtos e processos específicos, a partir da glicerina. A parceria com a Quattor resultou no desenvolvimento do propano verde, a partir da hidrogenólise da glicerina, que é um processo único, sem similar em todo o mundo. Isto mostra como se pode aliar pesquisa acadêmica e desenvolvimento tecnológico. A propósito, todo o desenvolvimento do propano verde foi protegido inicialmente por patentes, no Brasil e no exterior. Somente agora é que comecei a fazer divulgação dos resultados em eventos científicos e periódicos acadêmicos.

RQI: Como você avalia a importância dada pelas agências de fomento (CAPES, CNPq, etc.) para a publicação de patentes?

Cláudio Mota: As agências de fomento estão dando importância cada vez maior à proteção intelectual, que se faz, sobretudo, pelo depósito de patentes. Muitos editais do CNPq explicitam a necessidade de parceria com empresas, o que implicitamente sinaliza para um foco maior na pesquisa visando sua utilização comercial. Isto é um grande avanço, pois em temas de forte conteúdo tecnológico, como é o

caso dos biocombustíveis, o país lucrar muito se os resultados das pesquisas forem utilizados por indústrias. O próprio CNPq criou a bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora, que é concedida a pesquisadores de Universidades que se dedicam mais a atividade de produção tecnológica, como por exemplo a geração de patentes. Isto foi uma grande mudança de paradigma no Conselho, que historicamente só reconhecia a produção acadêmica dos pesquisadores. A CAPES também vem sinalizando para a importância da publicação de patentes pelos Programas de pós-graduação. Documento recente encaminhado pelo coordenador da área de Química da CAPES, aponta exatamente para esta necessidade, como forma de valorizar os Programas de pós-graduação, sobretudo aqueles com conceito 6 e 7 no órgão, que são considerados de excelência e em nível internacional. Há de se mencionar por último, as modalidades de fomento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). O primeiro tem uma linha de fomento, voltada para projetos de parceria Universidade-Empresa chamado FUNTEC. Nesta modalidade, a empresa entra com apenas 10% do valor do projeto e o Banco financia os 90% restantes. Há temas prioritários definidos pelo Banco e o requisito para financiamento é que o projeto esteja numa etapa intermediária, já com conceito consolidado, mas ainda carecendo de desenvolvimento e otimizações. A FINEP tem uma linha de financiamento mais voltada para empresas de tecnologia, a chamada subvenção tecnológica. Esta modalidade é muito interessante, pois um novo produto ou processo desenvolvido por pesquisadores de Universidades, pode ser viabilizado industrialmente através de empresas *spin off*, criadas pelos próprios pesquisadores. Nos Estados Unidos este modelo já criou inúmeras empresas de grande porte, fundadas a partir de desenvolvimentos realizados no meio acadêmico.

Resíduos Químicos e os Rejeitos Radioativos nos Serviços de Saúde

André Luis Lopes Sinoti¹ e M. Cavalcante de Oliveira²
Gerência Geral de Tecnologia em Serviços de Saúde - ANVISA

¹andre.sinoti@anvisa.gov.br; ²marcelo.oliveira@anvisa.gov.br

Submetido em 06/11/2012; versão revisada em 06/02/2013.

Resumo

A ANVISA e o CONAMA regulamentam o gerenciamento dos resíduos dos serviços de saúde (RSS), por meio das resoluções RDC ANVISA n. 306/04 e CONAMA n. 358/05, quanto às ações de manejo internas e externas aos serviços. Normas locais vigentes devem ser observadas.

Dentre os RSS estão os resíduos químicos (Grupo B) e os rejeitos radioativos (Grupo C), e o manejo destes depende do risco e do seu estado físico.

A RDC 306/04 está em processo de revisão, para adequá-la à nova realidade, incluindo a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010.

Palavras chave: resíduos de serviços de saúde; ANVISA; CONAMA; resíduos químicos; rejeitos radioativos.

Abstract

The medical waste management is regulated by ANVISA and by CONAMA, through resolutions RDC n. 306/04 and CONAMA n. 358/05, regarding the actions of internal and external management of these services. Local regulations must be observed.

Among these medical wastes are chemical residues (Group B) and radioactive waste (Group C), and management of risk depends on their physical condition.

The RDC 306/04 is in process of review, to adapt it to the new reality, including the new National Policy on Solid Waste, implemented by Law 12.305/2010.

Keywords: medical wastes; ANVISA; CONAMA; chemical wastes; radioactive wastes.

INTRODUÇÃO

Os resíduos químicos e os rejeitos radioativos gerados nos serviços de saúde devem ser gerenciados conforme procedimentos definidos em norma estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, assim como pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. A Resolução da Diretoria Colegiada da ANVISA, a RDC n. 306/2004, dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (RSS) e a Resolução Conama n. 358/2005 dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos RSS. As competências destes órgãos federais são

complementares, no que diz respeito aos procedimentos internos e externos aos serviços geradores de RSS, respectivamente.

Conforme define a Constituição Federal, quando houver normas, leis e procedimentos vigentes nos estados, municípios e do Distrito Federal, complementares ou suplementares às regras federais, estas também devem ser observadas pelos estabelecimentos geradores dos RSS.

Para entendimento do termo vigilância sanitária, segue sua definição oficial, estabelecida pela Lei 8080 de 1990 (a Lei Orgânica da Saúde): “um conjunto de ações

capaz de eliminar, diminuir ou prevenir riscos à saúde e de intervir nos problemas sanitários decorrentes do meio ambiente, da produção e circulação de bens e da prestação de serviços de interesse da saúde”.

A RDC 306/2004 define como geradores de RSS todos os serviços relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, dentre outros similares.

Os serviços geradores de RSS devem implantar o Plano de Gerenciamento de Resíduos dos Serviços de Saúde (PGRSS), que é o documento que aponta e descreve as ações relativas ao manejo desses resíduos, observadas suas características e riscos, no âmbito dos estabelecimentos, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como as ações de proteção à saúde pública e ao meio ambiente. Esse documento deve estar sempre à disposição, para consulta da Vigilância Sanitária (VISA), dos funcionários, dos pacientes ou do público em geral.

A responsabilidade do serviço gerador dos RSS no manejo desses resíduos vai da geração à disposição final, não se extinguindo quando o resíduo deixa o serviço. Há a responsabilidade solidária com as empresas contratadas para a coleta, tratamento, disposição final, reciclagem, por exemplo, podendo o serviço ser punido quando da ocorrência de crimes ambientais.

Os sistemas de tratamento de quaisquer RSS devem ter licença ambiental, com exceção feita aos processos de autoclavagem aplicados em laboratórios

para a redução da carga microbiana de culturas e estoques de micro-organismos, porém, estes serviços devem garantir a eficácia dos equipamentos, via controles biológicos e químicos, devidamente registrados.

A fiscalização, orientação e divulgação da implantação desta RDC pelos serviços compete à Vigilância Sanitária competente, do Município, do Estado e do Distrito Federal com o apoio dos órgãos competentes de Meio Ambiente, de Limpeza Urbana, e da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

A RDC 306/2004 classifica os RSS em 5 grupos distintos, conforme o risco presente, que está relacionado com o tipo do agente existente, podendo ser: biológico, químico ou físico (radiológico ou perfurocortante). Os 5 grupos de RSS são: Grupo A (resíduo biológico), Grupo B (resíduo químico), Grupo C (rejeito radioativo), Grupo D (resíduo comum) e Grupo E (resíduo perfurocortante).

A RDC 306/2004 não especifica como devem ser feitos os processos de tratamento, assim como, qual tecnologia, pois entende-se que a análise da tecnologia de escolha cabe ao gerador, assim como compete ao órgão ambiental licenciar as atividades que dispõe sobre procedimentos e critérios utilizados para licenciamento ambiental, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 237/1999. Cabe à Vigilância Sanitária, quando fiscaliza o PGRSS, verificar se estabelecimento está com os procedimentos executados, descritos no PGRSS, assim como se o plano está em acordo com as regras locais e federais, também deve verificar se o profissional que executa o processo de tratamento está capacitado para determinada atividade, quando o tratamento for interno, assim como, verificar se a empresa contratada tem licença ambiental.

Para auxiliar os geradores em relação ao gerenciamento dos RSS, foram elaborados alguns manuais, dentre eles estão: os Manuais de gerenciamento de RSS, um pela Anvisa, e outro pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) de Minas Gerais, o Manual de gerenciamento de resíduos de mercúrio nos serviços de saúde e o Guia de resíduos dos Serviços de Hemoterapia e Hematologia, disponíveis,

respectivamente nos links <http://bit.ly/qS09nt>, <http://www.jica.go.jp/brazil/portuguese/office/publications/pdf/gerenciamento.pdf>, http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/hematologia_hemoterapia_manejo_residuos.pdf e http://www.resol.com.br/cartilha11/feam_manual_grss.pdf.

