

# CADERNO DE QUÍMICA VERDE

Ano 1 - Nº 1 - 2º trimestre de 2016

## Editorial

O consenso sobre a necessidade de reverter os impactos da ação humana sobre fenômenos climáticos, o crescente rigor da regulamentação de produtos químicos através do REACH da União Europeia e a gradual adoção de legislação semelhante por outros países assim como a demanda das grandes empresas do setor químico por especialistas em questões ligadas a sustentabilidade e segurança química são claras manifestações de que a Química Verde veio para ficar.

A Escola Brasileira de Química Verde, criada em 2010 e hospedada na Escola de Química da UFRJ, estabeleceu: a geração de conhecimentos, formação de recursos humanos e divulgação de suas atividades junto ao público em geral como suas prioridades. Neste sentido foi logo identificada a necessidade de criar veículos específicos para aumentar o volume e alcance das informações geradas.

O Caderno de Química Verde está sendo lançado num momento crítico. Embora haja uma compreensão geral do que seja a sustentabilidade, o papel dos processos químicos na produção dos materiais que assegurem um padrão de vida confortável e seguro não é muito familiar ao grande público. Por exemplo, sabe-se que a produção de biocombustíveis depende bastante de química, mas é pouco provável que se associe estas mesmas fontes renováveis também à fabricação, de maneira sustentável, de muitos dos produtos usados no seu dia a dia. O Caderno mostrará como a química vem contribuindo para aumentar a sustentabilidade de vários aspectos da vida moderna.

O Caderno abordará a Química Verde através das seguintes seções:

Depoimento – Análise da atualidade; Cápsulas - Notícias curtas de relevância; Empresas – Atuação em segmentos importantes; Artigo técnico - Aplicações a segmentos específicos; Eventos e cursos.

A presente edição o artigo técnico é dedicada ao esporte. Os próximos serão dedicados a segmentos, como habitação, alimentos, saúde, agricultura, transportes e lazer, nos quais a Química Verde vem contribuindo substancialmente para assegurar a sua segurança e sustentabilidade.

**Peter Seidl**  
Editor

## Neste Caderno

16-1



Depoimento de Fernando Figueiredo, presidente da Abiquim, que fala sobre a Química Verde, o mercado da indústria química, situação econômica e as expectativas para a futuro.

16-6 QUÍMICA VERDE nas Empresas

Notícias da Dow;  
Braskem e Genomatica;  
Oxitenio;

16-7



A Química nos Esportes:  
Artigo de Peter Seidl sobre o uso da Química e seus processos

16-12 QUÍMICA VERDE em Cápsulas

Pré-tratamento da biomassa.  
Marinha ao azul.  
Plantas e os químicos sintéticos.

16-12 QUÍMICA VERDE Eventos

6º EBEQV

# Depoimento de Fernando Figueiredo, presidente da Abiquim (Associação Brasileira da Indústria Química)

**Evanildo da Silveira**

*Jornalista Convidado*

**Evanildo: O que é química verde?**

**Fernando:** O termo "química verde" é muito utilizado como sinônimo da química relacionada ao uso das matérias-primas renováveis. Para nós da ABIQUIM, "química verde" é um conceito mais abrangente. Ele engloba a redução do consumo de energia, água, matérias-primas e insumos químicos, por exemplo. Esta área é recente, por isso suas aplicações concretas ainda são pouco difundidas. Os exemplos mais citados pelos especialistas referem-se ao plástico desenvolvido pela Braskem, feito a partir do etanol da cana-de-açúcar e não de petróleo, e o próprio álcool etílico de segunda-geração, oriundo do bagaço da cana-de-açúcar. A Dow e a Rhodia Solvay também possuem projetos neste segmento que estão na fase embrionária. Com a queda do preço do petróleo, é de se esperar uma retração nos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) da química de

renováveis, pois seus processos são menos econômicos do que os petroquímicos.

