

VINTE ANOS DE QUÍMICA VERDE: CONQUISTAS E DESAFIOS

Luciana A. Farias*

Universidade Federal de São Paulo, Rua Botucatu, 740, 04023-900 São Paulo – SP, Brasil

Déborah I. T. Fávaro

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, CP 11049, 05422-970 São Paulo – SP, Brasil

Recebido em 2/7/10; aceito em 7/12/10; publicado na web em 29/3/11

TWENTY YEARS OF GREEN CHEMISTRY: ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES. The year 2011 has been chosen as the International Year of Chemistry and it will focus on the importance of sustainability in the field of chemistry. The program “Alternative Synthetic Routes for the Prevention of Pollution”, implemented 20 years ago in the USA marked the official start of Green Chemistry. Currently, many lines of research in chemistry observe and comply with the concepts of green chemistry contributing significantly to the advancement of science. Hence, the objective of this paper is to present an overview of published papers on Green Chemistry in national and international journals from the “CAPES Portal Database”, from 1997 to May 2010.

Keywords: green chemistry; environment; industry.

INTRODUÇÃO

Desde muito já convivemos com produtos e procedimentos desenvolvidos nas práticas do dia-a-dia, os quais antecederam a Química e muito contribuíram para o que hoje conhecemos como Química Moderna, sendo inegável a contribuição dessa ciência nas inúmeras conquistas da Humanidade. Na verdade, ela está tão intrinsecamente ligada ao desenvolvimento do homem, que para Maar,¹ os materiais da Química são tão importantes que eles designam eras da nossa história comum e que a ideia de denominarmos o nosso período histórico de “Idade do Plástico”, não seria tão absurda.

Atualmente, a indústria química participa ativamente de quase todas as cadeias produtivas e complexos industriais, inclusive serviços e agricultura, desempenhando um papel de destaque no desenvolvimento das diversas atividades econômicas do mundo. São mais de 70.000 compostos comerciais, utilizados para os mais diversos fins, sendo que a movimentação financeira em torno da produção mundial de produtos químicos, somente em 2008, ficou em cerca de 4 trilhões de dólares.² Ou seja, a indústria química desempenha relevante papel na economia, além dos inegáveis benefícios oriundos da prática química na saúde e agricultura.

Contudo, este aumento significativo do consumo de bens e matérias-primas e o crescimento acelerado e desordenado das cidades, particularmente após a Segunda Guerra Mundial, rapidamente geraram um quadro de degradação ambiental nunca visto anteriormente. Do início do século XIX, período a partir do qual podemos considerar um crescimento exponencial na produção e utilização de produtos químicos sintéticos, até os dias de hoje, ou seja, pouco mais de 200 anos, degradamos e poluímos o meio ambiente mais do que em 10.000 anos de história. Tal fato se deu devido ao grande incentivo ao desenvolvimento econômico, aliado à falta de consciência com relação à necessidade de investimentos no controle da poluição, tanto do setor público como do privado, e da inexistência de uma legislação ambiental pertinente com relação ao descarte de resíduos tóxicos no meio ambiente, oriundos da atividade da indústria química. Como

consequência, adentramos a década de 1970 com nossos recursos hídricos comprometidos, não havendo definição quanto à destinação de resíduos, a qualidade do ar nos grandes centros piorando a cada ano e uma crise ambiental de proporções nunca imaginada anteriormente sendo vislumbrada para um futuro próximo.

Mas felizmente, começam a ser desenvolvidas, por parte de governos e sociedade, atitudes menos defensivas e reativas, as quais geralmente trazem implícito um adjunto: “somente conforme determina a lei”. Há uma transformação em andamento. Modesta, a princípio, mas que atualmente já é um movimento amplo e complexo. A sociedade torna-se cada vez mais autocrítica e reflexiva. Como bem ressaltou Jacobi,³ a proliferação de posições sobre o que é sustentabilidade e o que abrange o conceito de desenvolvimento sustentável é um sintoma positivo de dinamismo, já que os debates atuais eram impensáveis há alguns anos, mostrando que as mudanças são possíveis.