RESÍDUOS QUÍMICOS

Os resíduos químicos (Grupo B) devem ter seu manejo conforme o risco existente e o estado físico.

Resíduos perigosos

Estado sólido - tratamento térmico (exemplo - incineração), inativação (processo químico ou físico) e disposição final em aterro classe 1 (aterro para resíduos perigosos).

Estado líquido - tratamento térmico, inativação e em caso da viabilidade da solidificação do resíduos, a disposição em aterro classe 1.

Resíduos não perigosos

Estado sólido – Aterro Sanitário

Estado líquido – Aterro Sanitário ou Sistema Coletor de Esgotos com tratamento.

Os resíduos que apresentarem risco químico, quando não forem submetidos a processo de reutilização, recuperação ou reciclagem devem ser submetidos a tratamento ou disposição final específicos.

A identificação do risco químico das substâncias deve ser feita pelos símbolos apresentados pelo Sistema Globalmente Harmonizado - GHS (Globally Harmonized System), conforme exemplificado por algumas figuras vistas no quadro abaixo.

As características de cada produto químico devem ser verificadas nas Fichas de Identificação de

Segurança dos Produtos Químicos (FISPQ), quando houver. Medicamentos e cosméticos não apresentam FISPQ, devendo o risco desses produtos, ser analisado caso a caso, conforme orientação do fabricante ou na literatura científica. Os resíduos contaminados por produtos químicos devem ter seu manejo conforme o risco do produto que o contaminou, incluindo as embalagens e materiais.

Em relação aos resíduos de medicamentos, serão considerados como de risco químico aqueles resíduos contendo: produtos hormonais e produtos antimicrobianos; citostáticos; antineoplásicos; imunossuppressores; digitálicos; imunomoduladores; antirretrovirais; e os insumos farmacêuticos sujeitos a controle especial, especificados pela Portaria MS 344/98 e suas atualizações, que devem ser submetidos a tratamento ou disposição final específicos.

A solução dos reveladores, utilizados na radiologia, que contém como produtos químicos mais comuns, as substâncias metol (4-metilaminofenol) e hidroquinona (benzeno-1,4-diol 1-4 dihidroxibenzeno), somente podem descartadas no sistema coletor de esgoto, após terem neutralizados seu pH entre 7 e 9. A solução dos fixadores e as chapas fotográficas, que contém prata, devem ser encaminhadas para processo de recuperação do metal presente, sendo que no caso de resíduos sólidos podem ser encaminhados para aterros classe I, caso não haja a recuperação do metal. É comum as empresas recolherem essa solução sem cobrar do serviço, pois a prata retirada serve como o “pagamento” pelo serviço realizado.

REJEITOS RADIOATIVOS

Os rejeitos radioativos (Grupo C) são gerados



Irritante



Inflamável



Gás sob pressão



Corrosivo

quando os materiais resultantes da atenção à saúde contiverem radionuclídeos que apresentarem atividade radioativa maior do que o limite definido por norma da CNEN, devendo ser identificado pelo símbolo internacional presença de radiação ionizante (trifólio de cor magenta), conforme figura a seguir.

Símbolo internacional de radioatividade



O rejeito radioativo provém de dois tipos de instalações, as nucleares (relacionadas com as usinas nucleares) e as radioativas (as demais instalações, incluindo os serviços de saúde e centros de pesquisa).

Os rejeitos das instalações radioativas devem ser segregados conforme a sua natureza:

Rejeitos sólidos – compactáveis, não-compactáveis, incineráveis, não-incineráveis, biológicos e fontes seladas.

Rejeitos líquidos – orgânicos, inorgânicos, ácidos, alcalinos, inflamáveis, não-inflamáveis.

O decaimento do nível de radiação dos materiais radioativos está relacionado com a quantidade e a meia vida de cada radioisótopo presente. A meia vida é o tempo que leva para o elemento químico ter a sua atividade reduzida pela metade da atividade inicial.

Compete à CNEN o Licenciamento de instalações radiativas, e compreende um conjunto de atividades que visam garantir o cumprimento das normas regulatórias da CNEN e, portanto, garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear no país.

O manejo dos rejeitos radioativos deve seguir as normas da CNEN, que determina o nível de atividade radioativa que considera um resíduo como rejeito radioativo. A única forma de redução do nível de radioatividade de um determinado resíduo é o decaimento, que deve ser feito em locais devidamente

construídos para tal atividade, conforme o tipo de rejeito. Após o decaimento deste rejeito atingir um nível abaixo do valor definido pela CNEN, este resíduo deve ser reclassificado dentre os outros 4 grupos de RSS existentes, seguindo o seu manejo, e devendo obrigatoriamente ser retirado o símbolo de radiação ionizante.

O equipamento de raio X não possui material radioativo, nem gera rejeito radioativo, apesar de somente diferirem da radiação gama pela origem. Como os raios-X não saem do núcleo do átomo, não são considerados energia nuclear, sendo gerados quando elétrons são emitidos, acelerados por alta voltagem, e lançados contra átomos, sofrendo frenagem e perdendo energia. Os aparelhos de raios-X somente emitem radiação enquanto ligados.

O descarte das fontes seladas deve ser feito, conforme procedimento estabelecido pela CNEN, na presença de profissional credenciado pela CNEN, especialista no trabalho com radioisótopos.

Apesar de a radioatividade apresentar efeitos nocivos à saúde, possui várias aplicações na medicina, especificamente na Medicina Nuclear, que é uma especialidade médica que emprega fontes abertas de radionuclídeos com finalidade diagnóstica e terapêutica.

Alguns radioisótopos artificiais podem ser usados como fármacos (radiofármacos), sendo utilizados em quantidades de traços, também chamados de radiotraçadores ou traçadores radioativos. São utilizados para realizar um mapeamento dos órgãos, pois possuem a capacidade de se transportar pelo corpo e se concentrar em determinados tecidos. Desta forma, podem ser utilizados para duas finalidades: o diagnóstico de patologias e disfunções do organismo e também para a terapia de doenças, particularmente no tratamento de tumores radiosensíveis. Para cada enfermidade ou avaliação médica, a escolha do radioisótopo, da quantidade aplicada e da forma como é utilizada, deve ter como critério, a relação custo benefício.

Dentre os radionuclídeos utilizados pela medicina nuclear se incluem: iodo (I^{131} I^{123}), índio 111, gálio 67, tecnécio 99m, tálio 201 e samário 157.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

E VIGILÂNCIA SANITÁRIA

Com a aprovação da Lei 12.305/2010, que implementou a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), e o seu Decreto regulamentador, n. 7.404/2010, foram apresentadas as novas regras a serem seguidas para o gerenciamento de resíduos sólidos no país.

A Anvisa esteve representada na discussão do texto do Decreto 7.404/2010, que regulamentou a Lei 12.305/2010, visando garantir que esse Decreto estivesse de acordo com o interesse do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), tais como as regras relativas ao gerenciamento dos RSS, assim como o gerenciamento de alguns dos resíduos de transporte que incluem os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários e passagens de fronteira. A Anvisa, dentro da sua competência, regulamenta o gerenciamento destes resíduos, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada, a RDC 56/2008.

Especificamente, quanto ao gerenciamento dos RSS, o texto da RDC 306, já em 2004, foi trabalhado com base nos mesmos princípios e os objetivos utilizados pela Lei da PNRS, sendo alguns destes listados a seguir.

Princípios: a prevenção e a precaução; o poluidor-pagador e o protetor-recebedor; a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; e o desenvolvimento sustentável.

Objetivos: proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos; incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; gestão integrada de resíduos sólidos; articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à

cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos; e capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos.

O Decreto nº 7.404/2010 instituiu e delegou ao Comitê Interministerial, composto por 12 Ministérios e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA, a responsabilidade de coordenar a elaboração e a implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. A Anvisa participou da elaboração deste Plano, em relação ao gerenciamento dos RSS e dos resíduos de transportes. A partir deste plano nacional, os planos estaduais, regionais e municipais devem se basear, para fazerem seus planos locais de gerenciamento destes resíduos, conforme as suas especificidades para que possam, por exemplo, ter acesso a recursos da União. O Plano Nacional foi lançado no mês de março último e em relação ao gerenciamento dos RSS apresenta Diretrizes, Estratégias e Metas. A Diretriz apresentada para os RSS foi: Fortalecer a gestão dos resíduos de serviços de saúde nos estabelecimentos. As Estratégias apresentadas foram:

1. Elaboração de manuais visando à compatibilização entre as diretrizes da PNRS; e normativos do Conama e Anvisa, no que se refere às exigências de elaboração de PGRSS;
2. Intensificação das ações de capacitação para públicos interessados, ou seja, profissionais de saúde e meio ambiente; e
3. Intensificação das ações de fiscalização dos serviços de saúde.