**Evanildo: Como a indústria química, em geral, está sendo afetada pela crise econômica no Brasil?**

**Fernando:** O mercado brasileiro de petroquímicos, por exemplo, cresceu em média 25% acima do Produto Interno Bruto (PIB) nos últimos 20 anos. Entretanto, a desaceleração da economia e o aumento do desemprego e da inflação alteraram o comportamento do consumidor. A redução do consumo das famílias resultou na queda do ritmo da produção, dos investimentos e dos preços dos produtos fabricados pelos setores automotivos, de linha branca, têxtil e de máquinas e equipamentos, por exemplo, atingindo a rentabilidade e o crescimento da indústria química. Porém, a química existe na composição das roupas, das baterias dos relógios, dos automóveis, dos aparelhos de



FOTO: Abiquim

*"A química existe na composição das roupas, das baterias dos relógios, dos alimentos, dos automóveis, dos medicamentos, dos computadores, itens essenciais para a vida moderna."*

televisão, dos computadores, dos alimentos, dos medicamentos, entre vários outros itens essenciais para a vida moderna. Por isso, a produção de insumos químicos no Brasil apresentou um crescimento de 0,15% nos últimos 12 meses, enquanto o PIB retrocedeu 3,8% no mesmo período, o que

indica que muitos outros setores retraíram em resposta a queda do mercado de consumo nacional.

**Evanildo: O senhor vê perspectiva de mudança nesse quadro?**

**Fernando:** Enquanto não solucionarmos a crise política, não vejo nenhuma perspectiva de melhora. Apesar do Brasil possuir uma agricultura e uma indústria fortes e ter mão-de-obra qualificada disponível, a falta de confiança do consumidor e dos investidores têm levado ao agravamento da crise e a manutenção de altas taxas de juros para tentar controlar a inflação, o que prejudica o crescimento da indústria química.

**Evanildo: Como encontra-se a capacidade de produção neste cenário?**

**Fernando:** No momento, a indústria química está trabalhando com 78% da sua capacidade de produção instalada. Isso significa que, será possível aumentar em 22% a quantidade de produtos gerados para atender a um eventual aumento da demanda, sem que sejam realizados novos investimentos em infra-estrutura. Entretanto, a retomada do



crescimento econômico, após o fim da crise política, exigirá que novos investimentos sejam realizados.

**Evanildo: E a balança comercial dos produtos químicos foi afetada? Há superavit ou déficit?**

**Fernando:** Até março, o déficit na balança comercial de produtos químicos totalizou US\$ 24,2 bilhões, 4,7% abaixo dos US\$ 25,4 bilhões correspondentes ao mesmo período do ano anterior. Este é o menor valor alcançado para as importações deste setor desde 2011, quando foi registrado o record de US\$ 32,0 bilhões. Este recuo deve-se ao cenário da crise econômica. Mas ainda assim, este quantitativo foi o mais significativo em relação ao déficit de toda a industrial nacional no ano passado, juntamente com o setor de eletroeletrônicos.

**Evanildo: Por que ocorre este déficit na indústria química?**

**Fernando:** Metade deste déficit está relacionado aos defensivos agrícolas e fertilizantes, pois não há incentivos para o investimento em P&D nesta área no Brasil e

nem para o registro de novos produtos. No caso dos fertilizantes, a importação recebe incentivo fiscal do governo, desencorajando ainda mais a produção nacional para atender a demanda da agricultura.

**Evanildo:** *Existe alguma iniciativa para reverter este cenário?*

**Fernando:** Há cerca de cinco anos, a Abiquim propôs o “Pacto Nacional da Indústria Química” com o intuito de aumentar o potencial de investimentos e de desenvolvimento associados ao crescimento da indústria química no Brasil. Para cumprir este objetivo, identificou-se que haveria um potencial de investimento de US\$ 18 bilhões por ano, entretanto, o valor máximo realmente aplicado foi de apenas US\$ 4,8 bilhões até o momento.

**Evanildo:** *Quais são os principais entraves para a competitividade da indústria química nacional no mercado global?*

**Fernando:** A indústria química tem dois pilares fundamentais para ser competitiva: custo da matéria-prima e energia. A nafta é a

principal matéria-prima utilizada pela indústria química nacional, porém a nafta brasileira é a mais cara do mundo, mesmo após sofrer uma redução significativa de preços no mercado internacional. O gás natural, por sua vez, equivale a três vezes o preço de venda dos Estados Unidos. Enquanto as fontes renováveis ainda possuem valores pouco significativos de produtividade na indústria em relação as demais matérias-primas. O alto custo destas matérias-primas é, portanto, um dos principais fatores que tornam a indústria química brasileira pouco competitiva no mercado internacional, seguidos pela logística e inovação.