UM NOVO OLHAR PARA A PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

A preocupação com os problemas ambientais decorrentes dos processos de crescimento e desenvolvimento deu-se de forma gradual entre os mais diversos segmentos da sociedade, de governos, organizações e outros agentes. Apesar de os primeiros indícios de uma maior preocupação com a questão ambiental terem começado a surgir já a partir de 1949, quando foi realizada em Lake Success, nos EUA, a Conferência Científica da Organização das Nações Unidas sobre a Conservação e Utilização de Recursos (UNSCCUR), e alguns anos depois, com a publicação do livro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), de Rachel Carson em 1962, o qual relata os efeitos adversos da má utilização dos pesticidas e inseticidas químicos sintéticos, a problemática ambiental realmente entra em foco a partir da Conferência Intergovernamental de Especialistas sobre as Bases Científicas para Uso e Conservação Racionais dos Recursos da Biosfera, conhecida como Conferência da Biosfera, realizada em 1968 e com a publicação, no mesmo ano, do Relatório Meadows, conhecido como Relatório do Clube de Roma. Este relatório abalou as convicções da época sobre o valor do desenvolvimento econômico

*e-mail: lufarias2@yahoo.com.br

e a sociedade passou a fazer maior pressão sobre os governos acerca da questão ambiental, influenciando de maneira decisiva o debate na Conferência de Estocolmo, em 1972, que se caracterizou como a primeira atitude mundial em tentar organizar as relações entre o Homem e o Meio Ambiente. Esta conferência marcou o início do avanço das ideias intervencionistas no mundo que iriam ampliar o caráter preservador dos recursos naturais.

A partir daí, desenvolvimento e meio ambiente passam a fundir-se no conceito de ecodesenvolvimento que, no início da década de 1980, foi suplantado pelo conceito de desenvolvimento sustentável, passando a ser adotado como expressão oficial nos documentos da Organização das Nações Unidas (ONU), União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) e Fundo Mundial para a Vida Selvagem e Natureza (WWF). Ao se aproximar o final dessa década, começa a chegar ao fim o período das Leis de Comando e Controle, cuja única preocupação era somente controlar a quantidade de resíduos que saíam das chaminés ou canos das indústrias, visando o tratamento dos mesmos somente no fim da linha de produção (*end of pipe*). Começam a surgir ou a se definir conceitos e iniciativas industriais e governamentais que já estavam em “gestação” e que muito contribuiriam para o estabelecimento da Química Verde.

Podemos citar como exemplo, a Lei de Prevenção à Poluição nos EUA (1990), a qual busca prevenir a poluição pelo incentivo às empresas para reduzir a geração de poluentes por meio de mudanças economicamente efetivas na produção, operação e uso da matéria-prima. Foi a primeira e única lei focada na prevenção da poluição ao invés do típico tratamento e remediação. Também nesse período, o conceito de sustentabilidade é estabelecido e preconiza que devemos satisfazer as necessidades atuais dos seres humanos, não comprometendo a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades. Surge, ainda, o conceito de “Minimização de Resíduos”, que se refere à redução da quantidade de resíduos sólidos ou líquidos produzidos por um determinado processo. A prática do processo de reciclagem, a valorização e o tratamento seguro dos resíduos sólidos e líquidos, a embalagem segura e rotulagem adequada também estão incorporados neste conceito. Todavia, por ser menos abrangente, o conceito de Minimização de Resíduos é considerado menor na hierarquia de intervenção pré-polição do que a Química Verde. Já o “Projeto para o Meio Ambiente” (*Design for the Environment - DfE*) tem por objetivo examinar todo o ciclo de vida do produto para propor alterações no projeto, de forma a minimizar o impacto ambiental desde a sua fabricação até o seu descarte. É visto como uma ferramenta que incorpora considerações ambientais no projeto de produtos e processos. Por fim, o Programa de Atuação Responsável (*Responsible Care*), criado no Canadá pela *Canadian Chemical Producers Association* (CCPA) a partir de 1984, e que atualmente está estabelecido em 42 países, estando no Brasil desde 1992. Esse programa engloba uma diversidade de elementos, incluindo a segurança do processo, transporte e interação com fornecedores, distribuidores e outros interessados, objetivando o fornecimento de produtos químicos que podem ser fabricados de forma segura, protegendo o meio ambiente e a saúde da população.

Paralelamente a esses eventos, em 1991, um pouco depois da publicação da lei de Prevenção à Poluição nos EUA, a EPA (*Environmental Protection Agency*), por meio do Instituto de Prevenção à Poluição e Tóxicos (OPPT) lançou também o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, uma linha de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas sínteses, ou seja, fabricar produtos por meio de processos ambientalmente corretos. Em 1993, o programa foi expandido para incluir outros temas, tais como solventes ecológicos e produtos químicos mais seguros, sendo renomeado como Química Verde. Estava estabelecida, portanto, não somente uma mudança que levaria muitas empresas a reavaliarem os seus processos de produção,

buscando ganhos ambientais além dos econômicos. Esse processo já havia sido iniciado a partir das iniciativas anteriormente citadas. Estabelecia-se, na verdade, um conceito mais abrangente, que reuniria em seus 12 Princípios Básicos (Quadro 1), muitos dos conceitos e movimentos anteriores.

