

# CADERNO DE QUÍMICA VERDE

Ano 4 - Nº 12 - 1º trimestre de 2019

## *Neste Caderno*

### 16-3



Reflexões sobre o clima,  
sustentabilidade e  
Química Verde

### 16-8



Oportunidades e Desafios  
na Cadeia Produtiva  
do Biodiesel.

### 16-18



EQHands-On – uma nova  
abordagem didática em  
engenharia de processos

### 16-2

Editorial

### 16-11

**QUÍMICA VERDE**  
em Cápsulas

Moléculas com formas difíceis  
obtidas por implosão

Nanoestruturas tridimensionais  
de carbono

### 16-12

**QUÍMICA VERDE**  
nas Empresas

MEG verde da Braskem e Topsoe

Nova gestão do Centro de  
Biotecnologia da Amazônia

### 16-13

Ressonância magnética  
nuclear em baixo campo  
RMN-DT - análises rápidas e verdes

### 16-22

**QUÍMICA VERDE**  
Eventos

Yale-UNIDO Train-the-Facilitator  
Workshop in Green Chemistry

IX EEBQV

Ao completar seus primeiros dez anos de existência no Brasil a Química Verde passou por vários avanços e retrocessos. Felizmente, a partir do início deste ano, quase todos os sinais são bastante encorajadores. O mais emblemático é o “Green New Deal”, submetido ao Congresso dos EUA em fevereiro. Esta iniciativa, que tem por objetivo incentivar a adoção de um novo modelo econômico que tire os Estados Unidos da liderança dos países mais poluidores do planeta, evoca recordações do conjunto de reformas que pautou o desenvolvimento americano após a crise financeira de 1929. Ainda é cedo para avaliar os seus impactos e sua capacidade de promover uma economia mais verde e equitativa, mas o fato de que foi proposto por novas lideranças políticas, credenciadas por expressivas votações, e que despertou grande interesse em Washington é muito significativo! Outras manifestações, tanto por parte da Organização das Nações Unidas (ONU) quanto do Fórum Econômico Mundial, realizado em Davos, Suíça, em janeiro deste ano, são comentadas em **DEPOIMENTOS**. É encorajador saber que a ONU ouve consultores do mais alto calibre ao assumir suas posições. Também é digno de nota que tanto um dos mais influentes formuladores de opinião dos maiores detentores do PIB mundial quanto um político de centro-esquerda, recentemente eleito para dirigir um pequeno país que vem investindo pesadamente na recuperação de sua cobertura florestal, são capazes de chegar a denominadores comuns face aos desafios atuais.

No plano nacional, após uma avalanche de más notícias, tanto na área econômica quanto na ambiental, parece que a maré está finalmente mudando. O Conselho Federal de Química, que nas palavras de sua saudosa Presidente, Hebe Martelli, “tem por finalidade proteger a sociedade da Química”, está sendo reformulado após muitos anos de baixa visibilidade. Seu planejamento estratégico não deixa dúvidas sobre seus novos rumos. Seu propósito é de “Promover a atividade plena da Química, com vistas a contribuir para o desenvolvimento sustentável do país”. **DEPOIMENTOS** selecionou trechos das edições passadas do Caderno que refletem suas posições sobre a química verde no cenário nacional.

Também em termos de **EVENTOS**, o início do ano trouxe as excelentes notícias desta edição, como a conclusão de importante etapa do Projeto UNIDO-Yale-ISI Química Verde que trouxe John Warner, um dos formuladores da própria Química Verde, ao Brasil para o Workshop “Treine os Facilitadores” e a conferência sobre “Química Verde: Criando um Futuro Sustentável”. As atividades da semana incluíram ainda uma mesa-redonda sobre: “Oportunidades e Desafios para a Química Verde no Brasil”. Neste ano acontecerão ainda as Reuniões da Rede dos Centros de Pesquisa em Química Verde no final de maio (no Rio de Janeiro, RJ) e no início de junho (em Piracicaba, SP) assim como o IX Encontro da Escola Brasileira de Química Verde previsto para final de agosto, em Uberlândia, MG.

Boas notícias têm sido mais frequentes em **EMPRESAS**. Logo no início do ano passado o Caderno anunciou a inauguração do novo centro de pesquisas da Croda, em Campinas, SP. Trata-se de um conjunto de instalações que está em condições de estabelecer parcerias com pesquisadores de universidades e centros de pesquisas no desenvolvimento de produtos e processos que atendam atuais critérios de sustentabilidade (Caderno 8, pág. 12-8). Já no 3º Trimestre entrou em operação a fábrica da Suzano Papel e Celulose em Limeira, SP, para a produção de lignina e seus derivados. Assim abrem-se novas oportunidades para substituir derivados de petróleo por produtos de alto desempenho baseados em matérias primas renováveis. (Caderno 10, pag. 22-6). E as boas notícias não param nestes dois casos. A notícia da transferência do ISI Biossintéticos para o Parque Tecnológico da UFRJ está na mesma edição do Caderno (pág. 22-8). A entrada em operação das primeiras unidades está prevista para o segundo semestre deste ano. Já na presente edição, o anúncio da partida da unidade de demonstração do monoetilenoglicol (MEG) a partir de açúcares de diversas biomassas, desenvolvido pela Braskem em parceria com a Haldor Topsoe, reforça sua posição de liderança no continente na busca de polímeros produzidos a partir de matérias primas renováveis. A passagem da administração do Centro de Biotecnologia da Amazônia para ABBio põe fim a uma situação de instabilidade institucional na gestão de um complexo de instalações físicas que cobrem 12.000 km<sup>2</sup> de área construída e incluem 25 laboratórios, uma planta piloto para processos em escala Industrial, uma Incubadora de empresas de base tecnológica, um biotério e uma unidade de produção de extratos, igualmente importante são os conhecimentos acumulados por seus pesquisadores e técnicos ao longo dos anos e que correm um sério risco de serem dispersos e perdidos se não forem logo aplicados a questões urgentes, vinculadas ao aproveitamento dos recursos da região de maneira sustentável.

Novas oportunidades proporcionadas pelo uso de subprodutos de fabricação do biodiesel na obtenção de substâncias empregadas na indústria química, as vantagens da adoção de novas técnicas não-destrutíveis na análise de derivados da biomassa e os resultados obtidos por uma organização voluntária que estuda inovações no ensino de engenharia de processos que resultam em aumentos de eficiência na operação de unidades industriais são abordados em **ARTIGOS TÉCNICOS**. Duas contribuições da criatividade no desenho de processos para obtenção de materiais com as propriedades desejadas com um mínimo de custos são apontadas em **CÁPSULAS**.