O PGRSS, conforme a definição política local deve estar inserido no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) local.

No caso dos serviços de saúde geradores de resíduos perigosos, o PGRSS deve ser submetido também ao órgão ambiental local competente, para verificar qual o tipo de licença ambiental necessária para o funcionamento deste estabelecimento.

Alguns importantes artigos do Decreto 7404/2010, quanto aos resíduos perigosos, destacados aqui são relativos: à discussão da forma de implantação, pelos Órgãos Ambientais e SNVS, quanto ao

funcionamento das atividades que gerem resíduos perigosos, a partir de autorização dos órgãos competentes, depois de comprovação da capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos; e à obrigação de se cadastrarem no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos (CNORP).

Estas duas questões terão que ser resolvidas em cada localidade, pelos Órgãos Ambientais e as Vigilâncias Sanitárias, para verificar a forma de sua implantação, sendo que o CNORP deverá ser composto baseado nas informações dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Perigosos, no relatório específico anual do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, entre outras fontes.

A PNRS determinou a criação da Logística Reversa (LR), como sendo um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Os sistemas de LR devem ser implementados e operacionalizados por meio dos seguintes instrumentos: acordos setoriais; regulamentos do Poder Público; ou termos de compromisso. Os grupos de resíduos obrigatórios que terão de implementar a LR são: pilhas e baterias; agrotóxicos; pneus; lâmpadas fluorescentes; óleos lubrificantes; e eletroeletrônicos.

Pela PNRS exige-se que todos os planos, incluindo os PGRSS, adotem a segregação seguindo os programas de LR a serem implantados, principalmente quanto aos eletroeletrônicos, medicamentos, lâmpadas fluorescentes, embalagens em geral e recipientes, sobras de óleo lubrificantes e medicamentos, que já estão sendo discutidos no momento, pelo Comitê Orientador (CORI) da Logística Reversa, coordenado pelo MMA.

Apesar de os resíduos de medicamentos não estarem citados dentre os grupos obrigatórios da LR pela PNRS, como a Anvisa já estava discutindo esta questão,

desde antes da aprovação da PNRS, foi proposto ao CORI a criação de um Grupo Temático de Trabalho (GTT) sobre a LR de medicamentos. Desta forma, a Anvisa está sendo o órgão articulador das reuniões de todos os setores envolvidos nesta discussão, em nível nacional, assim como, fomentando as discussões nos estados, para a implantação dos modelos de LR locais que serão implantados na forma de campanhas, até o final do ano, antes de ser discutida proposta final no CORI.

Outra questão que auxiliará em muito a melhoria no gerenciamento dos RSS, foi que a PNRS estabeleceu o prazo de 4 anos, a partir de sua publicação em agosto de 2010, para que sejam implementados aterros sanitários, em conjunto com a Coleta Seletiva. Estas condições, quando implantadas, mesmo que demorem mais do que os 4 anos estabelecidos, auxiliarão aos geradores de RSS na opção de disposição final em aterros de alguns dos RSS explicitados na RDC 306/2004, assim como tende a diminuir a quantidade de RSS gerados que precisam ser encaminhados para tratamento.

REVISÃO DA RDC 306/2004

Passados mais de 7 anos da elaboração da RDC 306/2004, e também devido à nova PNRS, houve a necessidade da revisão dessa RDC, que está em fase de discussão em um Grupo de Trabalho (GT), coordenado pela Gerência Geral de Tecnologia em Serviços de Saúde – GGTS, da Anvisa. Participam desse GT representantes de vários dos setores envolvidos no gerenciamento dos RSS, tais como: ABLP, ABETRE, ABRELPE, SINDLAB, CGVAM/MS, CSGH/MS, MMA, SINDUSFARMA, assim com várias áreas internas da Anvisa. A perspectiva, é que o texto da nova RDC esteja disponível para Consulta Pública para todos os interessados, no 1º semestre de 2013, estando finalizado no 2º semestre.

Uma das modificações que está sendo cogitada é a substituição da lista de classes farmacêuticas por uma lista de princípios ativos considerados por instituições reconhecidas internacionalmente, por apresentarem as seguintes características: Carcinogenicidade; Teratogenicidade ou Toxicidade do Desenvolvimento; Toxicidade Reprodutiva; Genotoxicidade

(mutagenicidade e clastogenicidade); Evidências de toxicidade grave a órgãos e sistemas em baixas doses; ou Disrupção Endócrina. Tal lista já se encontra disponível na Portaria da Coordenação de Vigilância Sanitária – CVS do Estado de São Paulo, na Portaria CVS 21 de 2008.

SIGLAS

ABLP – Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública

ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e de Resíduos Especiais

ABETRE – Associação Brasileira das Empresas de Tratamento de Resíduos

SINDLAB – Sindicato dos Laboratórios de Patologia, Pesquisa e Análises Clínicas

SINDUSFARMA – Sindicato das Indústrias de Produtos Farmacêuticos do Estado de São Paulo

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CGVAM/MS – Coordenação Geral de Vigilância Ambiental

CSGH/MS – Coordenação do Sangue e Hemoderivados

MS – Ministério da Saúde

MMA – Ministério do Meio Ambiente

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

CVS/SP – Coordenação de Vigilância Sanitária

BIBLIOGRAFIA

Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>.

Decreto 7404/2010, que regulamenta a PNRS. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm.

Resolução da Diretoria Colegiada da ANVISA n. 306/2004, Resíduos de Serviços de Saúde. Disponível em: http://www.anvisa.gov.br/divulga/noticias/2008/revista_anvisa-060508.pdf.

Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente n. 358/2005, Resíduos de Serviços de Saúde. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2005_358.pdf

Manual de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde. Editora ANVISA, Brasília - DF, 2006, 189 pp. Disponível gratuitamente em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_gerenciamento_residuos.pdf

Cussioli, N. A. M., Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. – Fundação Estadual do Ambiente de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008, 88 pp. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/arquivos/minassemblixoes/cartilha_rss_alta.pdf



SIMPEQUI

**Simpósio Brasileiro
de Educação Química**

Informações:
www.abq.org.br/simpequi

**A Química Verde
no Universo Educacional**

Teresina

28 a 30 de julho de 2013

Trabalhos: 2 de junho

Avaliação da Redução de Toxicidade em Efluentes Industriais

Roberto Augusto Caffaro Filho
Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas

e-mail: roberto@ctec.ufal.br

Submetido em 18/10/2012; versão revisada em 03/02/2013.

RESUMO

Efluentes industriais respondem por grande parte das emissões de poluentes químicos tóxicos. O controle desta toxicidade consolidou-se na legislação brasileira na década passada. Efluentes industriais podem ter sua toxicidade reduzida através do procedimento denominado Avaliação da Redução de Toxicidade. Deve-se levantar dados, diagnosticar e otimizar o sistema de tratamento de efluentes, avaliar e identificar os agentes causadores da toxicidade, identificar as fontes para controle ou modificação do processo produtivo, implementar as mudanças necessárias, e finalmente, monitorar e confirmar os resultados esperados. Apresento estudo de caso em uma indústria química orgânica e discuto o panorama brasileiro relacionado ao assunto.

Palavras-chave: Testes de toxicidade, Tratamento de efluentes, Ecotoxicologia aquática

ABSTRACT

Industrial effluents are responsible for the emission of toxic chemical pollutants. The control of industrial effluent toxicity was consolidated in Brazilian legislation in the last decade. Industrial effluents may have their toxicity reduced through the procedure called Toxicity Reduction Evaluation. It is necessary to collect data, diagnose and optimize the wastewater treatment system, evaluate and identify the toxicants, identify sources to control or to modify the production process, implement the necessary changes, and finally, monitor and confirm the expected results. I present a case study in an organic chemical industry and discuss the Brazilian outlook related to the subject.

Keywords: Toxicity tests, Wastewater treatment, Aquatic ecotoxicology

INTRODUÇÃO

A sobrevivência e o desenvolvimento da humanidade dependem de condições ambientais favoráveis e estáveis. Nos últimos 10 mil anos, a Terra forneceu essas condições, e chegamos a mais de 7 bilhões. Porém, desde a revolução industrial, as atividades humanas tem sido o principal vetor de modificações ambientais no planeta, a ponto de comprometer a estabilidade que permitiu às civilizações humanas surgirem e se desenvolverem nos últimos milênios (Rockström *et al.*, 2009).

As emissões antrópicas de poluentes orgânicos persistentes, metais pesados, e outros agentes tóxicos, afetam o funcionamento do sistema do nosso planeta e ameaçam o bem-estar de outras espécies e a disponibilidade de ar, água, solo e alimentos limpos. A

concentração desses poluentes no ambiente causa efeitos danosos aos organismos vivos e aos processos biológicos.