Quadro 1. Relação dos 12 Princípios da Química Verde⁷⁴

1)	<i>Prevenção</i> : é melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los posteriormente.
2)	<i>Economia Atômica</i> : os métodos sintéticos devem ser desenvolvidos para maximizar a incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos finais desejados.
3)	<i>Sínteses com Reagentes de Menor Toxicidade</i> : sempre que possível, metodologias sintéticas devem ser projetadas para usar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade para a saúde humana e o meio ambiente
4)	<i>Desenvolvimento de Compostos Seguros</i> : os produtos químicos deverão ser desenvolvidos para possuírem a função desejada, apresentando a menor toxicidade possível.
5)	<i>Diminuição de Solventes e Auxiliares</i> : a utilização de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, etc) deverá ser evitada quando possível, ou usadas substâncias inócuas no processo.
6)	<i>Eficiência Energética</i> : os métodos sintéticos deverão ser conduzidos sempre que possível à pressão e temperatura ambientes, diminuindo seu impacto econômico e ambiental.
7)	<i>Uso de Matéria-Prima Renovável</i> : sempre que possível técnica e economicamente utilizar matéria-prima renovável.
8)	<i>Redução do uso de derivados</i> : uso de reagentes bloqueadores, de proteção ou desproteção, e modificadores temporários que deverão ser minimizados ou evitados quando possível, pois estes passos reacionais requerem reagentes adicionais e, conseqüentemente, podem produzir subprodutos indesejáveis.
9)	<i>Catálise</i> : reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são superiores aos reagentes estequiométricos.
10)	<i>Desenvolvimento de Compostos Degradáveis</i> : produtos químicos deverão ser desenvolvidos para a degradação inócua de produtos tóxicos, não persistindo no ambiente.
11)	<i>Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição</i> : as metodologias analíticas precisam ser desenvolvidas para permitirem o monitoramento do processo em tempo real, para controlar a formação de compostos tóxicos.
12)	<i>Química Segura para a Prevenção de Acidentes</i> : as substâncias usadas nos processos químicos deverão ser escolhidas para minimizar acidentes em potencial, tais como explosões e incêndios.

Alguns anos depois, em 1995, o Governo dos EUA instituiu o programa *The Presidential Green Chemistry Challenge*, com o objetivo de premiar indivíduos e empresas que buscassem inovações tecnológicas a serem implementadas na indústria para a redução da produção de resíduos na fonte, em diferentes setores da produção. Normalmente cinco prêmios são distribuídos a cada ano: pesquisa acadêmica, pequenos negócios, rotas sintéticas alternativas, condições alternativas de reação e desenho de produtos químicos mais seguros.⁴

Desde então, a Química Verde vem conquistando cada vez mais espaço em todo mundo, seja em universidades, indústrias, agências governamentais e organizações não governamentais, promovendo o uso da Química para a prevenção da poluição ambiental.⁵

Em 2011, designado o Ano Internacional da Química, cuja ênfase é a importância da Química na sustentabilidade dos recursos naturais, o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição” completa 20 anos desde sua implementação, marcando o início oficial do que hoje conhecemos como Química Verde. A literatura relativa ao tema vem acompanhando esse desenvolvimento, expandindo-se vertiginosamente. São inúmeros os livros, periódicos e publicações diretas na Internet.

Nesse período, muitas são as linhas de pesquisa em Química, dentro dos preceitos da Química Verde, que vêm se desenvolvendo na produção do conhecimento científico. Neste sentido, o presente trabalho objetivou proporcionar um panorama geral dos trabalhos publicados em periódicos selecionados a partir da base de dados integrada do Portal da Capes, relacionados à temática Química Verde. Para isso foram utilizados os seguintes critérios de refinamento: trabalhos cujos títulos trouxessem a expressão *Green Chemistry* ou “Química Verde”, no período de 1991 a maio de 2010, em português ou inglês, sendo que 61 artigos atenderam aos critérios estabelecidos. Estes artigos foram analisados segundo o autor (considerando-se o primeiro autor), o ano de publicação, o local e a área de pesquisa.

A TEMÁTICA QUÍMICA VERDE NOS PERIÓDICOS CIENTÍFICOS

O primeiro artigo que atendeu aos critérios adotados neste trabalho e cujo título contém a expressão *Green Chemistry* (Química Verde) - “*Design for the environment and Green Chemistry: the heart and soul of industrial ecology*” - foi publicado em 1997.

Iniciava-se aí o novo paradigma que continua se expandindo nas publicações científicas em Química, com relação às questões que envolvem a proteção ambiental, a produção industrial e o desenvolvimento econômico. Publicado por Anastas e Breen,⁶ pesquisadores proeminentes da área, o artigo discute os princípios do que eles chamam de Ecologia Industrial, por vezes, considerada a agregação de várias tendências ambientais, incluindo o metabolismo industrial, *design* de ambiente, análise do ciclo de vida, Química Verde, a prevenção da poluição, a produção ambientalmente consciente e o desenvolvimento sustentável.