**Evanildo:** *Quais são as principais diretrizes traçadas pela indústria química brasileira para minimizar os efeitos das mudanças climáticas?*

**Fernando:** O governo brasileiro comprometeu-se a reduzir o impacto das mudanças climáticas até 2030. As metas de diminuição do desmatamento e do estímulo ao reflorestamento não irão impactar a

***“Temos o poder de mudar o futuro, agora, aqui. Somos a primeira geração a temer a mudança do clima e a última a fazer algo sobre isso”***

**Barack Obama,**

Presidente dos Estados Unidos da América em seu discurso na abertura da Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Clima (COP-21), em Le Bourget, nos arredores de Paris.

competitividade da indústria, ao contrário da redução das emissões de carbono. Em um levantamento realizado pela Abiquim, constatou-se que a indústria química brasileira já conseguiu reduzir 30% das emissões nos últimos anos. Os investimentos em P&D no Brasil, no entanto, são apenas a metade do que se investe no resto do mundo. O que compromete a competitividade deste segmento e os resultados positivos da balança comercial.



**Chuteira e bola sintéticos**

**Evanildo:** *É correto afirmar que existe um certo preconceito relacionado a indústria química?*

**Fernando:** Infelizmente a implantação desse preconceito tem origem na dualidade da química: alguns produtos são perigosos, mas também salvam vidas. Por exemplo, o contato em um ambiente fechado com um litro de cloro ou de cloreto de flúor em menos de um minuto pode levar uma pessoa a óbito. Porém, o cloro está entre as 50 maiores invenções na humanidade! Na idade média, as pessoas morriam porque bebiam água contaminada e o cloro surgiu para tratá-la. Já o cloreto de flúor é muito utilizado em diversos medicamentos. Ou seja, cabe aos profissionais da indústria química saber administrar os riscos com muita responsabilidade.

**Evanildo:** *A química verde já atingiu uma dimensão que justifique o lançamento de um caderno sobre ela?*

**Fernando:** Não tenho nenhuma dúvida que sim! Eu, inclusive, tenho muito interesse em escrever um artigo para o Caderno de Química Verde. As próximas edições serão dedicadas a habitação, alimentos, saúde, transporte, lazer, entre outros segmentos que estão sendo aprimorados

pela Química Verde. Estes temas são de extremamente importantes e estão sendo analisados pela Abiquim neste e nos próximos anos, sendo assim, acho que não há hora melhor para isso!

Também acredito que o caderno será um excelente meio de divulgação dos benefícios da Química Verde para a sociedade e para a troca de conhecimentos nesta área que é tão recente e promissora. Inclusive, a escolha do tema de lançamento "A Química Verde nos Esportes" foi bem apropriada, pois a incrível evolução da química poderá ser exemplificada de uma forma mais acessível e clara para o público em geral. No futebol, por exemplo, os uniformes dos atletas já não pesam mais dois quilos quando molhados, enquanto as bolas de futebol passaram do couro para o plástico e não ficam mais encharcadas quando em contato com a água. Ou seja, por meio destas duas aplicações comuns é possível ilustrar a importância da Química Verde para o conforto da vida moderna.

**Nota da redação:**

Agradecemos Adriana Goulart pela revisão do texto.

# QUÍMICA VERDE

## nas Empresas

### A Dow nos Jogos Olímpicos Rio 2016

A Dow, Companhia Química Oficial do Movimento Olímpico dos Jogos Rio 2016, está fornecendo tecnologia para diversas instalações olímpicas. A empresa está envolvida em cerca de 20 projetos ligados aos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016, abrangendo desde tecnologias para o campo de jogo até a construção de instalações olímpicas, transporte e infraestrutura da cidade-sede. A competição de hóquei, por exemplo, será realizada em um inovador gramado sintético de alta performance, que utiliza resinas de polietileno linear de baixa



densidade como matéria-prima dos fios, bem como tecnologias de poliuretanos da companhia. Além disso, os plásticos da Dow também são utilizados nos tubos de

drenagem e irrigação que ficam abaixo da grama natural do estádio do Maracanã, local das Cerimônias de Abertura e Encerramento, além de jogos de futebol.

A Vila dos Atletas, na Barra da Tijuca, também foi beneficiada por tecnologias da Dow. Produtos químicos de revestimento e construção foram utilizados no acabamento dos prédios que irão abrigar competidores. Tanques modulares de água, fabricados com resinas de propileno glicol, proverão o abastecimento de água potável para atletas, treinadores, funcionários e árbitros que participarão dos Jogos.