Peter Seidl, Editor



No Ano 2000 a Organização das Nações Unidas consolidou as metas estabelecidas nas conferências mundiais ao longo dos anos 90 que tinham por objetivos o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza no mundo. O resultado ficou conhecido como os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).

Embora nem todas as metas tivessem sido alcançadas no prazo previsto houve avanços indiscutíveis no nível de vida e na melhoria da qualidade da educação e da saúde que estão ao alcance de segmentos menos favorecidos da população.

Uma conscientização de que hoje as todas as pessoas estão interconectadas e precisam contribuir para o bem-estar geral já é um enorme avanço. Sendo este um dos fundamentos do desenvolvimento sustentável e, portanto, da química verde.

Depoimentos fez uma seleção de manifestações recentes sobre estas questões, tanto das publicadas em edições anteriores, quanto daquelas consideradas particularmente apropriadas para enfrentar desafios atuais.

***“A consecução dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio requer uma parceria global apropriada a um mundo interconectado. O mundo realmente***

***compartilha um destino comum.”***

Jeffrey D. Sachs ,  
<http://www.institutoatkwvh.org.br/compendio/?q=node/19>, acesso em 8 de março.

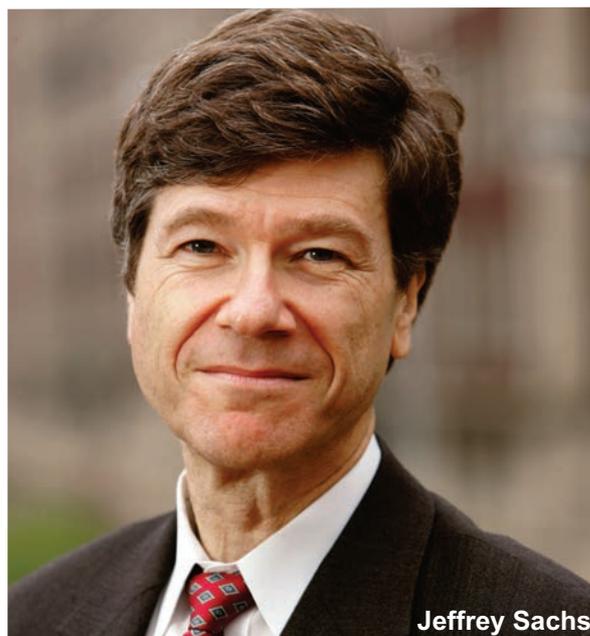


FOTO: Wikipédia

Jeffrey Sachs

Não obstante o progresso alcançado, tudo indica que o atual momento é de profundas mudanças.

O mundo passa por um era de rápida inovação tecnológica ao mesmo tempo que questiona alguns dos valores que impulsionaram estes avanços, como a globalização, a capacidade de auto regulação de mercados e redes sociais e, acima de tudo, os recursos que sistemas democráticos dispõem para enfrentar desafios

como a desigualdade, a intolerância e o nacionalismo.

A própria natureza também contribui com fenômenos climáticos, cada vez mais frequentes e severos, que propagam a morte e destruição.



Carlos Alvarado Quesada

***“Vamos viver mais tempo neste mundo e sentir os efeitos devastadores das mudanças climáticas. Quando envelhecermos nos perguntarão se fizemos o suficiente a respeito. Precisamos responder esta pergunta hoje, agora... e mostrar que... sustentabilidade e crescimento podem caminhar de mãos dadas. A sustentabilidade gera inovações, novos desenvolvimentos, novos empregos. Nossa tarefa é mostrar como isto é possível.”***

Carlos Alvarado Quesada, Presidente da Costa Rica, Time, 18-25 de Fevereiro, 2019, p. 23.

\* \* \*

***“Os grandes desafios... não são solucionadas apenas por mudanças, precisam assumir uma forma... ser definidas por seres humanos, por formuladores de políticas, por pessoas...Precisamos criar novos mecanismos e instituições preparadas para os novos desafios...Se não for capaz de manter a confiança, um negócio***

***não é sustentável...Temos definido nossas metas com base na produção e consumo. Talvez agora possamos deslocar esta narrativa para a solidariedade e parceria...Hoje já se nota uma tendência no sentido de produtos mais saudios. A próxima etapa será comprar produtos que não causam danos ao meio ambiente, que não são produzidos em condições inaceitáveis para os trabalhadores.”***

Klaus Schwab, Fundador do Fórum Econômico Mundial, Time, 4–11 de Fevereiro, 2019, p. 63.



Klaus Schwab

\* \* \*

A Escola Brasileira de Química Verde foi criada dez anos atrás com o objetivo de estudar e promover as contribuições dos processos químicos para o desenvolvimento sustentável do país.

O lançamento deste Caderno partiu da constatação de que, embora haja uma conscientização geral do que seja a sustentabilidade, o papel dos processos químicos na produção dos bens e serviços que assegurem

um nível adequado de segurança e bem-estar nem sempre é compreendido pelo grande público.

Seguem trechos relevantes dos Depoimentos que constam de suas páginas.

\* \* \*

***“Química Verde é um conceito mais abrangente que o uso de matérias primas renováveis...engloba a redução do consumo de energia, água, matérias primas e insumos químicos, por exemplo...”***

Fernando Figueiredo, Abiquim, Caderno 1, p. 22-3.



\* \* \*

***“A Química Verde possui um papel central nos projetos atuais de inovação para aumentar a competitividade da indústria química brasileira.”***

Carolina Andrade, Instituto Senai de Inovação Biomassa, Caderno 10, p. 22-3.



***Há um déficit de empreendedorismo ... em segmentos como os baseados em processos químicos, nos quais haja necessidade de investimentos em infraestrutura para a realização de provas de conceito.”***

José Carlos Pinto, Polo de Tecnologia da UFRJ, Caderno 9, p. 20-3.



\* \* \*

***“Em qualquer modelo de Química Verde, além do social e do ambiental há que se incluir o econômico...sem esse não é sustentável e, portanto, não é verde ... Química Verde é uma filosofia, um processo. Não se pode dizer “sou verde” e sim “sou mais verde”.***

Eduardo Falabella de Sousa-Aguiar, Escola de Química da UFRJ, Caderno 3, p. 10-2.