A toxicologia ambiental é a ciência que estuda o destino dos agentes tóxicos, de seus metabólitos e de seus produtos de degradação no ambiente e nas cadeias alimentares, bem como os efeitos destes contaminantes sobre os organismos e as populações, inclusive a população humana. Portanto, a toxicologia ambiental é multidisciplinar, e envolve diversas áreas de estudo, como biologia, química (orgânica, analítica e bioquímica), anatomia, genética, fisiologia, microbiologia, ecologia, ciências do solo, água e atmosfera, epidemiologia, estatística e legislação (Costa *et al.*, 2008).

Testes de toxicidade (ou bioensaios) são ferramentas essenciais em ecotoxicologia aquática, uma

subárea da toxicologia ambiental. São ensaios laboratoriais utilizados para estimar a toxicidade de substâncias, efluentes industriais e amostras ambientais (águas ou sedimentos). Organismos-teste são expostos a diferentes concentrações de amostra, sob condições experimentais específicas e controladas, e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados.

TOXICIDADE DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Efluentes industriais são os principais responsáveis pela emissão de agentes tóxicos no ambiente. Inicialmente, caracterização de efluentes industriais era baseada somente em análises físico-químicas, como por exemplo, sólidos em suspensão, cor e DBO. Mais tarde, compostos tóxicos começaram a ser monitorados por meio de análises químicas específicas, principalmente os contaminantes que a agência ambiental americana definiu como prioritários (Burkhard e Ankley, 1989).

Porém, análises químicas específicas podem falhar completamente em reconhecer os constituintes responsáveis pela toxicidade de um efluente, pois nesse caso, os contaminantes analisados precisam ser definidos previamente, e é possível que os principais causadores do efeito tóxico sejam contaminantes pouco usuais. Além disso, análises químicas específicas não discriminam os efeitos das interações entre os contaminantes presentes (Reemtsma, 2001).

Logo, a caracterização de efluentes através de testes de toxicidade tornou-se uma alternativa bem estabelecida. Apesar disso, os testes de toxicidade não substituem as análises químicas específicas. Ambos são, na verdade, complementares. Isso fica evidente na abordagem desenvolvida nos anos 80, chamada de “análise orientada por toxicidade”, ou “orientada por bioensaios”, ou ainda, “orientada por efeitos”. Esta abordagem combina tratamentos físicos e químicos da amostra, seguidos de testes de toxicidade e análises químicas específicas (Brack, 2003). Um pouco mais adiante irei detalhar essa abordagem, que é chave para a redução de toxicidade em efluentes industriais.

LEGISLAÇÃO

Durante as últimas décadas, o controle de poluição industrial passou por uma vasta transformação. A regulamentação evoluiu em conjunto com as tecnologias aplicáveis, visando garantir uma qualidade de

água cada vez melhor. Ao longo do caminho, foram impostas limitações a contaminantes específicos nos efluentes industriais, bem como à toxicidade destes efluentes como um todo. O desafio hoje é o atendimento dessas novas limitações de uma forma que seja aceitável ambientalmente, e ao mesmo tempo, economicamente viável (Eckenfelder, 2000).

No Brasil, o lançamento de efluentes industriais é regulamentado na esfera federal pela Resolução CONAMA 430/2011, que complementa e altera a Resolução CONAMA 357/2005. A CONAMA 430/2011 limita a concentração de parâmetros convencionais e alguns contaminantes não convencionais nos efluentes lançados, e reza que o efluente não poderá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor. Isso já era previsto na Resolução CONAMA 357/2005, que também já incorporava a toxicidade como critério para o enquadramento dos corpos hídricos superficiais.

Porém, a Resolução 430/2011 inovou ao estabelecer, na esfera federal, diretrizes para avaliação do efeito tóxico dos efluentes no corpo receptor. A definição dos critérios para avaliação de toxicidade em efluentes industriais era, até então, prerrogativa dos órgãos ambientais estaduais. Mas somente alguns estados possuem legislação específica, como por exemplo, Rio Grande do Sul e São Paulo.

Uma situação emblemática é a do Rio Grande do Sul. A Resolução CONSEMA 129/2006 definiu critérios e padrões para emissão de toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais no estado. Esta regulamentação instituiu prazos para adequação das fontes poluidoras aos limites impostos. Na maioria dos casos, a redução da toxicidade dos efluentes industriais não aconteceu ou foi insuficiente, o que levou o CONSEMA a prorrogar os prazos outrora estabelecidos através da Resolução CONSEMA 251/2010.

REDUÇÃO DE TOXICIDADE EM EFLUENTES INDUSTRIAIS

As causas da toxicidade em efluentes industriais podem ser diversas. As características das águas residuárias variam de uma indústria para outra, mesmo no caso de indústrias pertencentes a uma mesma categoria. Podem inclusive variar muito até mesmo entre diferentes linhas de produção dentro de uma mesma indústria. Somam-se a essas variações as flutuações diárias de vazão e composição.

Tabela 1 - Tratamentos mais utilizados em Avaliação e Identificação de Toxicidade, e alguns exemplos de compostos que podem ser removidos através de cada tratamento

Tratamento		Compostos removidos ou neutralizados
<i>Redução</i>	Adição de um agente redutor (ex. tiosulfato de sódio) para redução de oxidantes	Cloro
<i>Quelação</i>	Adição de agentes quelantes (ex. EDTA)	Metais potencialment e tóxicos
<i>Adsorção</i>	Carvão ativado pode ser utilizado (e depois filtrado) para adsorver agentes tóxicos	Compostos orgânicos pouco solúveis em água
<i>Ajuste de pH</i>	Manipulação do pH da amostra. Os testes descritos abaixo podem ser combinados com o ajuste de pH	Ácidos ou Bases
<i>Degradação</i>	Testes de uma mesma amostra ao longo do tempo podem mostrar se há degradação do agente tóxico em função do tempo	
<i>Aeração</i>	Arraste com ar fornece informações sobre a volatilidade do agente tóxico, ou se o mesmo é oxidável	H ₂ S, NH ₃ , compostos orgânicos voláteis
<i>Filtração</i>	Informa se o efeito é causado por materiais insolúveis, ou que se precipitam com a mudança de pH	
<i>Troca iônica</i>	Testes após passagem da amostra por resinas específicas	Cátions ou ânions

Este quadro demonstra o desafio para a redução da toxicidade em efluentes industriais, que é único para cada unidade industrial considerada.

Caso o efluente de uma indústria não atenda aos critérios e padrões para emissão de toxicidade da legislação aplicável, é preciso encontrar uma forma de reduzir essa toxicidade. Para tanto, utiliza-se o procedimento denominado Avaliação da Redução de Toxicidade, termo que foi cunhado originalmente em inglês (*Toxicity Reduction Evaluation - TRE*). Uma Avaliação da Redução de Toxicidade pode ser sumarizada da seguinte maneira (Vaccari *et al.*, 2006):

- Levantamento de dados
- Diagnóstico e otimização do sistema de tratamento

- Avaliação e Identificação de Toxicidade
- Identificação da(s) fonte(s) de toxicidade para controle e/ou modificação do processo produtivo
- Implementação
- Monitoramento e confirmação

Este procedimento foi padronizado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA no final da década de 80 (Fava *et al.*, 1989). Trata-se de uma abordagem integrada, multifacetada e multidisciplinar. Para realizá-la, uma mudança de mentalidade na indústria é necessária. É preciso abandonar a política de fim-de-tubo (*end-of-pipe*), onde os resíduos produzidos são reunidos sem critério, para tratamento em conjunto em um único sistema. Também é necessário o entrosamento entre os colaboradores do setor produtivo e do setor de meio ambiente. Por fim, aplicar metodologia científica ao procedimento é nada menos do que essencial.

Focarei aqui em apenas um destes passos, a Avaliação e Identificação de Toxicidade (*Toxicity Identificatio Evaluation - TIE*), que a meu ver é o mais importante e interessante.

AVALIAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE TOXICIDADE

A Avaliação e Identificação de Toxicidade é um procedimento para identificar a(s) substância(s) específica(s) causadora(s) da toxicidade do efluente. Caso não se consiga chegar à identificação específica, o que acontece em muitos casos, no mínimo as propriedades físico-químicas do(s) agente(s) tóxico(s) devem ser obtidas. Com essa informação, já é possível reduzir a toxicidade do efluente através de modificações no processo de tratamento e/ou produtivo.