A empresa também irá ajudar a imprensa internacional a cobrir o evento. Garantindo a proteção e durabilidade aos cabos de dados e fios de eletricidade instalados em locais como Centro Olímpico de Tênis, Estádio Aquático Olímpico e Centro Principal de Imprensa (MPC) e o Centro Internacional de Transmissões (IBC). O MPC também conta com tecnologias da Dow nos painéis do Sistema de Isolamento e Acabamento Exterior (EIFS), que compõem a fachada do edifício.

### Genomatica e Braskem anunciam produção de butadieno renovável em laboratório

A Braskem e a Genomatica anunciaram

recentemente a produção de butadieno a partir de fontes renováveis. As duas companhias desenvolveram uma nova tecnologia, que usa um micro-organismo que consome açúcar e o converte em butadieno. As pesquisas começaram em 2013 e, por enquanto, a produção é em escala de laboratório, em fermentadores de dois litros.

Na busca pelo desenvolvimento do melhor processo, a Genomatica utilizou ferramentas computacionais na análise de todas as possíveis rotas biológicas teóricas através das quais um micro-organismo poderia produzir butadieno. Das sessenta, identificadas, as cinco melhores foram escolhidas para validação empírica pelas equipes das empresas.

Um grande número de enzimas foi testada por meio de amostragem ambiental e metagenômica em cada passo das rotas metabólicas potenciais. A Genomatica então aumentou em 60 vezes a atividade enzimática em substratos não nativos por meio de triagem de alta capacidade e engenharia enzimática. O trabalho apresenta boas perspectivas para as próximas fases de desenvolvimento e pode representar uma importante vantagem competitiva.

### Oxitenos conquista certificação internacional por produção sustentável com óleo de palma

A Oxitenos acaba de conquistar a certificação *Roundtable on Sustainable Palm Oil* (RSPO) pela produção sustentável de óleo de palma em cinco de suas fábricas no Brasil, duas em Camaçari (BA) e uma Mauá (SP), Tremembé (SP) e Suzano (SP). Agora, a empresa planeja obter a mesma certificação para outras unidades suas fora do país, ainda este ano.

Atualmente, 20% das matérias-primas da companhia são provenientes de fontes renováveis e 35% dos produtos em linha utilizam ingredientes da mesma categoria. Segundo óleo vegetal mais produzido no mundo, o de palma é amplamente utilizado em produtos cosméticos, alimentos e até mesmo na produção de combustível.

# A Química nos Esportes

**Peter Rudolf /Seidl**

*Escola Brasileira de Química Verde*

A realização dos Jogos Olímpicos no Rio de Janeiro apresenta uma ótima oportunidade para mostrar como a Química Verde está presente nos esportes. Equipamentos, uniformes, pistas e estádios de alto desempenho, fabricados a partir de produtos químicos estão por toda a parte (Ver matéria sobre a Dow em “Empresas”) enquanto a mídia vem dando grande destaque à punição de atletas pelo uso de substâncias químicas proibidas.

A substituição de matérias primas de origem fóssil por aquelas obtidas de fontes renováveis assim como o desenvolvimento de técnicas para o monitoramento de substâncias controladas, apontando seu uso indevido por atletas, fazem parte das contribuições da química para os esportes. Ambas estão se tornando cada vez mais verdes através do trabalho de centros de pesquisa de empresas, de universidades e do governo que estão aumentando a sustentabilidade dos processos, técnicas e materiais empregados. Já existem vários exemplos dos progressos que foram alcançados (ver matéria da Braskem/Genômica em “Empresas”).

## MATERIAIS ESPORTIVOS

### *Polímeros Sintéticos*

A busca de materiais usados na fabricação de equipamentos, uniformes e materiais de construção mais baratos e de melhor desempenho tomou um enorme impulso nos anos sessenta do século passado com o desenvolvimento do chamado couro sintético. Estes materiais eram inicialmente empregados em produtos com mercados mais significativos como vestuário, calçados e acessórios (bolsas e malas, por exemplo), refletindo uma tendência de substituir materiais tradicionais, como aço, madeira, pano e o próprio couro por polímeros sintéticos de menores preços e melhores propriedades.

À primeira vista, esta tendência pareceria oposta ao da sustentabilidade. No entanto estes polímeros atendem a critérios de sustentabilidade, como a redução da pegada ecológica das matérias primas utilizadas, podendo também ser reutilizados. Polímeros sintéticos substituem peles usadas em cintos e bolsas, ou o marfim usado em teclas de piano ou bolas de bilhar, contribuindo para preservar a vida selvagem. Matérias primas naturais devem ser cultivadas seguindo práticas sustentáveis (ver caso do óleo de palma na matéria da Oxiteno em “Empresas”, por exemplo). Alternativas mais verdes são analisadas para os materiais empregados na fabricação de equipamentos, uniformes e instalações para a prática de esportes mais adiante.