***“O componente experimental torna-se imperativo considerando a complexidade das matérias primas e o seu processamento, seja ele físico, químico e/ou bioquímico.”***

Carlos Vaz Rossell, Consultor, Caderno 4, p.14-7.

FOTO: CNPEM



RQI 749 - 3º TRIMESTRE 2015  
Edição com o tema Química Verde

\* \* \*

\* \* \*

***“...a experimentação do ensino de química acaba...se limitando a demonstrações e verificação de conceitos..., o mais importante é a utilização dos experimentos para materializar o método científico de investigação.”***

Antonio Aprígio S. Curvelo, USP-São Carlos, Caderno 4, p.14-8

FOTO: iea-usp



***“... o grande desafio é importar cérebros para o nosso desenvolvimento científico e tecnológico...não do exterior, ...os desperdiçados nas comunidades, nos morros, nas periferias, nos mangues e que precisam ser inseridos em um projeto de desenvolvimento nacional.”***

Luiz Davidovich, Academia Brasileira de Ciências e Instituto de Física da UFRJ, Caderno 4, p.14-2

FOTO: UFMG



*“Estudávamos (eu e meus irmãos) porque nossos pais entendiam que só através da educação poderíamos chegar a um nível de qualidade de vida melhor do que eles tiveram...”*

J. Walkimar de M. Carneiro, Instituto de Química da UFF, Caderno 7, p.,28-2.



José Walkimar Carneiro

FOTO: RQI

## Reunião da Rede de Centros de Química Verde

A reunião deste ano da G2C2 Network, que tem por objetivo conectar centros de química verde em todo mundo, visa discutir tópicos como:

- ▶ "Networking" e conferências;
- ▶ Educação e envolvimento comunitário;
- ▶ Engajamento com a indústria;
- ▶ Oportunidades: financiamento, pesquisa, bolsas e intercâmbio.

Inicialmente prevista para Toulouse, na França, este ano a Reunião será compartilhada também com duas cidades brasileiras.

A sua programação está prevista para:

- ▶ 31 de maio, Rio de Janeiro, RJ.
- ▶ 3 de junho, Piracicaba, SP.
- ▶ 4 de junho, Toulouse, França.

**G2C2 : Global Green Chemistry Centres**

Connecting established and fledgling Green Chemistry Centres

Emphasis on:  
Networking,  
Education,  
Outreach,  
Industrial collaboration,  
Funding opportunities,  
Policy advancement

2015: UMass, Boston, USA

2014: UCT, Cape Town, RSA

2016: Sichuan University Chengdu, China

2013: University of Delhi

2017: Melbourne, Australia

Over 32 Centres worldwide

# Oportunidades e Desafios na Cadeia Produtiva do Biodiesel

Maria Luíza A. de Lemos, Priscilla F. F. Amaral, Maria José O. C. Guimarães,  
Luis E. Duque Dutra e Peter R. Seidl

*Escola de Química da UFRJ*

Os avanços recentes na direção de uma economia de baixo carbono estão alinhados com o resultado da Conferência da Partes (COP 23) realizada em Novembro de 2017, em Bonn, na Alemanha, com a presença de representantes governamentais e independentes dos Estados Unidos. Respondem a um clamor por mais "mais ambição" no combate ao aquecimento global. Para cumprir as metas do Acordo de Paris, o acordo internacional para reduzir as emissões e aquecimento do planeta mantendo o aumento da temperatura global abaixo de 2°C. O Acordo entrou em vigor em 4 de novembro de 2016.

Nas questões abordadas na COP 23 podem ser destacadas: - O Powering Past Coal Alliance, uma coalizão que visa acelerar a eliminação do carvão mineral de uma maneira "sustentável e economicamente inclusiva" que resultou da análise que demonstra que a medida é necessária até 2030 na OCDE e na UE28 e, no mais tardar até 2050, no resto do mundo, para que o Acordo de Paris seja cumprido; - A Internacional Energy Agency (IEA) lançou o "Clean Energy Transitions Programme" que é um novo plano plurianual de 30 milhões de euros apoiado por 13 países para facilitar transições para uma energia limpa em todo o mundo.

O desenvolvimento de tecnologia e a redução de custos de adoção de fontes renováveis de energia já levaram indústrias tradicionais, como a automotiva e de geração de eletricidade a repensarem suas estratégias de médio e longo prazo de modo a atender as metas do acordo de Paris. Entretanto, até que novos meios de transporte atinjam o grau de autonomia e desempenho exigidos pela sociedade de hoje, os biocombustíveis continuarão a desempenhar um papel central na busca da sustentabilidade. Segundo a IEA o consumo de

biocombustíveis foi de 81 mtoe (milhões de toneladas de óleo equivalente) em 2017, que representa um crescimento de quase cinco por cento entre 2010 e 2017. O objetivo traçado pela IEA para 2030 é de um consumo de biocombustíveis de 284 mtoe, o que significa um crescimento de dez por cento ao ano. Em 2017 o Brasil foi responsável por 23 por cento do consumo mundial de biocombustíveis, fato que mostra que o país está alinhado com o objetivo de baixar a emissão de CO<sub>2</sub>, e que, além do etanol, o consumo de biodiesel representa boas perspectivas de crescimento. A sua produção em 2018 foi aproximadamente cinco vezes superior à produção de 2008 a taxa de crescimento anual sendo de 13,5 por cento nos últimos dez anos em função do aumento da proporção do biodiesel no diesel comercializado no país (cresceu gradativamente de dois para dez e deve chegar aos 15 em 2023).

## Matérias-primas e processos para a produção de biodiesel

O Biodiesel é normalmente obtido a partir de óleos vegetais, gorduras animais e óleos produzidos por microrganismos (algas e leveduras). Segundo a ANP as principais matérias-primas utilizadas no Brasil em 2018 foram: Óleo de soja (67,75%), gordura bovina (12,30%) e mistura de matérias-primas tradicionais em tanque e reprocessamento de subprodutos gerados na produção de biodiesel (11,67%).

Estes resultados estão em linha com a condição do país de ser um dos maiores produtores mundiais de soja e de carne bovina. Investimentos na melhoria da tecnologia agropecuária permitem uma evolução significativa no máximo aproveitamento da matéria-prima inicial.