De lá para cá, a literatura relativa à Química Verde vem aumentando muito. Atualmente, mais de 250 mil publicações em periódicos já podem ser encontradas a partir da plataforma integrada da Capes que, de alguma forma, citam a expressão *Green Chemistry* ou “Química Verde”. Destaca-se que somente entre os meses de janeiro a maio de 2010 foram mais de 700 publicações abordando o assunto. Uma das áreas com maior destaque nessas pesquisas foi, e ainda é, a de catálise, cujo objetivo é a maximização das reações e redução da formação de subprodutos indesejáveis durante o processo.

Dos 61 trabalhos analisados no presente estudo, 16 tratavam de técnicas catalíticas, correspondendo a 25% dos artigos avaliados e publicados nas revistas *Current Opinion in Biotechnology*, *Applied Catalysis A: General*, *Tetrahedron Letters*, *Applied Surface Science*, *Progress in Natural Science*, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, *Studies in Surface Science and Catalysis*, *Journal of Hazardous Materials*, *Comptes Rendus Chimie*, com destaque para a revista *Catalysis Today*.⁷⁻²² Isso pode ser, obviamente, atribuído a algumas características importantes dos catalisadores e sua importância econômica. Em geral, as sínteses catalíticas, devido à elevada seletividade, são mais eficientes, limpas e econômicas, permitem a reutilização do catalisador, o uso de matérias-primas renováveis ou a redução de reagentes, sendo superiores aos reagentes estequiométricos. Devem ser rápidas, seletivas e capazes de produção em grande escala seja ela heterogênea, homogênea ou biológica. Na verdade, a área de catálise é o 9º princípio fundamental, dos 12 que compõem a Química Verde, tamanha sua importância. Mais de 80% dos produtos químicos são produzidos usando-se catalisadores. Somente as indústrias de petróleo da Comunidade Europeia geram entre 3.500 e 6.000 t de catalisadores usados por ano e, no contexto mundial, aproximadamente 60.000 t de catalisadores usados, contendo metais de transição e/ou refratários, são produzidas por ano.²³ De acordo com o Prof. Ron Breslow, da Universidade de Columbia (USA), “Nenhum assunto permeia tanto a Química moderna como a catálise”.²⁴

Os progressos nessa área, portanto, podem ser o ponto chave nas conquistas de objetivos econômicos, como também um valioso avanço em direção a um desenvolvimento mais sustentável. A inovação no campo da catálise é impulsionada por ambos: os lucros e os esforços para tornar os processos mais ecoeficientes. No *The Presidential Green Chemistry Challenge 2009*, o “Prêmio a Pequenas Empresas” foi dado a uma pesquisa na área de catálise: *BioForming® Process: Catalytic Conversion of Plant Sugars into Liquid Hydrocarbon Fuels*.²⁵ O novo método catalítico é à base de água, com o objetivo de produzir gasolina, diesel ou querosene de aviação a partir do açúcar, amido, celulose ou de plantas que requeiram pouca energia externa. O processo é flexível e pode ser modificado para gerar combustíveis diferentes com base nas necessidades do mercado, podendo competir economicamente com os preços atuais de combustíveis de origem fóssil, além de ajudar a reduzir a dependência nos mesmos.

Contudo, apesar de alguns entenderem a catálise como sendo inerentemente uma tecnologia verde, é necessário ter em mente o processo químico utilizado para a produção de catalisadores, haja vista que muitos deles podem ser fabricados por meio de práticas que não atendem aos princípios deste novo paradigma constituindo-se, também, um dos principais focos das pesquisas nacionais e internacionais.

Outro destaque é para as revistas *Tetrahedron* e *Tetrahedron Letters* (20% dos artigos analisados) as quais publicam resultados de pesquisas experimentais e teóricas no domínio da química orgânica.^{14,26-36} Os temas cobertos por essas revistas incluem desde a síntese orgânica, reações orgânicas, química de produtos naturais, estudos de mecanismo de reação até os diferentes aspectos da espectroscopia. Pesquisas nessas áreas são particularmente importantes para a indústria farmacêutica, pois a obtenção do produto desejado é frequentemente acompanhada de grandes quantidades de resíduos (Fator E muito elevado, ou seja, a maior parte dos átomos dos reagentes são incorporados aos resíduos).³⁷ Frente a uma demanda cada vez maior de produtos sintéticos, começa a despertar cada vez mais a consciência de que se os mesmos métodos químicos continuarem a ser praticados, a utilização de matéria-prima, bem como e principalmente a geração de resíduos, irá aumentar significativa e continuamente levando essas companhias a reavaliarem a síntese de grandes volumes de produtos a partir de solventes tóxicos. Por isso há a busca cada vez maior de sínteses alternativas mais ecoeficientes.