O esporte mais popular do mundo é, de longe, o futebol. A sua prática, em campos, quadras, praias ou salões, é regulada pela FIFA. A entidade preparou um manual de 92 páginas sobre o equipamento usado em jogos de futebol, inclusive uniformes dos jogadores e juizes, chuteiras, balizas, e redes, mas de longe, o mais importante é a bola.

Bolas também são usadas em jogos de basquete, vôlei, handebol, tênis, tênis de mesa, golfe, bilhar e boliche, entre outros.





Figura 1 - Bolas de material sintético usadas em diferentes e

Algumas são grandes, outras pequenas, macias ou duras, devem quicar ou não, mas todas tem em comum a alta tecnologia que é empregada na sua manufatura e nos testes dos materiais que lhes assegurem um determinado desempenho. Bolas frequentemente contém ar comprimido e vários tipos de revestimentos, colados ou costurados, que lhes conferem as propriedades requeridas. Exemplos de bolas fabricadas com polímeros sintéticos estão na figura 1.

A bola de futebol serve como um bom exemplo da combinação de materiais poliméricos usados na fabricação de equipamento esportivo. Testes e ensaios sofisticados são empregados para se chegar a uma bola que atenda a determinadas especificações. O seu peso não pode variar mais do que 50 g logo a quantidade e espessura dos revestimentos precisam ser cuidadosamente controladas. Sua circunferência não deve sofrer deformações e a pressão da bola não pode ultrapassar um bar.

Os materiais e processos usados para fabricar bolas veem evoluindo ao longo do tempo, acompanhando exigências e especificações cada vez mais rigorosas. A bola de futebol tem uma história interessante. Há registros de bolas de diversos tamanhos e materiais desde a antiguidade. As parecidas com as de hoje foram usadas na Idade Média quando o futebol já era largamente praticado na Europa. As bolas eram feitas de bexigas de animais e constantemente furavam e

sofriam deformações. A solução foi cobrir as bexigas com tiras de couro e costurá-las, tornando as bolas mais redondas e resistentes. A impermeabilização das bolas de couro era inicialmente feita com tintas e, mais recentemente, com um revestimento polimérico.

O futebol começou a ser reconhecido como esporte no século dezanove, resultando na formação de times e ligas e na profissionalização dos jogadores. A qualidade da bola também passou a ser importante; entretanto a bola redonda só foi inventada por volta da metade daquele século quando se tratou a borracha natural, que era pegajosa e facilmente deformada, por um processo conhecido por vulcanização que a torna rígida e durável. Estes avanços levaram ao estabelecimento das suas medidas oficiais em 1872. As especificações correspondentes são adotadas até hoje (ver Tabela 1).

As primeiras bolas de futebol produzidas a partir

**Tabela 1 - Especificações da Bola Oficial de Futebol**

Circunferência	→ 69 a 71 cm
Peso	→ 400 a 450 gramas
Pressão Oficial	→ entre 8.5 e 15.6 PSI
Diâmetro	→ 22 a 23 cm
Raio	→ 11 a 11.5 cm

de polímeros eram de poli(cloreto de vinila (PVC), mas este polímero se torna duro e quebradiço no frio e mole no calor. Uma solução melhor é o poliuretano (PU), um polímero muito versátil que tem diversas aplicações no esporte.

Uma bola de futebol moderna é constituída de uma câmara de ar, coberta com revestimentos internos e externos, e um pino, por onde o ar é introduzido ou retirado (ver Figura 2).

O revestimento externo é geralmente de PU, a forração é de algodão e poliéster e a câmara de ar é de látex ou borracha butílica. O PU e o poliéster servem de bons exemplos de como a bola está se tornando mais verde.



Figura 2 - Constituintes de uma bola de futebol

### **Poliuretano (PU)**

O poliuretano é um polímero muito versátil. Dependendo da forma como é fabricado, suas características de maciez podem variar bastante. Uma das formas é comumente usada em uniformes esportivos de Lycra, de razoável elasticidade. Também podem ser formadas espumas de PU através da passagem de um gás pressurizado no reator em que ocorre a polimerização. Esta espuma é usada tanto em sua forma macia, encontrada em acolchoamento, quanto na sua forma rígida, encontrada em embalagens, material isolante e pranchas de surfe. Além de bolas e uniformes, os estádios, residências e até as caixas de isopor usadas por atletas contém peças de PU. Este polímero pode estar presente até em atividades extra-campo, pois a sua forma elástica é bem mais resistente do que suas congêneres de látex, e preservativos feitos de PU são mais finos e sensíveis e asseguram uma melhor proteção contra doenças sexualmente transmissíveis.