A transesterificação de óleos e gorduras é um processo dominado pela indústria para obtenção de biodiesel. Este processo gera dez por cento de glicerina bruta (glicerol). De forma geral, a glicerina resultante da transesterificação contém cerca de 75 a 80 por cento de glicerol e impurezas como água, sais, ésteres, álcool e óleo residual.

### Novas oportunidades

#### *Biodiesel a partir de leveduras*

Uma fonte promissora de matérias-primas para produção de biodiesel é a utilização de óleos de origem intracelular provenientes da extração de lipídios acumulados por leveduras durante seu crescimento celular. Os óleos microbianos (*Single Cell Oils*) são óleos comestíveis produzidos por organismos unicelulares, como fungos, bactérias, leveduras e algas. Estes microrganismos têm a habilidade de acumular uma percentagem entre 20 a 70 de lipídios em sua biomassa. Para uma levedura oleaginosa produzir a máxima quantidade possível de lipídios, é necessário que o meio de cultivo seja formulado com um conteúdo de nitrogênio que esteja exaurido depois de um dia. Com isso, a proliferação celular é impedida, e toda a fonte de carbono assimilada é convertida em material de reserva dentro das células. Este material pode ser composto por triglicerídeos, polissacarídeos ou polihidroxicanoatos segundo Papanikolau e Angelis (2002).

Muitas leveduras têm sido selecionadas para produção de óleos intracelulares. Diferentes tecnologias, incluindo várias configurações de fermentação, já estão sendo utilizadas para a produção de lipídios por diferentes leveduras.

Embora muitos microrganismos possam ser cultivados usando diversas fontes de substratos, inclusive matérias-primas de baixo valor agregado como a glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel, a extração e obtenção desse óleo é um grande desafio para viabilizar a rota técnica e economicamente

Contudo, vale a pena ressaltar que o óleo produzido por algumas leveduras apresenta composição de interesse maior para produção de biodiesel como é o

caso do perfil lipídico do óleo intracelular da levedura *Yarrowialipolytica* que contém 14,7 – 23,1% de ácido palmítico (16:0), 47,1 – 68,3% de ácido esteárico (18:0), 6,9-18,2% de ácido oléico (18:1), 2,2-8,9% de ácido linoléico (18:2) conforme apontado por Fickers e colaboradores (2004).

#### *Derivados da Glicerina*

Em 2010, o Departamento de Energia dos Estados Unidos identificou o glicerol (ou glicerina bruta) como uma plataforma promissora para obtenção de insumos químicos, porque atende diversos critérios tais como: a existência de tecnologias em desenvolvimento e adaptáveis para a produção de diferentes produtos; Os produtos obtidos podem substituir aqueles obtidos via petroquímica; As tecnologias permitem obter volumes em escala industrial e que podem ser comercializados; O glicerol é uma plataforma química para uma biorrefinaria; Os produtos de origem bio são aceitos e reconhecidos no mercado, já que tem as mesmas propriedades e produção e são responsáveis por uma menor emissão de gás carbônico.

O processo de transesterificação para obtenção de biodiesel é responsável pela produção global de mais de 65% da glicerina bruta no mundo. No Brasil foram produzidos 540 mil ton, em 2018, em conjunto com a produção de biodiesel. A projeção para 2024 sugere uma coprodução com o biodiesel próxima de 1,1 milhões de toneladas.

Esta estimativa baseia-se numa indústria com estrutura tecnológica, um governo que estimula o aumento da adição de biodiesel ao diesel comercializado no país (em 2024 o percentual volumétrico de biodiesel adicionado ao diesel será de 15 por cento), na disponibilidade de matéria-prima (principalmente gordura bovina e soja) e no compromisso de reduzir as emissões de gás carbônico.

Atualmente a glicerina bruta é imprópria para a maioria das aplicações nas indústrias farmacêutica e cosmética. A sua purificação permite a obtenção de uma glicerina purificada que apresenta um maior número de aplicações e um valor comercial da ordem de 2,3 vezes o valor da glicerina bruta.



**Reator de bioprocessos do Laboratório de Engenharia Bioquímica da Escola de Química da UFRJ**

Munire, e colaboradores (2019) afirmam que existem sete tecnologias para a purificação do glicerol, e a utilização de uma tecnologia deve ser a menos intensiva em energia para um determinado índice de purificação. Os resíduos aproveitados desta purificação geralmente são ácidos graxos e sais. Outro aspecto que contribui para a decisão de purificar ou não é: Para cada litro de biodiesel vendido, se a produção correspondente de glicerina for comercializada na forma bruta, a receita aumenta em seis por cento, se for vendida na forma purificada, a receita aumenta doze por cento.

Um aumento na sustentabilidade da cadeia produtiva do biodiesel está associado à conversão do glicerol ou glicerina purificada em produtos de elevado valor agregado. As suas novas aplicações contribuem para minimizar os impactos ambientais gerados pelo seu descarte e/ou acumulação. Neste contexto, o desenvolvimento de tecnologias de valorização do glicerol tem sido fundamental para a continuidade e ampliação da cadeia produtiva do biodiesel.

Este coproduto pode ser convertido em

combustíveis e intermediários químicos de valor industrial tanto por síntese química quanto por conversão biotecnológica. Os produtos que podem ser obtidos via rota química são: insumos, como: 1,2 propileno glicol, acroleína, carbonato de glicerol, dihidroxiacetona, epicloridrina, dioxolano, polióis, propanodiol, poligliceróis; aditivos para combustíveis, como: acetais, éter butílico terciário de glicerol, triacetato de glicerol e hidrogênio para fins energéticos. Por meio de processos biotecnológicos são obtidos os seguintes insumos: 1,3 propanodiol, ácido cítrico, ácido glicídico, ácido oxálico, ácido propiônico, ácido succínico, butanodiol, butanol e dihidroxiacetona.

Este são produtos já estão patenteados por empresas, e em alguns casos, já existe produção, enquanto em outros a produção está em fase de desenvolvimento. Muitos destes e outros produtos são apresentados e discutidos por Monteiro e colaboradores (2018) no trabalho de prospecção tecnológica sobre aproveitamento e novas aplicações para o glicerol oriundo da produção de biodiesel.