O procedimento é composto por três fases, onde a causa da toxicidade é caracterizada, identificada e confirmada (Vaccari *et al.*, 2006):

- *Fase I.* Para caracterizar a toxicidade, é preciso determinar as características físico-químicas de seu(s) agente(s) causador(es). Deve-se realizar uma série de tratamentos, em escala de bancada, em uma amostra representativa do efluente. Cada um desses tratamentos é específico para uma classe de substâncias químicas. Esse processo é denominado 'fracionamento'. Então, testes de toxicidade são feitos em cada fração tratada do efluente, e os resultados são comparados com a toxicidade do efluente não tratado. Na Tabela 1 são mostrados os tratamentos mais utilizados em procedimentos de Avaliação e Identificação de toxicidade. Os resultados da Fase I devem sugerir uma

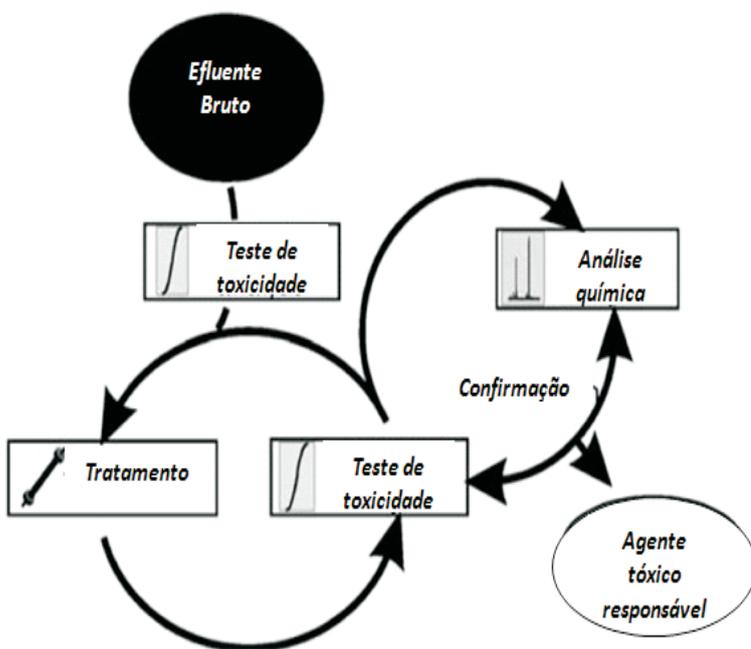
maneira de eliminar o problema. Caso contrário, o procedimento segue para as fases subsequentes.

- *Fase II.* Análises químicas direcionadas pelos resultados da Fase I são utilizadas para identificar agentes tóxicos específicos. Tal identificação é realizada geralmente através de métodos instrumentais como: Cromatografia Gasosa/ Espectrometria de Massas (CG/EM) para compostos orgânicos voláteis ou semi-voláteis; Cromatografia Líquida (HPLC) para compostos não-voláteis; Espectrofotometria de Absorção Atômica ou Espectrofotometria de Emissão Óptica em Plasma Induzido para metais potencialmente tóxicos; entre outros.

- *Fase III.* A identificação realizada na fase anterior pode ser confirmada de várias formas: comparação da curva dose-resposta do efluente com dados da literatura; adição de concentrações conhecidas do agente tóxico ao efluente tratado a fim de reproduzir o efeito tóxico observado originalmente; detecção de correlação entre a toxicidade do efluente e a concentração do agente tóxico identificado; entre outras.

Após a identificação da(s) causa(s) da toxicidade do efluente, a fonte pode ser identificada e removida, ou o processo de tratamento pode ser modificado para remover as substâncias tóxicas. Na Figura 1 é mostrado um diagrama esquemático de uma Avaliação e Identificação de Toxicidade.

Figura 1. Esquema geral de uma Avaliação e Identificação de Toxicidade, adaptado de Brack (2003)



ESTUDO DE CASO: INDÚSTRIA QUÍMICA ORGÂNICA

Durante meu doutorado, realizei uma Avaliação e Identificação de Toxicidade em um efluente de uma indústria química orgânica, produtora de resinas de poliéster. O interesse surgiu graças à alta toxicidade deste efluente, evidenciada em testes de tratabilidade realizados antes da construção de uma ETE para tratar o efluente na própria indústria, pois o mesmo era tratado em uma grande ETE de uma concessionária de saneamento. O efluente desta indústria é uma mistura de diversas águas de processo resultantes de reações de esterificação, que diferem entre si quanto às matérias-primas utilizadas. Há pouca literatura específica sobre os efluentes desse tipo de indústria. Não era possível determinar *a priori* qual processo de tratamento seria o mais indicado, como seria no caso de outras categorias industriais com tecnologias de tratamento mais consolidadas. A falta de conhecimento sobre as fontes e a natureza da toxicidade presente no efluente justificou a realização do procedimento de Avaliação e Identificação de Toxicidade.

Um teste de toxicidade respirométrico em lodo ativado foi utilizado para avaliar a toxicidade do efluente (OECD, 1984). Foram efetuados diversos tratamentos físicos e químico em escala de bancada para fracionamento do efluente, e após cada um deles, realizou-se o mesmo teste de toxicidade. A maior redução de toxicidade (62,5%) foi observada após o tratamento por arraste com ar em pH 11. Este resultado demonstrou que uma fração significativa da toxicidade do efluente para lodo ativado era causada por compostos orgânicos volatilizados em pH 11. Ou seja, o tratamento do efluente por arraste com ar em pH básico poderia ter impacto positivo em um tratamento biológico aeróbio subsequente (Caffaro-Filho *et al.*, 2009).

Depois de determinar que compostos orgânicos voláteis eram responsáveis por grande parte da toxicidade do efluente, empreendi esforços analíticos visando a identificação de tais compostos. Análises do efluente por Cromatografia Gasosa/ Espectrometria de Massas identificaram a presença de uma série de aldeídos insaturados (congêneres de acroleína) no efluente. Tais compostos aparentavam ter relação direta com o efeito tóxico observado (Caffaro-Filho *et al.*, 2010). Esta identificação foi confirmada de uma maneira pouco usual, com testes de genotoxicidade (testes de Ames) no efluente antes e após o tratamento por arraste com ar em

pH 11 (que removeria os aldeídos insaturados). Estes compostos são reconhecidamente genotóxicos, e sua remoção diminuiu a genotoxicidade do efluente, confirmando assim a sua identidade. O estudo também forneceu evidências suficientes de que os compostos tóxicos seriam volatilizados no tanque de aeração de um sistema de lodos ativados (Caffaro-Filho *et al.*, 2011), podendo causar exposição de operadores e trabalhadores. O responsável na indústria foi alertado.

Considerando um possível tratamento anaeróbio desse efluente, onde a volatilização de compostos tóxicos seria bem menor, foram realizados testes de toxicidade com microrganismos anaeróbios provenientes de um reator UASB. Comparando esses resultados aos obtidos com lodo ativado, verifiquei que os aldeídos insaturados, removidos por arraste com ar em pH 11, não apresentaram o mesmo grau de toxicidade para a biomassa anaeróbia. Concluí que a utilização de processo de tratamento biológico anaeróbio poderia ser uma opção adequada para a condução de futuros estudos de tratabilidade deste efluente (Caffaro Filho, 2008).

PANORAMA BRASILEIRO

Desde a década passada, a legislação no Brasil coloca a toxicidade como uma das principais vertentes de qualidade para enquadramento de corpos hídricos, e como condição para a outorga de lançamento de efluentes. A toxicidade é sem dúvida uma ferramenta essencial para avaliar e monitorar os impactos ambientais. Portanto, se o controle de toxicidade em efluentes industriais encontra-se consolidado, a demanda pela Redução de Toxicidade em Efluentes já é um fato.

Reduzir a toxicidade de efluentes industriais é uma tecnologia a serviço da sustentabilidade, e contribui para uma produção industrial cada vez mais limpa. Porém, me pergunto se a indústria brasileira já está preparada. E também, se há disponibilidade suficiente de profissionais, ou melhor, de *grupos multidisciplinares* de profissionais, capacitados para conduzir com êxito tais investigações. Precisamos de químicos, biólogos, engenheiros de distintas formações, economistas, juristas, todos com alto grau de especialização. Questiono ainda se há capacidade suficiente nos órgãos ambientais para supervisionar, com qualidade, todos os processos.