Além das razões ambientais, outros motivos também levaram ao aumento da aplicação da Química Verde na indústria farmacêutica. Na maior parte das vezes, sínteses efetuadas dentro dos 12 Princípios reduzem a quantidade de matéria-prima utilizada, reduzindo o custo da fabricação para um mesmo produto. Ao se utilizar uma menor quantidade de matéria-prima, cria-se um efeito dominó em termos de benefícios, ou seja, reduz-se o tempo para lidar com o material, as operações tornam-se mais simples, há menor geração de resíduos e diminuem-se os gastos com tratamento e eliminação. Um exemplo de pesquisa neste sentido diz respeito à busca de sínteses mais ecoamigáveis e energeticamente eficientes do ácido clofibrílico (antilipêmico utilizado em drogas para controlar a hiperlipidemia) e análogos. Uma síntese para fabricação desses compostos foi publicada em 1906, sendo conhecida como reação de Bargellini.³⁸ Todavia, esta reação envolve a interação de um fenol com acetona e clorofórmio na presença de hidróxido de sódio, sob refluxo durante várias horas. É muito trabalhosa, apresentando também baixo rendimento, aproximadamente 37%. Bose e colaboradores empregaram com sucesso uma reação bifásica à base de água sem solventes orgânicos, sem a necessidade da utilização de um catalisador de transferência de fase e conseguiram obter um produto mais simples de ser purificado e mais eficiente energeticamente, além de maior rendimento, aproximadamente 66%.³⁰ Esse vem a ser somente só um dos exemplos dos inúmeros que a indústria farmacêutica vem propiciando.

Na verdade, são inúmeras as motivações que levaram a indústria farmacêutica a se decidirem pela implementação da Química Verde: aumento da eficiência do processo com simultânea redução dos custos, eliminação de resíduos (um dos motivos que fazem com que o segmento farmacêutico apresente um elevado Fator E), maior rendimento, qualidade, menor tempo de processamento, melhoria da segurança e da saúde, menor consumo de energia (e gases de efeito estufa), melhoria ambiental e melhor imagem corporativa. Prova disto é o aumento de trabalhos na literatura com essa temática.

Com relação aos autores, dentre os 61 artigos analisados, sem dúvida alguma os pesquisadores Anastas e Bose, americanos, foram os que mais apareceram como primeiros autores, totalizando os dois juntos 13% dos trabalhos avaliados. Somando a estes trabalhos os demais artigos, de diferentes autores que foram resultados de pesquisas realizadas a partir de instituições americanas, chega-se ao total de 48% de publicações avaliadas neste trabalho (Tabela 1). Isso reflete a grande contribuição dos EUA como um dos primeiros idealizadores desse novo paradigma químico. Entretanto, apesar de a ideia ter seu berço na América do Norte, é visível a sua rápida disseminação em todo mundo. Mesmo nessa reduzida amostragem, quando comparada à grande quantidade de artigos já publicados com essa temática, é possível observar a variedade de países que já perseguem os objetivos da Química Verde, dentre os quais o Brasil, sendo que o país já conta com mais de 20 grupos de pesquisas em universidades e centros de pesquisa, atuando em diferentes áreas que, de alguma forma, estão relacionadas com a Química Verde: educação, síntese, catálise e biocatálise, solventes alternativos, materiais renováveis, processos e análise do ciclo de vida. Alguns desses grupos inclusive já apresentam a expressão “Química Verde” no próprio título do Grupo de Pesquisa como, por exemplo, Grupo de Pesquisa em Química Verde e Ambiental – da Universidade de São Paulo - USP (criado em 2003) e o Química Verde Coloidal e Macromolecular – da Universidade Federal de Viçosa - UFV (criado em 1999). Cabe ainda salientar a importante contribuição da Associação Brasileira de Química, que juntamente com amplo espectro de patrocinadores, promoveu em 2010 a Olimpíada de Química com o tema Química Verde, o que sem dúvida aguçou o interesse de muitos alunos e professores para o assunto.

Cabe também um destaque para a publicação brasileira do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos do Distrito Federal, que almeja integrar os esforços que alguns programas já vêm desenvolvendo

Tabela 1. Percentual de contribuição dos países e áreas de pesquisa referentes aos 61 artigos analisados (1997-2010) sobre Química Verde