### Considerações Finais

O biodiesel apresenta uma perspectiva promissora como combustível renovável. Existem tecnologias para produzir biodiesel e aproveitar a plataforma C<sub>3</sub> do glicerol/ glicerina. Se houver continuidade nas políticas econômicas e de incentivo para o desenvolvimento contínuo de tecnologias a nível mundial, regional e local, incrementos na utilização de biodiesel e do glicerol podem mitigar a emissão de CO<sub>2</sub> e atender, em parte, as demandas dos consumidores de combustíveis automotivos.

### Bibliografia

ANITHA, M., et al, Chem Eng J, 2016, **295**, 119-130.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis*, Rio de Janeiro, 2017.

BOZELL, J.J., PETERSON, G.R., Green Chem, 2010, **12**, 539-554.

FICKERS, P. E. et al, J Appl Microbiol, 2004, **96**, 742–749.

GARGALO, C.L, et al, J Clean Prod, 2016, **139**, 1245-260.

KONG, P. S. et al, Renew Sustain Energy Revs, 2016, **63**, 533–555.

LUO, X., et al, Bioresour Technol, 2016, **215**, 144–154.

MARX, S., Proc Technol Fuel, 2016, **151**, 139–147.

MONTEIRO, M.R., et al, Renew Sustain Energy Revs, 2018, **18**, 109-122.

MUNIRE, O.S., et al, Journal of Energy Research and Reviews 2(1): 1-6, 2019; Article no.JENRR.43704

PAPANIKOLAOU, S., AGGELIS G., Bioresour Technol, 2002, **82**, 43-49.

PAPATERRA, G, DUTRA, L., Ativos enalçados e o petróleo do pré-sal, Valor Econômico, 17 Dez, 2018.

PEITER, G. C., et al, Ver Bras Energia Renov, 2016, **5**, 519-537,

SIVASANKARAN, C., et al, Biofuels, 2016, 1-6.

TAN, H.W., et al, Renew Sustain Energy Revs, 2013, **27**, 118-127.

YANG, F.X., et al, Biotechnol Biofuels, 2012, **5**, 5-13.

YAZDANI, S. S., GONZALEZ, R., Curr Opin Biotechnol, 2007, **18**, 213-219.

## QUÍMICA VERDE em Cápsulas

A potencial contribuição das matérias primas renováveis às práticas sustentáveis não se limita apenas aos combustíveis fluidos. As baterias dos futuros carros elétricos (ou, mais provavelmente, suas combinações mais eficientes com biocombustíveis) requerem o armazenamento de energia. Um dos materiais mais promissores para este fim é o “carbono poroso”. Esta é uma forma de carbono que pode ser fabricado em nanoestruturas tridimensionais ordenadas com uma variedade de propriedades eletroquímicas úteis. Ainda é cedo para festejar, mas materiais de plantas, como árvores, algodão, bambu, sementes e cascas, entre outros, estão sendo pesquisados como fontes de compósitos através de processos simples de controle de temperatura e tamanho das partículas.

Químicos orgânicos sintéticos criam moléculas grandes, de formas bem definidas, combinando as unidades que compõem as estruturas desejadas. Surgiu recentemente uma variação desta técnica que aproveita as propriedades de polímeros que tendem a inchar em certos meios e um laser para implodi-los obtendo estruturas tridimensionais difíceis ou impossíveis de serem obtidas por outro meio. O mais interessante é que a técnica não requer métodos de fabricação sofisticada!

# QUÍMICA VERDE

## nas Empresas

### Unidade de MEG de açúcares da Braskem e Haldor Topsoe em operação

Os recentes anúncios de EVA parcialmente renovável e de entrada em operação da unidade de demonstração de monoetilenoglicol-MEG a partir de açúcares na Dinamarca (ver notícia acima) confirmam que as principais ações da Braskem continuam na busca de rotas químicas que levam a produtos de maior sustentabilidade. Desde o polietileno renovável obtido a partir de bio-etanol que está no mercado há mais de oito anos, a Braskem esteve envolvida em diversas fases dos projetos de PE e de MEG renováveis, no desenvolvimento de um sistema catalítico mais eficiente para a desidratação de bio-etanol, em desenvolvimentos de otimização baseada em modelos, além de apoiar hoje as plataformas ligadas à economia circular como os projetos de reciclagem química recentemente anunciados pela empresa. Em todos estes processos, a Braskem utiliza métricas transparentes, baseadas em análise de ciclo de vida para obter melhorias de segurança, eficiência de uso de recursos e sustentabilidade na sua comunicação com a sociedade que estão muito alinhados aos princípios da Química Verde.

### Aliança ABio vence edital para gerir Centro de Biotecnologia da Amazônia, o CBA

A Aliança para a Bioeconomia da Amazônia (ABio), formada por um conjunto de instituições voltadas à bioeconomia no Estado do Amazonas, foi habilitada em primeiro lugar no processo seletivo do Edital para gerir o Centro de Biotecnologia da Amazônia (CBA). O anúncio foi feito em entrevista coletiva na sede da Fundação Amazonas Sustentável (FAS) e atende uma antiga reivindicação da comunidade local.

O CBA foi criado há 15 anos pela Superintendência da Zona Franca de Manaus (Suframa) com o objetivo de fomentar a pesquisa, desenvolvimento e a inovação (PD&I) em biotecnologia, voltada para o uso sustentável da biodiversidade amazônica. Passará a ser gerida pela Aliança ABio, organização social formada por instituições de referência em PD&I na Amazônia: Fundação Amazonas Sustentável (FAS), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Universidade do Estado do Amazonas (UEA) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (Ifam), Instituto Leônidas e Maria Deane (Fiocruz Amazônia), Centro de Educação Tecnológica do Estado do Amazonas (Cetam), Fundação Paulo Feitoza (FPF), Universidade Nilton Lins (UniNiltonlins), Rede de Inovação e Empreendedorismo da Amazônia (Rami), Associação BioTec-Amazônia, Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (Idesam) e Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia legal (Bionorte).

“A aliança tem um espírito colaborativo, que é uma marca da vitória da sociedade amazonense de quem luta pelo desenvolvimento sustentável, que é capaz não só de gerar emprego e renda, mas também estimular o uso sustentável de todo esse patrimônio que é a floresta amazônica, os ecossistemas aquáticos e diversas formas de biodiversidade”, destaca o superintendente-geral da FAS, Virgílio Viana.

A estratégia da ABio é contribuir para o aumento da participação de atividades produtivas sustentáveis baseadas na bioeconomia no PIB da Amazônia e fomentar a ciência, tecnologia, inovação e empreendedorismo. Os investimentos previstos pelo MDIC giram em torno de R\$ 11 milhões anuais, nos próximos cinco anos, contrato que pode ser prorrogado no futuro.