Em minha opinião, a resposta para todas estas perguntas é: ainda não. É o que indica a prorrogação dos prazos de atendimento à legislação no Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

- Brack W. Effect-directed analysis: a promising tool for the identification of organic toxicants in complex mixtures? *Anal Bioanal Chem.* 2003;377:397-407.
- Burkhard LP, Ankley, GT. Identifying toxicants: NETAC's toxicity-based approach. *Environ Sci Technol.* 1989;23:1438-1443.
- Caffaro Filho, RA. Avaliação e identificação de toxicidade em efluente da fabricação de resinas de poliéster [Tese]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos; 2008.
- Caffaro-Filho RA, Morita DM, Wagner R, Durrant LR. Toxicity-directed approach of polyester manufacturing industry wastewater provides useful information for conducting treatability studies. *J Haz Mat.* 2009;163:92-7.
- Caffaro-Filho RA, Wagner R, Umbuzeiro GA, Grossman MJ, Durrant LR. Identification of α -unsaturated aldehydes as sources of toxicity to activated sludge biomass in polyester manufacturing wastewater. *Water Sci Technol.* 2010;61:2317-2324.
- Caffaro-Filho RA, Grossman MJ, Durrant LR. Volatilization of toxic α , β -unsaturated aldehydes compounds during activated sludge treatment of polyester manufacturing industry wastewater. *Environ Eng Sci.* 2011;28:415-9.
- Costa CR, Olivi P, Botta CM, Espindola ELG. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Quim Nova.* 2008;31:1820-1830.
- Eckenfelder WW. *Industrial Water Pollution Control.* 3^a ed. Boston: McGraw Hill; 2000.
- Fava JA, Lindsay D, Clement WH, Clark R, et al. Generalized methodology for conducting industrial toxicity reduction evaluations (TREs). Cincinnati: U.S. Environment Protection Agency, Risk Reduction Engineering Laboratory; 1989. Report N^o EPA/600/2-88/070. Contract N^o 68-03-3248.
- OECD. Activated sludge, respiration inhibition test. Guidelines for Testing of Chemicals, OECD Method 209. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development; 1984.
- Reemtsma T. Prospects of toxicity-directed wastewater analysis. *Anal Chim Acta.* 2001;426:279-287.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, et al. A safe operating space for humanity. *Nature.* 2009;461:472-5.
- Vaccari DA, Strom PF, Alleman JE. *Environmental biology for engineers and scientists.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2006.

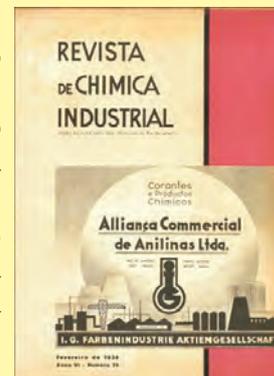
Aconteceu

Há 75 anos atrás (ano 6, número 70, fevereiro de 1938)

Cooperação entre as indústrias e as universidades

(por Francisco de Moura, químico industrial)

A cooperação de pesquisas entre as universidades e as indústrias tem se desenvolvido de maneira diversa, tanto em orientação como em intensidade nos diferentes países. Numerosos e variados têm sido também os planos e sugestões para maior eficiência de tão necessário empreendimento. (...). As “fellowships” [bolsas de estudo] destinam-se a promover sob a direção de técnicos idôneos pesquisas as mais variadas, mantendo os estudantes e graduados mais aproveitáveis numa sadia atmosfera de estudo. (...) Os americanos consideram o instituto do “fellowship” como o meio mais directo para incrementar e manter o espírito de cooperação entre as universidades e a indústria. (...) Não há indústria que não se preocupe em melhorar cada vez mais seu grau de eficiência. Reconhecem os países mais adiantados a importância capital das pesquisas técnicas. Com efeito, em 1925, a Divisão de Química e Química Tecnológica do “National Research Council” encorajou toda cooperação possível entre as indústrias e as universidades.



UM LIVRO EXTRAORDINÁRIO! Processos da Indústria Moderna

QUE ACABA DE SAIR, INTERESSA VIVAMENTE

AOS INDUSTRIAES,
AOS AGRICULTORES,
AOS QUÍMICOS,
AOS TÉCNICOS,
AOS CIENTISTAS,
AOS ECONOMISTAS,
AOS HOMENS CULTOS,
AOS HOMENS PRÁTICOS.

Livro encadernado em pano couro, no formato de 16 x 23,5 cent., com 117 páginas, editado no Rio de Janeiro em dezembro de 1937. Escrito pelo Químico Industrial Jayme Sta. Rosa, director da REVISTA DE QUÍMICA INDUSTRIAL e da REVISTA ALIMENTAR

Há 25 anos atrás (ano 56, número 665, fevereiro de 1988)

Associação Brasileira de Química, Seção Regional do Rio Grande do Sul: 50 anos de história

O encontro dos ex-presidentes da Seção Regional, no Hotel Embaixador, no dia 23 de junho de 1987, constituiu-se num marco na história da Seção Regional do Rio Grande do Sul. Presentes diversas gerações de químicos gaúchos, que confraternizaram em torno do cinquentenário da ABQ regional.



Primeiro Simpósio do Rio de Janeiro sobre Espectrometria de Absorção Atômica com Atomização em Fornos

Pela primeira vez, um simpósio internacional sobre espectrometria de absorção atômica com atomização em fornos está planejado para ocorrer na América do Sul. O simpósio do Rio de Janeiro (18 a 23 de setembro de 1988) apresentará desenvolvimentos recentes, bem como uma revisão do progresso da técnica, trinta anos após a sua introdução em 1958.

Há 50 anos atrás (ano 32, número 370, fevereiro de 1963)

Engenharia e Química – oração de Paraninfo

(Rubem de Carvalho Roquette, Prof. da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica – aos formandos de engenharia mecânica da turma de 62)
Neste ambiente de paz e de matas sempre verdes que Grandejan de Montigny, o famoso arquiteto, descobriu e escolheu para sua morada nos idos do século passado [XIX] que as construções modernas da Universidade [PUC-RJ] engrandeceram, e a juventude alega e enche de risos, há um esforço permanente de professores e alunos por uma causa comum: a boa formação de engenheiros. Sabeis que a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro é obra de poucos anos. Nasceu sob o signo da fé que alguns homens de boa-vontade puseram no audaz empreendimento. Surgiu pequena nas suas conformações materiais, porém iluminada pela centelha que é o ponto de partida das realizações imorredouras (...).

Nova tabela de massas atômicas

A União Internacional de Química Pura e Aplicada adotou em agosto de 1961 nova base para o cálculo das massas atômicas, que é a massa do isótopo principal do carbono, o carbono 12. Dessa forma, ficam suprimidas as diferenças que existiam entre as massas atômicas usadas pelos químicos e físicos. (...) Os valores que se acham na nova tabela (em vigor desde janeiro de 1962) diferem da baseada no oxigênio natural de cerca de 40 ppm, e da baseada no oxigênio 16, de cerca de 300 ppm.

Brasil, um exemplo para o mundo

“UM GRANDE PAÍS QUE VIVE BEM E FELIZ EM PLENA ANARQUIA”

Um periódico do Rio de Janeiro (Boletim Comercial, do Monitor Mercantil S. A.) divulgou na edição de 8 de novembro de 1961 as impressões que um professor asiático, Ala-ind-idin Mohamed, teria publicado em Anais da Faculdade de Ciências Políticas e Econômicas da Universidade de Bombaim. Reproduzimo-las como matéria humorística, mas pela comicidade que provoca o riso pelo inesperado. (...)“



Com mais de 70 milhões de habitantes, com uma área quase igual à da Europa, o Brasil não tem Governo, ou melhor, tem dois governos, mas nenhum deles governa e, apesar disto tudo marcha bem e todos são alegres e felizes. Aborrecidos por estarem sendo impedidos de trabalhar, contrabandistas, exploradores de jogos e outros divertimentos, e também fornecedores e empreiteiros do Governo uniram-se e forçaram a expulsão do Presidente Quadros.

Em seu lugar forma criados dois governos, um que obedece ao Presidente da República e outro que é chefiado pelo presidente do Conselho de Ministros.(...) Graças à dualidade de Governo, não existe governo algum.

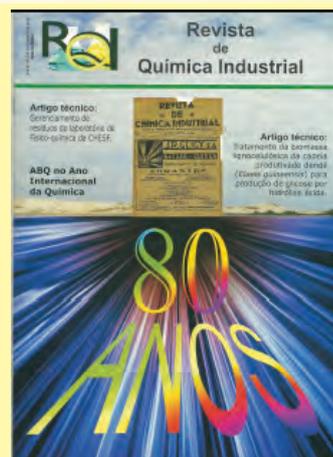
Todos, Presidente da República, ministros, senadores e deputados, nada tendo que fazer, usam os aviões do Governo para passeios, indo da nova capital (tôda de vidro, no interior do país) para a velha capital (construída sobre o Oceano Atlântico). Todos só cuidam de dar empregos às pessoas de sua afeição. O povo paga os impostos sem discutir. (...) Em 20 anos o salário-mínimo cresceu 6 mil por cento e os preços, 6.200 por cento, crescimentos que se equilibram, como se vê. Dentro de vinte anos, salários e preços terão crescido de 20 mil por cento. Que mal haverá nisso? O importante é que cada um tenha o que comer, não sendo necessário que seja muito, porque o clima quente permite viver com pouca comida. (...)