O poliuretano (PU) é um polímero obtido a partir da reação de policondensação de moléculas de um diisocianato e um diálcool. Os principais diisocianatos são o metileno diisocianato (MDI) e o tolueno diisocianato (TDI). Embora exista uma variedade de métodos para a síntese de isocianatos, a fosgenação de aminas tornou-se o único método de importância industrial. Os isocianatos usados comercialmente têm ao menos dois grupos ativos contendo nitrogênio e oxigênio por molécula, que reagem com os polióis, água, extensores de cadeia e formadores de ligações cruzadas.

O processo leva a diversas reações laterais e, nas condições de fosgenação, a ureia, que é um subproduto, é convertida em carbodiimida. As reações seguintes da carbodiimida com fosgênio levam à incorporação de cloro no produto final. Existem também seus correspondentes alifáticos, como o hexametileno diisocianato (HDI) e o a diisoforona diisocianato (IPDI), mas os mesmos são usados para fins específicos e seu consumo é muito menor do que o dos aromáticos.

### **Poliésteres**

Poliésteres são formados pela condensação de diácidos e dióis. Como muitas combinações destes monômeros são possíveis estes polímeros apresentam propriedades singulares, como a formação de fibras longas, fortes e estáveis. Combinadas com algodão encontraram logo aplicações na confecção de roupas que não amarrutam e são facilmente lavadas. O seu emprego sob a forma de polietileno tereftalato (PET) é mais recente, mas o PET logo passou a substituir o vidro em garrafas plásticas transparentes já que a sua fabricação e transporte requerem muito menos energia. Tem a vantagens de apresentar processos de fabricação que as torna mais resistentes e recicláveis e não formar fragmentos afiados de todos tamanhos quando quebram.

### **Polímeros mais Verdes**

Um dos grandes desafios da química verde é tornar certos plásticos mais sustentáveis. As principais opções são: encontrar fontes renováveis de matérias primas para polímeros de largo emprego, gerando produtos semelhantes aos já existentes (tipo “drop-in”) ou a busca de polímeros alternativos, também obtidos de fontes renováveis, que apresentam as propriedades requeridas (tipo “não drop-in”).

PU e poliésteres são produtos de condensação e os tipos de polímero mais comuns contém uma parte aromática e outra alifática. A natureza é pródiga na oferta de cadeias alifáticas funcionalizadas. O Brasil já foi um dos maiores produtores mundiais de derivados do etanol, inclusive os contendo carbonilas e/ou duplas ligações, enquanto a glicerina é um subproduto obtido

na transesterificação de óleos vegetais para formar biodiesel. Já a parte aromática representa certas dificuldades, como observado para o PU e o poliéster.

A fabricação do PU representa um enorme desafio para a Química Verde. Sua parte aromática resulta da síntese de isocianatos como MDI e TDI e é baseada em reagentes altamente tóxicos e perigosos como o fosgênio (o descontrole na reação de MDI com água foi responsável pelo desastre de Bhopal, um dos piores acidentes já sofridos pela indústria química, resultando em quase dez mil mortes em 1984). Há outras rotas menos agressivas baseadas no uso de reagentes menos tóxicos com propriedades semelhantes ao fosgênio, como cloroformatos ou carbonatos, mas alternativas verdes devem evitar totalmente métodos que geram produtos tóxicos e o uso de cloro na sua formação. Trabalhos recentes apresentam várias rotas promissoras mas ainda há uma distância considerável entre as etapas de laboratório e processos industriais alternativos.

Os poliésteres estão entre os candidatos mais promissores na obtenção de polímeros mais verdes, já que seus monômeros são bastante acessíveis a partir da biomassa. Existem numerosas fontes renováveis como açúcares e seus derivados, óleos vegetais, ácidos orgânicos, entre outros que podem ser empregados na sua síntese e os principais obstáculos para a sua adoção são de natureza financeira. Poliésteres, como o ácido polilático (PLA) obtidos a partir de renováveis são comercialmente competitivos. No caso do PET, a principal matéria prima aromática é o ácido tereftálico obtido da oxidação do p-xileno. O frasco de refrigerante de PET denominado "plant bottle" é um éster no qual o polietileno glicol é obtido de fonte renovável e há vários trabalhos em andamento para substituir o anel benzênico por um segmento renovável como o ácido 2,4-furancarboxílico ou substâncias extraídas da lignina.