# Ressonância magnética nuclear em baixo campo

## Análise química de produtos in natura e industrializados sem preparação de amostras e sem uso de reagentes

**Luiz Alberto Colnago**

*Pesquisador Embrapa Instrumentação- São Carlos, SP*

### Introdução

Nas últimas décadas, várias técnicas espectroscópicas como as espectroscopias na região do infravermelho próximo (NIR), infravermelho médio (MIR), Raman e ressonância magnética nuclear (RMN) começaram a ser usadas como alternativas aos métodos clássicos de análise química quantitativa, por via úmida. A grande vantagem inicial dessas técnicas espectroscópicas era a preservação da amostra após a análise, ou seja, a análise ocorria de maneira não destrutiva, o que permitia que se fizessem outras análises com mesma amostra. Depois vieram as vantagens da rapidez das análises - pouca ou nenhuma preparação de amostra - e, principalmente, uma grande redução no uso de produtos químicos, além da baixa geração de resíduos tóxicos que tem que ser tratados antes de retornar ao ambiente. Mais recentemente, esses métodos passaram também a ser usados de maneira não invasiva, ou seja, podem ser usados diretamente nas amostras deixando-as intactas após a análise, o que minimizou mais ainda o uso e descarte de amostras residuais e produtos químicos. Neste artigo, serão apresentados brevemente os princípios da RMN pulsada no domínio do tempo (RMN-DT), também conhecida como RMN de baixo campo e algumas de suas aplicações como método não invasivo para análise de alimentos *in natura* (frutas, nozes) e de produtos industrializados diretamente nas embalagens comerciais. As principais vantagens da RMN-DT em relação a tradicional RMN em alta resolução (RMN-AR) são o baixo custo do equipamento e de manutenção, o porte do equipamento (aparelhos de bancada), análises praticamente sem preparação de amostra, análises rápidas (em minutos), a possibilidade de analisar

amostras maiores que 10 mm e que podem ser usados em chão de fábrica, com poucos requerimentos de ambiente controlado. Em relação às espectroscopias no Infravermelho e Raman, a RMN-DT tem menos interferência de cor e formato e maior grau de penetração nas amostras, uma vez que, ao excitar e detectar sinal se faz com onda de rádio, na faixa de MegaHertz (MHz). Com isso, as análises podem ser feitas até em produtos embalados, desde que as embalagens não sejam metálicas. Portanto, a RMN-DT é um método de análise verde, uma vez que tem baixo ou nenhum impacto ambiental.

### Fundamentos básicos de RMN-DT

A RMN-DT pulsada se baseia nos mesmos fundamentos da RMN-AR. A diferença básica é que na



FOTO: Joana Silva

Colnago realizando análises em frutas em aparelho de RM

RMN-DT a largura de linha do sinal é tão grande que todas as amostras apresentam apenas um único sinal. Assim, não há necessidade de fazer a transformada de Fourier do sinal de RMN, adquirido no domínio do tempo, para o domínio da frequência. Na RMN-DT, usa-se diretamente o sinal adquirido no domínio do tempo. Nesses instrumentos de bancada são utilizados ímãs permanentes de baixo campo magnético (menor do que 0,7 Teslas) e com baixa homogeneidade (maior que 100 ppm), o que faz com que a largura seja totalmente dependente da homogeneidade do campo, o que não permite que se veja diferença de deslocamento químicos e outros parâmetros espectrais observados na da RMN-AR.

As informações mais detalhadas de RMN ou mais especificamente de RMN podem ser obtidas em livros textos. Como descrito anteriormente, a RMN-DT tem a mesma fundamentação básica da RMN tradicional em alta resolução. Ou seja, a RMN-DT é observada em amostras com átomos cujo núcleo tenha spin nuclear ( $I$ ) diferente de zero. No entanto, as aplicações práticas são principalmente de isótopos com alta abundância natural, alta receptividade e spin  $I = \frac{1}{2}$  como os isótopos de  $^1\text{H}$ ,  $^{19}\text{F}$  e  $^{31}\text{P}$ . Dentre esses isótopos a RMN-DT de  $^1\text{H}$  é a mais largamente usada devida a presença do hidrogênio em uma grande variedade de produtos.

Assim como na RMN-AR, na RMN-DT a amostra tem que ser colocada na presença de um campo magnético estático  $B_0$ , que faz com que os momentos magnéticos nuclear ( $\mu$ ), associado ao spin, se polarizem, e que precessionam - fenômeno físico que consiste na mudança do eixo de rotação de um objeto - com a frequência de Larmor  $\omega_0 = \gamma B_0$ , onde  $\gamma$  é a constante magnetogirica de cada isótopo. Com a polarização, os spins geram uma magnetização resultante  $M_0$ . Para se observar o sinal de RMN-DT aplica-se um pulso de radiofrequência (RF) de alta intensidade e com uma frequência de Larmor, que gera um campo oscilante  $B_1$ , à  $90^\circ$  de  $B_0$ . O pulso de radiofrequência desloca a magnetização  $M_0$  por ângulo  $\alpha$ , onde  $\alpha = \gamma B_1 T_p$  e  $T_p$  é o tempo de duração do pulso. Com esse pulso,  $M_0$  sai da direção de  $B_0$  e vai para a direção do detector, que também está a  $90^\circ$  de

$B_0$ . Assim, com um pulso de  $\alpha = 90^\circ$  o sinal de RMN é máximo. Com o fim do pulso, a magnetização volta a precessionar em torno de  $B_0$  e, durante este retorno, induz na bobina da sonda de RMN um sinal conhecido como decaimento livre da indução ou FID (do inglês Free induction decay).

Após o pulso de excitação, o sinal de RMN passa por dois processos de relaxação que ocorrem simultaneamente durante o retorno da magnetização. As relaxações são denominadas de relaxação longitudinal ou  $T_1$ , que é devido ao retorno da magnetização a posição de equilíbrio, e a relaxação transversal ou  $T_2$ , que é relacionada ao desaparecimento do sinal de RMN no detector. Essas relaxações têm comportamentos exponenciais, expressos pelas constantes de tempo  $T_1$  e  $T_2$  e têm mecanismos de relaxação diferentes e que precisam ser conhecidos, principalmente para o caso de análise quantitativas.