Há 1 ano atrás (ano 80, número 734, 1º trimestre de 2012)

RQI 80 anos

(editorial de Júlio Carlos Afonso)

Fevereiro de 1932. Circulava o primeiro número da Revista de Química Industrial (RQI). Fruto do idealismo de Jayme da Nóbrega Santa Rosa (1903-1998) (...) estampava desde o seu primeiro editorial o objetivo daquela publicação: promover o progresso do país através de uma sólida interação entre a ciência química e a indústria, significando o futuro de muitas gerações do povo brasileiro. (...) Talvez o maior presente para esta publicação octagenária tenha sido a entrada no ar em janeiro de 2012 de seu portal (www.abq.org.br/rqi), o que alinha a RQI às modernas revistas de todas as áreas do conhecimento, e pode ser considerado um passo crucial para a ABQ revitalizar seu plantel de publicações, indispensável num momento em que a publicação de trabalhos é um importante alicerce para as pós-graduações brasileiras e um fator de realização de seus autores.



Da Gestão Tecnológica à Análise em Redes: Uma Nova Possibilidade

Paulo Emanuel de Alencar Imbuzeiro e José de Arimatéia Dias Valadão

Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

E-mail: paulo.imbuzeiro@itcglobal.com.br

Submetido em 01/11/2012; versão revisada em 05/02/2013.

Resumo

Este artigo procura sugerir que para pensar em gestão tecnológica hoje é necessário considerar as redes que formam e reformam os processos organizativos. As tecnologias, inclusive, têm se apresentado muito mais como potenciais transformativos dessas redes do que propriamente artefatos prontos para serem difundidos e replicados. Nossa opinião é que devemos deixar de dar ênfase à tecnologia em si e no modo como ocorre sua gestão, para pensar nas redes, como processos contínuos, dinâmicos e por que não dizer, complexos, que asseguram a difusão ou não, dos nossos desenvolvimentos tecnológicos.

Palavras-chave: gestão; tecnologia; redes.

Abstract

This article seeks to suggest that thinking in technology management today is necessary to consider the networks that form and reform organizational processes. The technologies have even been presented as much transformative potential of these networks than actually artifacts ready to be disseminated and replicated. Our opinion is that we should stop giving emphasis to technology itself and how its management is to think of networks as continuous processes, dynamic and dare we say, complex, ensuring diffusion or not, of our technological developments.

Keywords: management; technology; networks.

Algumas considerações sobre gestão tecnológica

Escrever um ensaio de opinião é sempre difícil. É comum esperar de um texto nesse formato, a partir de um ponto de vista, que mostre como alguma coisa “deve ser”. No nosso caso aqui, como gerir tecnologias que promovam novos negócios, produtos e processos inovadores, limpos e eficientes, em conformidade com as temáticas debatidas e defendidas por instituições como a ABQ. Mas não será nosso caso aqui, nosso texto caminhará muito mais para mostrar como nossas tendências em pesquisas na Ciência e Tecnologia tem evidenciado a relevância de começarmos a considerar “o que somos” nessa busca pelo “dever ser” sustentável. Ou seja, somos tramas inconsúteis, como disse Latour, que impossibilita pensarmos nos nossos resultados, sem compreendermos as redes que formam e informam sobre nós mesmos e sobre nossas pretensões.

A Ciência e tecnologia, sem sombra de dúvida, têm se tornado elementos chaves do século XXI. A aposta é que, conjuntamente, a ciência e a tecnologia reúnam as

condições necessárias para mudar o catastrófico cenário herdado do final do século XX, principalmente em termos de seguridade da vida e das condições econômicas e sociais dos agrupamentos organizativos e nações. A aposta nesse momento é que seremos capazes de produzir com mais responsabilidade e efetividade tecnologias limpas, responsáveis e que garantam a continuidade das organizações sustentavelmente.

Os esforços, todavia, têm levado as organizações e governos a pensar em multifacetadas “gestões tecnológicas”. Se por um lado já superamos o modelo hilomórfico aristotélico de criar e gerir tecnologia por meio de uma simples junção de forma e matéria, por outro nos perdemos em meio a tantas outras concepções e métodos. Não sabemos se consideramos os processos, a prática cotidiana, as questões de gênero ou até mesmo as questões culturais. Além disso, às vezes acreditamos que a tecnologia se tornou poderosa o suficiente para acreditarmos em Heidegger e temermos o poder de seu determinismo, ou acharmos que vamos supera-la por

meio das “estruturas funcionais” das organizações ou por meio das “racionalidades organizativas” que tanto têm sido discutidas no *management* atualmente.

Assim, quando falamos em gestão tecnológica, ou geralmente pensamos em termos de investigação e desenvolvimento, abordando temas como criatividade, gestão de recursos humanos, vigilância tecnológica e marketing de inovação; ou pensamos em termos de transferência de tecnologia, esforçando para desenvolver avaliações, auditorias e clínicas tecnológicas, *benchmarking* ou propriedade intelectual, patentes e licenciamentos; ou ainda quando pensamos em termos de desenvolvimento de novos produtos ou serviços, com uma gama de alternativas como gestão de projetos, reengenharia de processo e outros; ou ainda quando falamos em termos de *networking* ou cooperação inter-empresas, por meio de gestão de cadeias de suprimentos, análises de mercado e outros como gestão de portfólios. Mas todas, fora as que esquecemos ou não conhecemos, não deixam de evidenciar esforços em obter produtos e serviços que sejam mais eficientes, rentáveis ou até mesmo, talvez em um menor número infelizmente, sustentáveis.

As mesmas abordagens que têm apresentado essas práticas, contudo, têm defendido, em um bom número até, que elas devem ser adaptadas para cada caso e adequadas a cada particularidade organizacional. Há, até certo ponto, um consenso de que essas práticas não são fins em si mesmas, mas meios de apoio às atividades de gestão das organizações que as utilizam, seja independentemente, sejam em combinações diversas. É aí que entra nossa opinião, enquanto pensarmos nos fins que nos movem enquanto instituições formais esquecemo-nos do mais relevante, isto é, das conformações “inextricavelmente interconectadas”, como dito na filosofia da tecnologia, que fazem com que os fins sejam somente resultados provisórios das redes cada vez mais extensas e, às vezes, densas que compõem nossas relações sociais, materiais e organizacionais.

Mas o que defendemos então? Achamos que devemos deixar de dar ênfase à tecnologia em si e no modo como ocorre sua gestão, para pensar nas redes, como processos contínuos, dinâmicos e por que não dizer, complexos, que asseguram a difusão ou não, dos nossos desenvolvimentos tecnológicos.

Algumas considerações sobre redes

Primeiro é preciso dizer o que são redes. O que não é uma tarefa fácil. Dizer simplesmente que rede é uma estrutura não-linear, descentralizada, flexível, dinâmica, sem limites definidos e auto-organizável, que

pode estabelecer diversas relações e integrações, pode não ser suficiente. Pois se considerarmos em uma perspectiva social, toda essa dinâmica está relacionada às pessoas, sendo elas autônomas, unindo ideias e recursos em torno de valores e interesses compartilhados. Já numa perspectiva, digamos, pós-materialista, essa dinâmica já está relacionada a um conjunto heterogêneo de elementos – animados e inanimados, naturais ou sociais – que se relacionam de modo diverso, durante um período de tempo suficientemente longo, e que são responsáveis pela transformação ou consolidação dos laços por eles conformados. E há mais perspectivas que vão entender redes de maneiras diversas.

Numa perspectiva da escolha racional, por exemplo, muito discutida nos estudos organizacionais inclusive, os indivíduos formariam as redes conforme suas preferências exógenas e que se manteriam constantes durante o desenvolvimento dessa rede. Os estruturalistas, por outro lado, diriam que essa constância do comportamento do indivíduo não existiria pois toda ação humana é afetada por estruturas sociais explicitamente definidas, ou seja, as redes existiriam antes mesmo das preferências dos indivíduos pela escolha de uma ou outra rede. E assim estenderíamos além dos limites desse ensaio trazendo perspectivas diferentes de entendimentos do que é uma rede, o que até certo ponto tem banalizado o termo.

Mas de modo geral percebe-se um elemento chave na maioria das discussões. A ideia de entrelaçamento de relações, atores, práticas e ações acabam sendo evidenciadas em todas elas e que dá sua dimensão de momento, presente, real. As redes, assim, se apresentam como ligações entre atores, inter-relacionadas de múltiplas formas, indo além da simples troca de informações e se estendendo à integração, composição, cooperação e outras formas imagináveis e aceitáveis para pessoas, objetos, e outros componentes, materiais ou não, que integram e interagem em uma gama diversa de associações e permite sua visualização e identificação. Uma das características intrínsecas de uma rede é sua imprevisibilidade quanto ao futuro. Em consequência, Ciência e Tecnologia hoje, de certo modo, começam a se articular no que está sendo renomeado de tecnociência, e os esforços, começam a se concentrar nessas redes e como elas vão se delineando em tempos e espaços previamente definidos e delimitados.