### ***Oportunidade para Matérias Primas Renováveis***

As vantagens comparativas do Brasil num cenário onde predominam critérios como a sustentabilidade e a valorização de matérias primas

renováveis são significativas (veja Depoimento de Fernando Figueiredo). O recente estudo sobre o Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira do BNDES e Finep analisou os produtos mais promissores e verificou que, algumas rotas alternativas com base na biomassa já estão mais competitivas do que as tradicionais. Tais rotas deverão se tornar dominantes e, para quinze deles (entre os quais vários monômeros usados na fabricação de PU e poliéster), foram identificadas perspectivas de substituição das rotas tradicionais por rotas renováveis inovadoras.

## **MONITORAMENTO DE SUBSTÂNCIAS CONTROLADAS**

### ***O Doping***

A recente suspensão da Rússia de competições internacionais de atletismo é uma das mais visíveis consequências do doping, mas, infelizmente, não é um caso isolado. A tenista mais bem paga do mundo perdeu todos os seus patrocínios após ser flagrada com níveis de uma substância contida em remédios acima dos limites permitidos e o ciclismo perdeu um de seus mais conhecidos campeões por causa do seu repetido uso de substâncias proibidas. As Olimpíadas vem sendo abaladas por escândalos de doping e amostras coletadas em Londres em 2012 e em Pequim em 2008 estão sendo reanalisadas, podendo ainda resultar em punições para podem ainda resultar em punições para os atletas e suas federações.

Um cafezinho pode parecer inocente para quem vai competir, mas contém cafeína, um forte estimulante que, juntamente com outro alcaloide comum, a nicotina, é monitorado pela WADA, ou World Anti-Doping Agency, e seu consumo é limitado a certos níveis. Há outras substâncias químicas que constam da lista da Agência que são proibidas, até em quantidades mínimas.

### ***Química Analítica Verde***

A identificação destas substâncias e sua determinação quantitativa requerem técnicas analíticas sofisticadas.

À primeira vista, pode parecer que as quantidades presentes nas amostras são mínimas.

Entretanto os procedimentos utilizados para extrair e separar as moléculas que devem ser determinadas, a necessidade de repetição destas análises, o uso de insumos como gases de alta pureza e instalações especiais para operar os equipamentos e o descarte de diferentes tipos de substâncias requerem abordagens para torna-los mais verdes e sustentáveis.

A determinação quantitativa das substâncias que constam da lista da WADA é normalmente feita através de métodos cromatográficos e espectroscópicos que requerem o pré-tratamento das amostras para concentrar e extrair estas substâncias ou seus metabólitos.

As respectivas estratégias analíticas dependem do tipo de substância a ser analisada, e nem sempre a sua escolha é baseada na própria substância. É fundamental conhecer seu metabolismo e o tempo que leva para ser decomposta pode ser mais importante do sua quantidade na escolha da molécula alvo. Por exemplo, a análise de esteróides anabólicos androgênicos geralmente é feita por espectrometria de massa (MS).

Estas moléculas passam por extensas transformações e seu metabolismo deve ser estudado para escolher qual deve ser monitorada. A técnica pode ser baseada em diferentes tipos de espectrômetro de MS acopladas a cromatografia gasosa (GC) ou líquida (LC).

Os fundamentos da Química Analítica Verde são muito semelhantes aos da Química Verde. Os objetivos são:

- > Reduzir os impactos negativos ao meio ambiente e introduzir práticas sustentáveis na química analítica através de metas como: eliminação ou redução de do uso de substâncias químicas como solventes, reagentes, aditivos, etc.;
- > Minimização do consumo de energia, práticas adequadas para o descarte de resíduos e maior segurança para os operadores.

Um interessante exemplo de como tornar este tipo de análise mais verde é proporcionado

pela extração de alcaloides para a dosagem de cafeína, efedrina e alcaloides do ópio presentes em urina.

Esta análise é feita por MS e requer um pré-tratamento para aumentar a concentração de metabólitos, podendo ser necessárias hidrólises e transformação em derivados, requerendo várias etapas.