Em experimentos de RMN em um ímã homogêneo, o FID decai com a constante de tempo  $T_2$ . No entanto, em um aparelho de RMN-DT, o ímã não homogêneo faz com que o decaimento do FID não dependa apenas de  $T_2$ , mas, principalmente da não homogeneidade do campo e esse decaimento é denominado de  $T_2$  efetivo ou  $T_2^*$ . Para tornar o sinal de RMN independente da baixa homogeneidade de campo usam-se técnicas que eco de spin que refocalizam o sinal de RMN com o uso de dois ou mais pulsos.

### Aplicações da RMN em baixo campo

As análises qualitativas e quantitativas por RMN-DT foram inicialmente baseadas na intensidade do sinal denominado FID, que se observa após um pulso ou a intensidade do sinal de eco, quando se usa dois ou mais pulsos. Essas aplicações começaram a mais de 50 anos e estão sendo usadas principalmente no controle de qualidade (CQ) ou certificação de qualidade (CQ) de produtos e processos industriais. As primeiras aplicações da RMN-DT na agricultura e indústria alimentícia analisaram a determinação do teor de óleo e umidades em grão e sementes (ISO 10565, 8292, AOCS ak 4-95), além de conteúdo de gordura sólida (ISO 10632, IUPAC 2.150, AOCS Cd16b). Na indústria de petróleo e

melhoramento genético de amendoim alto oleico.

Na figura 1, está a foto de um espectrômetro de RMN-DT de bancada desenvolvido no Brasil e que está sendo usado nas determinações de sementes alto oleico e muitas das outras aplicações que serão apresentadas no final do texto.

Nos últimos anos, vários países vêm banindo o uso de gordura hidrogenada em alimentos. Isso se deve, principalmente pelo fato que, durante o processo de hidrogenação, também há a produção indesejada de ácidos graxos trans, que são considerados como os de maior potencial para causar problemas cardiovasculares, do que as próprias gorduras insaturadas. As gorduras hidrogenadas foram

largamente usadas na confecção de margarinas, em processos de fritura industrial e na produção de alimentos, com longo tempo de prateleira. Assim, vários processos alternativos a hidrogenação vêm sendo demandados pelas indústrias de óleos e gorduras. Uma dessas soluções é o desenvolvimento de sementes oleaginosas com alto teor de ácido oleico, ou seja, um óleo com composição em ácidos graxos, similar a do azeite de oliva, que normalmente tem mais de 70% de ácido oleico. Para isso, estão sendo desenvolvidas variedades de girassol, soja e amendoim com cerca de 80% de ácido oleico (denominadas de alto oleico), enquanto que nas variedades convencionais o teor de oleico é de cerca de 40%.

As vantagens do óleo com alto teor de ácido oleico sobre os óleos convencionais são a maior estabilidade oxidativa, maior resistência à degradação durante fritura e com isso um aumento do tempo de prateleira dos produtos alimentícios.

Essas novas cultivares, quando geradas sem uso de engenharia genética, têm sido largamente procuradas pelo mercado, principalmente, pelo europeu. Um dos trabalhos desenvolvidos pela Embrapa, Instituto Agrônomo de Campinas, entre outras instituições de pesquisa brasileira, é o desenvolvimento de variedades não transgênicas de amendoim alto oleico.



FOTO: Arquivo pessoal

**Figura 1. Foto de um espectrômetro de RMN-DT desenvolvido no Brasil e que está sendo usado nas determinações de sementes alto oleico, teor de óleo na indústria de azeite de palma (dendê), teor de gordura sólida em manteiga, margarinas, chocolates entre outras medições**

derivados, a RMN-DT foi inicialmente usada para determinar o teor de hidrogênio em hidrocarbonetos, destilados de petróleo e combustíveis (ASTM D7171-16). Na indústria de dentifrício, a RMN-DT é usada principalmente na quantificação rápida e não destrutiva de fluoretos em pastas de dentes, usando a RMN de flúor.

Além disso, nas últimas duas décadas, as análises por RMN-DT baseadas em medições relaxométricas, medições dos tempos de relaxação longitudinal ( $T_1$ ) ou transversal ( $T_2$ ) ou de difusimetria, também passaram a ser largamente utilizadas.

Essas novas análises usam principalmente as medições de  $T_2$  para análises quantitativas e qualitativas. As medições de  $T_2$  são realizadas com a sequência de pulsos desenvolvida por Carr e Purcell e aperfeiçoada por Meiboom e Gill, que é conhecida como CPMG.

A grande vantagem dessa sequência é que as medições são rápidas (alguns segundos), pouco sensíveis a erros de calibração dos pulsos entre outros fatores. Como o decaimento  $T_2$  depende inversamente da mobilidade molecular essas análises ampliaram largamente os usos da RMN-DT.

Um exemplo para demonstrar como as determinações por RMN-DT são rápidas e verdes é a determinação do teor de ácido oleico em sementes de amendoim, que estão sendo usadas em programas de

Durante o desenvolvimento de uma nova variedade alto oleico, os pesquisadores procuram, além do alto teor de ácido oleico, plantas altamente produtivas, resistentes a pragas e doenças, secas, entre outros parâmetros agrônômicos. Assim, são necessários muitos experimentos de campo para se obter uma nova cultivar.

Conseqüentemente, nesse processo de melhoramento genético são necessárias milhares de análises de amostras de sementes para identificar quais delas podem ser caracterizadas como alto oleico.

O método padrão para a identificação de sementes ricas em ácido oleico é a cromatografia gasosa. Esse método envolve a extração do óleo das sementes, reação de transesterificação do óleo com metanol e análise cromatográfica dos ésteres metílicos.

Esse método tem como vantagem a caracterização completa do perfil de ácidos graxos do óleo. No entanto, envolve uma preparação de amostras com muitas etapas (secagem das sementes, moagem, extração com solventes, reação de transesterificação e análise cromatográfica), demoradas (todas as etapas podem levar vários dias) e com uso intensivo de solventes orgânicos e reagentes químicos (hexano, metanol, NaOH ou KOH), que são resíduos tóxicos e que exigem tratamento antes de descartado no ambiente ou recuperados.

Já o método para a identificação de sementes com alto teor de ácido oleico por RMN-DT é muito simples, rápido e não destrutivo.