País	Percentual de contribuição	Área de pesquisa	Percentual de contribuição
Estados Unidos	48	Catálise	25
França	10	Fundamentos teóricos	22
Índia	7	Síntese	13
China	5	Biotecnologia	10
Itália	5	Nanotecnologia	7
Japão	5	Tratamento de resíduos	7
Áustria	3	Solventes alternativos	6
Brasil	3	Materiais fluorados	3
Grécia	2	Metodologias analíticas	3
Alemanha	2	Energia	2
Arábia Saudita	2	Remediação	2
Austrália	2		
Espanha	2		
Irã	2		
Polônia	2		

de forma isolada no país, tendo em vista a promoção da Química Verde no Brasil no período de 2010-2030. Caracterizando-se como uma estratégia de desenvolvimento sustentável nacional, tendo a pós-graduação, notadamente nas áreas da Biologia, Química e Engenharia Química, como o patamar deste salto científico e tecnológico. Trata-se de uma proposta madura e bem centrada nas potencialidades do país, priorizando os seguintes temas: as biorrefinarias (pelas rotas termoquímicas e bioquímicas), a alcoolquímica, a oleoquímica, a sucroquímica, a fitoquímica, a conversão de CO₂, os bioprodutos, bioprocessos e biocombustíveis e as energias alternativas.³⁹

Ainda dentro da abrangência do presente trabalho podemos citar a revista *Journal of Cleaner Production*, que serve como um fórum interdisciplinar internacional para o intercâmbio de informações e resultados de pesquisa sobre tecnologias, conceitos e políticas destinadas a ajudar a garantir o progresso em direção a uma sociedade sustentável.^{5,40-42} A revista *Desalination* é dedicada à comunicação dos mais recentes desenvolvimentos em dessalinização e purificação de água avançadas, incluindo a investigação teórica e aplicada, o desenvolvimento tecnológico e industrial, bem como a experiência dos operadores e usuários. Além disso, esse jornal objetiva a publicação de pesquisas que discutem novos materiais de dessalinização, processos e tecnologias; consumo de energia, energia de fontes renováveis e valorização energética, pré-tratamento, pós-tratamento, sistemas integrados e analisa a regulamentação de plantas em larga escala.⁴³⁻⁴⁵ Podemos citar também a revista *Comptes Rendus Chimie* cujas publicações se referem a pesquisas originais em todas as áreas da Química (orgânica, inorgânica, bio-orgânica, organometálicos, física do estado sólido, teórica etc.).^{21,46,47} Enfim, a lista de realizações nos mais diversos aspectos da Química poderia continuar, conforme demonstram os demais artigos analisados.⁴⁸⁻⁷²

Por último, mesmo não tendo aparecido entre os artigos selecionados pelos critérios adotados no trabalho, é necessário destacar o periódico *Green Chemistry*, lançado pela Sociedade Real de Química Britânica (*UK Royal Society of Chemistry, RSC*), cujo escopo está baseado, porém não limitado, à definição proposta por Anastas e Warner: A Química Verde é a utilização de um conjunto de princípios que reduz ou elimina o uso ou a geração de substâncias perigosas na concepção, fabrico e aplicação de produtos químicos.⁷³

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Química Verde com certeza configura-se como uma mudança de mentalidade da prática química. Vai além da zona de conforto de somente utilizar os já testados e validados reagentes, solventes e tecnologias e deve ser promovida e apoiada não só pela comunidade científica, mas também pelos governos, indústrias e todos os outros setores da sociedade.

Contudo, mesmo com todo esse inegável avanço, traduzido na enorme quantidade de publicações presentes em diversos periódicos, para Anastas³⁵ a Química Verde participa ainda com uma modesta porcentagem nas inúmeras pesquisas químicas que estão em andamento atualmente. É preciso mais. Nossos esforços devem ser dirigidos para resolver uma série de graves problemas associados à água, energia, saúde, agricultura, biodiversidade e pobreza, conforme solicitado por Kofi Annan, secretário geral da ONU, em uma carta dirigida à cúpula reunida em Johannesburg em 2002.

Na visão de Anastas e outros pesquisadores, até hoje, a formação do químico esteve muito preocupada com a excelência técnica do profissional. A meta agora é manter a qualidade técnica do ensino, mas formar, antes de tudo, cidadãos. É uma exigência da sociedade. Ela quer profissionais que tenham conhecimentos técnicos, mas também uma visão global, que possuam os mesmos anseios cívicos, como na questão ambiental e que sejam flexíveis para adaptar o conhecimento

técnico às novas exigências sociais.

É importante que a comunidade química esteja plenamente consciente do desafio que os problemas ambientais, agora já globais, nos trazem e que a Química por ela mesma, tem grande capacidade para resolvê-los. Muito conhecimento foi adquirido nesses 20 anos para permitir que continuemos a alegar ignorância a respeito da Química Verde e, conseqüentemente, sobre a possibilidade de se projetar a fabricação e a utilização de substâncias mais eficazes e seguras.

Como oportunamente lembrou Kang,³⁴ nunca ninguém disse que a Química Verde é fácil. No entanto, com vontade e uma visão sistêmica e holística da Química é possível cada vez mais uma melhoria contínua, transformando os desafios em oportunidades verdes.