Uma extração bem mais verde é realizada usando sistemas aquosos bifásicos (ABS). Estas soluções são imiscíveis embora ricas em água e, na presença de sais inorgânicos, se consegue extrair algumas moléculas mais simples, como alcoóis ou fenóis.

Certos líquidos iônicos são capazes de extrair cafeína e nicotina da urina humana em uma etapa. Em lugar de extrações sólido-líquido ou líquido-líquido, compostos orgânicos voláteis (VOC) são substituídos por pequenas quantidades de líquidos iônicos recicláveis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Adriana Goulart e Estevão Freire, da Escola de Química da UFRJ, e Julio Afonso, do Instituto de Química da UFRJ, pela revisão do texto e sugestões de conteúdo.

## BIBLIOGRAFIA

- > Bain & Company e Gas Energy, Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira, Relatório 4, [www.finep.gov.br](http://www.finep.gov.br).
- > Emsley, J., *A Healthy, Wealthy Sustainable World*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2010.
- > Freire, M.G. et al., *Green Chem*, 2010, **12**, 1715–1718.
- > Gomez, C. et al., *Trends in Analytical Chemistry*, 2014, **53**, 106-115.
- > Kreye, O. et al., *Green Chem*, 2013, **15**, 1431-1455.
- > Vilela, C. et al., *Polym Chem*, 2014, **5**, 3119–3141.
- > [www.fifa.com](http://www.fifa.com)
- > [www.football-bible.com](http://www.football-bible.com)
- > [www.wada-ama.org](http://www.wada-ama.org)

# QUÍMICA VERDE

## em Cápsulas

◆  pré-tratamento da biomassa para a sua conversão por enzimas e micro-organismos muitas vezes requer condições bastante severas como o uso de ácidos, bases, temperatura ou pressão, podendo levar também a reações indesejadas. Uma nova estratégia de pré-tratamento de material lignocelulósico que combina solventes com ácidos diluídos vem mostrando resultados promissores, reduzindo o consumo de enzimas e aumentando a conversão da biomassa contida em

espigas de milho em açúcares e etanol.



◆ *G*eralmente se associa a marinha ao azul. Entretanto parece que duas das mais emblemáticas, estão ficando cada vez mais verdes. A mais poderosa (dos EUA) está substituindo suas fontes de combustíveis por produtos obtidos da biomassa enquanto a mais charmosa (da França) está introduzindo materiais sustentáveis nos seus uniformes.



◆ *Q*uem é do ramo sabe que as plantas são os químicos sintéticos mais competentes que há. Até agora o problema era a extração do material desejado do meio, o que poderia exigir mais de vinte etapas. A solução encontrada por algumas companhias farmacêuticas foi identificar os micro-organismos responsáveis, produzi-los por biologia sintética e executar as suas reações em tanques de fermentação.

## QUÍMICA VERDE

### Eventos

#### 6º Encontro da EBQV

O Brasil tem um reconhecido potencial para a geração de tecnologias a partir de biomassa como matéria-prima, devido às suas fortes indústrias agrícolas e florestais. A geração de produtos e subprodutos de fontes renováveis é bastante expressiva, o que justifica o fato de que muitas indústrias dos setores de bioenergia, química e de especialidades identificaram o país como um lugar apropriado para o estabelecimento de parcerias e desenvolvimento de suas pesquisas. Neste sentido, o VI Encontro da Escola Brasileira de Química Verde abordará o tema “**Biorrefinarias: A matéria-prima definindo o processo**”, que acontecerá nos dias 26 e 27 de setembro de 2016, no CTBE em Campinas, SP. O Workshop contará com sessões plenárias, técnicas e uma sessão de pôsteres.

Maiores informações: <http://pages.cnpem.br/quimicaverde>.

### *Expediente*

O Caderno de Química Verde é uma publicação da Escola Brasileira de Química Verde. Tem por objetivo divulgar fatos, entrevistas, notícias ligadas ao setor.

**Editor Responsável:**  
Peter Rudolf Seidl.

#### **Conselho de Redação:**

Adriana Karla Goulart, Evanildo da Silveira, Julio Carlos Afonso, Roberio Fernandes Alves de Oliveira.

#### **Consultor Senior:**

Celso Augusto Caldas Fernandes.

#### **Diagramação e arte:**

Adriana dos Santos Lopes.

#### **Contato:**

quimicaverde@eq.ufrj.br

É permitida a reprodução de matérias desde que citada a fonte.

Os textos assinados são de responsabilidade de seus autores.