Quando falamos em tecnociência, queremos dizer que Ciência e Tecnologia estão colocadas em uma mesma base de análise e não em uma simples junção dos termos. Isso implica dizer que natureza e sociedade, ou a

química e a sociologia, estão diretamente imbricadas nos contextos organizacionais, não sendo possível buscar explicações para uma, sem considerar a outra.

As potencialidades das análises em redes

Se passarmos a considerar as redes e não a tecnologia em si, ou se chegarmos a considerar a tecnologia, mas somente como o potencial transformativo dessa rede, teremos condições de gerir, se essa for a palavra correta, não só nossos produtos e serviços, como tecnologias limpas, inovadoras e responsáveis ambientalmente, mas também entender como se dá as associações de atores que garantirão o futuro dessas inovações. Comumente falamos ou ouvimos falar que a saída é desenvolvermos tecnologias que atendam às novas demandas sociais e ambientais. Mas damos muito crédito ao processo de inovação, com as áreas de P&D e ciência básica, posterior os processos de difusão e por último às reaplicações em contextos e realidades diversas. Os insucessos dessas metodologias têm levado a uma gama de abordagens (tecnologias democráticas, apropriadas, alternativas, intermediárias, *grassroot innovation*, base da pirâmide, *social innovation*, dentre muitas outras) que se apresentam ainda como insuficientes para atender às demandas de degradação, poluição e outros danos ambientais que tem caracterizado nossos sistemas produtivos.

Acreditamos que uma dificuldade do nosso pensamento difusionista é em considerar o *embeddedness* em que os processos inovadores estão inseridos, desconsiderando quase que por completo as redes que formam e conformam essas inovações. Com isso as análises de redes passam a ser cruciais para o sucesso dos novos empreendimentos solidários, econômicos e ambientalmente sustentáveis.

Nas redes os produtos e resultados deixam de serem fins em si mesmos e passam a compor relações temporárias de múltiplos objetivos e interesses. Além disso, as análises por meio de redes oferecem possibilidades de analisar organizações como complexas e instáveis, sem assumir como certo a existência de fronteiras claras, permitindo focar no constante processo de organizar. Ao invés de considerar os supostos padrões estruturais que caracterizam nossos sistemas sociais e técnicos, temos que atentar para as redes heterogêneas formadas por padrões diversos que envolvem simultaneamente sociedade, organizações, agentes e máquinas. As organizações, entendemos, são processos estáveis unicamente momentâneos, sendo a análise de redes útil para perceber como padrões são gerados e como efeitos organizacionais ocorrem.

Desse modo, as tecnologias só fazem sentido se consideradas como tecnologias em uso. Gerir tecnologias significa muito mais buscar mecanismos de acompanhamento do seu manuseio e uso do que propriamente prescrever como se dá seu funcionamento e em que condições. Essas condições de criação, disseminação e uso, é sempre condicionada pelos grupos de atores que fazem parte da rede que assegura sua existência. Desse modo, inovar significa ter capacidade de acompanhar as transformações dessa rede, entendendo seu modo de funcionamento e participando da consecução de seus objetivos.

Nas análises, então, entendemos que o foco, prioritariamente, deve estar nos processos de negociações entre os diferentes atores que trabalham cotidianamente para inscrever uns aos outros aos seus interesses e objetivos. As “gestões”, como temos tratado, precisa dar mais atenção aos muitos elementos interconectados a cada ator, nos caminhos potenciais que essas interconexões criam e como as performances que geram resultados estão sendo desenhadas e construídas. As redes, visualizadas a partir dos padrões dessas conexões é que nos permitirão dizer, com certo grau de confiança, o que podemos esperar dos usos das tecnologias que temos desenvolvido, disseminado e buscado assegurar para o uso futuro de outros atores e gerações.

Considerações finais

Desse modo, nossa pretensão aqui não é dizer que nossos instrumentos de gestões tecnológicas estão fadados ao fracasso. Muito pelo contrário, nossa intenção foi mostrar o quanto eles são responsáveis pelas formações atuais que compõe nossos sistemas gerenciais e organizativos. O que procuramos destacar é que eles, por si só, não são os elementos centrais das transformações que buscamos. Eles fazem parte de um conjunto maior de elementos sociais e naturais que compõem nossas inter-relações. E são essas inter-relações que acreditamos serem os elementos centrais dos efeitos, mesmo que insustentáveis como temos vistos, que caracterizam esse momento de nossa época.

Em consequência, nosso pensamento é que devemos continuar considerando as nossas práticas tradicionais, mas sem desconsiderar que as redes que fazemos parte atualmente podem conter atores, ações, tecnologias, e outros aspectos que podem possibilitar novos rumos para nossas indústrias, nossas organizações, governos e sociedade como um todo. Devemos estar preparados para conhecê-las e como elas podem ser melhor descritas por nossos estudos e análises.

Eventos Nacionais

XIX Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica

Campos do Jordão, SP, 1 a 5 de abril de 2013
Info: xixsibee@ufabc.edu.br

6º Simpósio Brasileiro de Biocombustíveis - BIOCOM

Canoas, RS, 24 a 26 de abril de 2013
Info: www.abq.org.br/biocom

II Workshop de Engenharia de Petróleo

Campina Grande, PB, 15 a 17 de maio de 2013
Info: www.wepetro.com.br

11º Simpósio Brasileiro de Educação Química - SIMPEQUI

Teresina, PI, 28 a 30 de julho de 2013
Info: www.abq.org.br/simpequi

Eventos Internacionais

12ª Latin American Conference on Physical Organic Chemistry (CLAFQO-12)

Foz do Iguaçu, PR, 7 a 12 de abril de 2013
Info: www.clafqo12.com

XVIII Congresso Argentino de Físicoquímica e Química Inorgânica

Rosario, Argentina, 9 a 12 de abril de 2013
Info: www.cafqi2013.com.ar

18º ISMART MEETING / 14º NMR USERS MEETING

5º IBEROAMERICAN NMR MEETING
Rio de Janeiro, 19 a 24 de maio de 2013
info: ismar2013@auremn.org.br

V Simposio Internacional de Química - SIQ 2013

Havana, Cuba, 4 a 7 de junho de 2013
Info: lnieto@uclv.edu.cu

INSTRUÇÕES PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS TÉCNICOS, TÉCNICO-CIENTÍFICOS E CIENTÍFICOS

1. O texto deve ser digitado em fonte Arial corpo 11, espaçamento 1,5 e margem 2,5 cm. O número de laudas deve se situar entre 6 e 10, no máximo, incluindo figuras, tabelas e referências. O arquivo do texto deve estar no formato .doc, .docx ou .rtf.
2. No alto da primeira página devem constar os nomes dos autores, por extenso, e suas respectivas instituições de vínculo. O autor responsável pelo trabalho deve incluir um e-mail de contato.
3. A estrutura do artigo deverá conter:
 - 3.1) Resumo e Abstract, limitados a 100 palavras cada. Logo após o resumo, incluir até três palavras-chave, e após o abstract, até três keywords.
 - 3.2) Introdução.
 - 3.3) Materiais e métodos.
 - 3.4) Resultados e discussão.
 - 3.5) Conclusões.
 - 3.6) Referências.
4. As figuras e/ou tabelas devem ser enviadas em arquivos separados com extensão .jpeg ou .gif com até 2 Mb. A identificação desses arquivos deve estar

- em harmonia com o nome do arquivo do texto a que se referem. No texto do artigo, deve-se assinalar onde as figuras e/ou tabelas devem ser inseridas.
5. A nomenclatura dos compostos químicos deve seguir as normas da IUPAC.
6. As referências devem seguir as regras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR ABNT 14724:2011 – veja, por exemplo, <http://www.bu.ufsc.br/ccsm/vancouver.html>)
7. Os artigos devem ser submetidos **exclusivamente por meio eletrônico** para o seguinte endereço editor@abq.org.br.
8. O artigo será apreciado por avaliadores designados pelo editor da RQI, com competência na área em que se insere o trabalho submetido. O autor será informado da decisão (aceito, recusado, precisa de revisão) com a maior brevidade possível. Uma vez aceito em definitivo, a publicação se dará em uma das 3 edições da RQI subsequentes.



SINDIQUIM/RS

**Conduzindo o desenvolvimento da
Indústria Química do Rio Grande do Sul**

Atualmente nossas indústrias estão comprometidas com a sustentabilidade do planeta através da Química Verde que provém da natureza e de onde surge a química para o nosso cotidiano.



SINDICATO DAS INDÚSTRIAS QUÍMICAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
Avenida Assis Brasil, 8787 – Sistema FIERGS/CIERGS
Fone: (51) 3347-8758 – Fax: (51) 3331-5200 – CEP 91140-001 – Porto Alegre – RS
e-mail: sindiquim-rs@sindiquim.org.br – site: www.sindiquim.org.br