REFERÊNCIAS

- Maar, J. H.; *Quim. Nova* **2000**, *23*, 709.
- <http://www.americanchemistry.com>, acessada em Maio 2010.
- Jacobi, P. R.; *Educação e Pesquisa* **2005**, *31*, 2.
- <http://www.epa.gov/greenchemistry/past.html>, acessada em Maio 2010.
- <http://www.epa.gov/greenchemistry>, acessada em Maio 2010.
- Anastas, P. T.; Breen, J. J.; *J. Cleaner Prod.* **1997**, *5*, 97.
- Anastas, P. T.; Bartlett, L. B.; Kirchoff, M. M.; Williamson, T. C.; *Catal. Today* **2000**, *55*, 11.
- Subramanian, R. B.; Spivey, B. W. L.; *Catal. Today* **2000**, *55*, 1.
- Noyori, R.; *Tetrahedron* **2010**, *66*, 1028.
- Clark, J. H.; Elings, S.; Wilson, K.; *C. R. Acad. Sci. Paris, Série IIc, Chimie: Chemistry* **2000**, *3*, 399.
- Azerad, R.; *Curr. Opin. Biotechnol.* **2001**, *12*, 533.
- Anastas, P. T.; Kirchoff, M. M.; Williamson, C.; *Appl. Catal., A* **2001**, *221*, 3.
- Dias, J. A.; Caliman, E.; Dias, S. C. L.; Paulo, M.; Souza, A. T. A.; *Catal. Today* **2003**, *85*, 39.
- Centi, G.; Perathoner, S.; *Catal. Today* **2003**, *77*, 287.
- Shieh, W.-C.; Lozanov, M.; Loo, M.; Repic, O.; Blacklock, T. J.; *Tetrahedron Lett.* **2003**, *44*, 4563.
- Ziolek, M.; *Catal. Today* **2004**, *90*, 145.
- Chiker, F.; Launay, F.; Nogier, J. P.; Gedeon, A.; Bonardet, J. L.; *Studies in Surface Science and Catalysis* **2004**, *154*, 2951.
- García-Vidal, J. A.; Duran-Valle, C. J.; Ferrera-Escudero, S.; *Appl. Surf. Sci.* **2006**, *252*, 6064.
- Herrmann J.-M.; Duchamp, C.; Karkmaz, M.; Hoai, B. T.; *J. Hazard. Mater.* **2007**, *146*, 624.
- Hutchings, G. J.; *Catal. Today* **2007**, *122*, 196.
- Wu, X.; Mo, J.; Li, X.; Hyder, Z.; Xiao, J.; *Prog. Nat. Sci.* **2008**, *18*, 639.
- Shaabani, A.; Rezayan, H. A.; Behnam, M.; Heidary, M.; *C. R. Chimie* **2009**, *12*, 1249.
- Afonso, J. C.; Silva, N.; Salvato, G. N.; Busnardo, R. G.; *Quim. Nova* **2006**, *29*, 856.
- <http://www.columbia.edu/cu/chemistry/fac-bios/breslow/faculty.html>, acessada em Junho 2010.
- <http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/winners/sba09.html>, acessada em Junho 2010.
- Dondoni, A.; Massi, A.; *Tetrahedron Lett.* **2001**, *42*, 7975.
- Manoj, K. M.; Archelas, A.; Baratti, J.; Furstoss, R.; *Tetrahedron* **2001**, *57*, 695.
- Kunishima, M.; Hioki, K.; Wada, A.; Kobayashi, H.; Tani, S.; *Tetrahedron Lett.* **2002**, *43*, 3323.
- McCluskey, A.; Robinson, P. J.; Hill, T.; Scott, J.; *Tetrahedron Lett.* **2002**, *43*, 3117.
- Bose, A.; Pednekar, S.; Ganguly, S. N.; Chakraborty, G.; Manhas, M. S.; *Tetrahedron Lett.* **2004**, *45*, 8351.
- Bose, A.; Manhas, M. S.; Pednekar, S.; Ganguly, S. N.; Dang, H.; He, W.; *Tetrahedron Lett.* **2005**, *46*, 1901.
- Bose, A. K.; Manhas, M. S.; Ganguly, S. N.; Pednekar, S.; Mandadi, A.; *Tetrahedron Lett.* **2005**, *46*, 3011.
- Pal, S. K.; Krishna, H.; Sandeep, K.; *Tetrahedron* **2007**, *63*, 6874.
- Noyori, R.; *Tetrahedron* **2010**, *66*, 1028.
- Kang, E.; *Tetrahedron* **2010**, *66*, 1029.
- Anastas, P.; *Tetrahedron* **2010**, *66*, 1026.
- Sheldon, R. A.; *Chem. Technol.* **1994**, *24*, 39.
- Bargellini, G. G.; *Chim. Ital.* **1906**, *36*, 337.
- CGEE; *Química Verde no Brasil: 2010-2030*, Centro de Estudos e Gestão Estratégicos: Brasília, 2010.
- Moore, S. B.; Ausley, L. W.; *J. Clean. Prod.* **2004**, *12*, 585.
- Manley, J. B.; Anastas, P. T.; Cue Jr, B. W.; *J. Clean. Prod.* **2008**, *16*, 743.
- Bechtold, T.; Turcanu, A.; *J. Clean. Prod.* **2009**, *17*, 1669.
- Demadis, K. D.; Neofotistou, E.; Mavredaki, E.; Tsiknakis, M.; Sarigiannidou, E.-M.; Katarachia, S.; *Desalination* **2005**, *179*, 281.
- Stathoulopoulou, A.; Demadis, K.; *Desalination* **2008**, *224*, 223.
- Yi, S.; Ma, Y.; Wang, X.; Jia, Y.; *Desalination* **2009**, *239*, 247.
- Loupy, A.; *C. R. Chimie* **2004**, *7*, 103.
- Barrault, J.; *C. R. Chimie* **2004**, *7*, 63.
- Faber, K.; Patel, R.; *Curr. Opin. Biotechnol.* **2000**, *11*, 517.
- Kitazume, T.; *J. Fluorine Chem.* **2000**, *105*, 265.
- Mollah, M. Y. A.; Schennach, R.; Patscheider J.; Promreuk, B. S.; Cocke, D. L.; *J. Hazard. Mater.* **2000**, *B79*, 301.
- Lin, C.-T.; *Prog. Org. Coat.* **2001**, *42*, 226.
- Broker, G. A.; Klingshirn, M. A.; Rogers, R. D.; *J. Alloys Compd.* **2002**, *344*, 123.
- Hjeresen, D. L.; Kirchoff, M. M.; Lankey, R. L.; *Corp. Environ. Strat.* **2002**, *9*, 259.
- Tavener, S.; Clark, J. H.; *J. Fluorine Chem.* **2003**, *123*, 31.
- Valer, M. M.; *ACS Symp. Ser.* **2002**, *823*, 225.
- Nameroff, T. J.; Garant, R. J.; Albert, M. B.; *Res. Policy* **2004**, *33*, 959.
- Bona, E.; Lidénb, G.; Hahn-Hägerdalb, B.; *FEMS Yeast Res.* **2004**, *5*, 299.
- Moore, S. B.; Ausley, L. W.; *J. Clean. Prod.* **2004**, *12*, 585.
- Mooney, D.; *Chem. Heal.Saf.* **2004**, *11*, 24.
- Cuzzola, A.; Bernini, M.; Salvadori, P.; *Appl. Catal., B* **2004**, *52*, 117.
- Warner, J. C.; Cannon A. S.; Dye, K. M.; *Environ. Impact Assess. Rev.* **2004**, *24*, 775.
- Togo, H.; *Free Radicals for Green Chemistry. Advanced Free Radical Reactions for Organic Synthesis*, Elsevier: Chiba, 2004, p. 247-256.
- Kirchoff, M. M.; *Res. Cons. Rec.* **2005**, *44*, 237.
- Anastas, N.; John, C. W.; *Chem. Heal. Saf.* **2005**, *12*, 9.
- Engler, E. E.; *Encycl. Toxicol.* **2005**, *1*, 471.
- Lichtfouse, E.; Schwarzbauer, J.; Robert, D.; *Waste Manag.* **2006**, *26*, 1201.
- Eng, Y. Y.; Sharma, V. K.; Ray, A. K.; *Chemosphere* **2006**, *63*, 1785.
- Riva, S.; *Trends Biotechnol.* **2006**, *24*, 17.
- Yun-Yang, W.; Yu-Min, D.; Lian-Sheng, W.; Kaic, H.; Gong-Zhenc, C.; Jian-Hong, Y.; John, K. F.; *Colloids Surf. A* **2007**, *296*, 270.
- Sharma, P.; Haranath, D.; Chander, H.; Singh, S.; *Appl. Surf. Sci.* **2008**, *254*, 4052.
- Pandian, S. R. K.; Deepak, V.; Kalishwaralal, K.; Muniyandi, J.; Rameshkumar, N.; Gurunathan, S.; *Colloids Surf. B* **2009**, *74*, 266.
- Al-Zaydi, K. M.; *Ultrasonics Sonochem.* **2009**, *216*, 805.
- Anastas, P. T.; Warner, J.; *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: Oxford, 1998, cap. 1.
- Corrêa, A. G.; Zuin, V. G., Eds.; *Química Verde: fundamentos e aplicações*, EdUFSCar: São Carlos, 2009, cap. 1.