Para essa análise, é preciso um aparelho de RMN de bancada (figura 1), com frequência de ressonância de cerca de 150 MHz e com uma sonda para amostras de cerca de 450 ml. Com a sequência de medição de  $T_2$  (CPMG), faz-se uma curva de calibração com óleos vegetais com diferentes teores de ácido oleico e seus respectivos valores de  $T_2$ . O  $T_2$  tem uma correlação inversa com o teor de ácido oleico no óleo, ou seja, amostras com alto teor de ácido oleico tem  $T_2$  mais curto do que as amostras com baixo teor de oleico.

Após essa calibração, é possível determinar o



FOTO: Embrapa

Laboratório de cromatografia da Embrapa

teor de ácido oleico diretamente nas sementes, sem necessidade de secagem, moagem, extração com solventes ou reações químicas.

Todo o processo de análise por RMN está na ordem de minutos, incluindo a colocação da amostra no porta amostra e inserção na sonda de RMN, o que permite realizar centenas de análise por dia. Além disso, por ser um método não invasivo, permite que a própria semente analisada seja usada nos próximos passos do processo de melhoramento genético.

Com a determinação de sementes com alto teor de ácido oleico, por RMN em baixo campo, o processo de desenvolvimento de novas variedades de amendoim alto oleico vem sendo acelerado, permitindo uma maior opção de plantas para as diferentes regiões do Brasil.

Além disso, a análise rápida permite a aferição do teor de oleico de cargas comercializadas, tanto na origem quanto no país de destino. Esse mesmo tipo de procedimento rápido, sem uso de solventes e reagentes químicos e não invasivo vem sendo usado em muitas outras análises.

Na indústria de alimentos e agricultura o sinal CPMG, combinado com métodos de análise multivariada (ou quimiometria), vem sendo usado para determinar qualidade de óleos e gorduras, teor de gordura em alimentos embalados como maioneses, molhos de salada, mostarda, quantidade de açúcar (Brix) em frutas frescas intactas como laranjas, mangas, uva, ameixa, kiwi e em alimentos processados como geleias e doces. Na área de carnes, além do teor de gordura e umidade, a CPMG vem sendo usada para predizer parâmetros sensoriais de carnes de porco e bovina, como maciez, suculência, sabor, perda de água por cocção entre outros atributos de qualidade. Na figura 2, está o ímã de um aparelho de RMN-DT de 8 MHz para amostras com diâmetro de até 10 cm, como frutas, alimentos embalados como vinho, azeite de oliva, maioneses, embutidos, entre outros alimentos.

Na indústria petroleira, as análises por CPMG estão sendo usadas na avaliação *in situ* de poços de petróleo. Com a técnica CPMG é possível estimar *in situ* o tamanho médio dos poros da rocha, a viscosidade do petróleo, entre outros fatores que permitem prever os parâmetros de produção do poço. Em laboratório, a técnica CPMG vem sendo usada para prever viscosidade do petróleo e derivados, ponto de fulgor, presença de contaminantes ou adulterações em combustíveis, teor de biodiesel no diesel e sua origem, além de muitas outras aplicações.

Na indústria de polímeros sintéticos e naturais, a

RMN-DT vem sendo usada para estimar mobilidade das cadeias laterais e cadeia principal, porosidade, número de ligações cruzadas, determinação do óleo residual em fiação como poliéster, cristalinidade, difusividade térmica entre outros parâmetros.

Além dessas aplicações, a RMN-DT, usando as medições de relaxação, também vem sendo usada para análise de concentração de íons paramagnéticos em solução como, por exemplo, o teor  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ , entre outros íons que são usados em vários processos industriais de galvanização, curtumes etc. A grande vantagem dessas medições por RMN-DT é que a análise pode ser realizada rapidamente (segundos), não há preparação da amostra e não há geração de resíduos uma vez que o produto analisado pode ser incorporado no processo industrial. Além de medição da concentração desses metais em solução, a RMN-DT também pode ser usada para monitorar reações de eletrodeposição desses íons *in situ*, ou seja, durante a reação de galvanoplastia.

Atualmente no Brasil há uma empresa produzindo e comercializando espectrômetros de RMN-DT, a Fine Instruments Technology (FIT), localizada em São Carlos, SP.

Os equipamentos da FIT estão sendo adquiridos - no Brasil e exterior - por indústrias de vários segmentos para análise do teor de óleo de palma, margarina, suco de laranja, fibras sintéticas, além de universidades e centros de pesquisas.



FOTOS: Arquivo pessoal

Figura 2. Visão lateral (esquerda) e frontal (direita) do ímã de um aparelho de RMN-DT de 8 MHz, para amostras com diâmetro de até 10 cm usado para análise não invasiva de frutas, alimentos embalados como vinho, azeite de oliva, maioneses, embutidos entre outros alimentos

# EQ HANDS-ON – uma nova abordagem didática em engenharia de processos

Andrea Valdman

DSc, Profa Adjunta, Escola de Química-UFRJ

Os atuais níveis de globalização e de consciência sustentável exigem que a academia atualize constantemente suas metodologias de ensino e a sua infra-estrutura, gerando um ambiente de alta flexibilidade operacional que permita adaptações rápidas e eficientes. Uma pesquisa realizada pela câmara americana de comércio em 2010 (Folha de SP, 2010) mostra que 76% das ações desenvolvidas pelas empresas contratantes de engenheiros no país estão relacionadas a programas internos de treinamento.

Ao longo da história, universidades estão sempre estudando como reduzir as possíveis lacunas entre os objetivos acadêmicos e as demandas do ambiente industrial (Gregory *et al*, 2016). Neste sentido, um dos principais desafios da universidade é o repasse de *know-how* industrial prático, através de uma abordagem acadêmica, sistemática e didática.

Uma das técnicas mais aplicadas a este ramo é o ensino de engenharia baseado na resolução de problemas (Hung, 2011) - Problem-Based Learning (PBL), onde a solução proposta deve ser analisada a partir de conceitos transversais e multidisciplinares. No caso da engenharia de processos, termodinâmica, mecânica dos fluidos, química e físico-química, estatística avançada e diagnóstico de falha, são apenas algumas das áreas de conhecimento essenciais a formação de um bom profissional. No entanto, esta técnica foi desenvolvida a partir de conceitos teóricos e sua aplicação experimental ainda é pouco explorada. Por outro lado, as metodologias atualmente aplicadas em cursos superiores de engenharia não incentivam o desenvolvimento da criatividade (Fadeeva e Kirillov, 2015) aplicada a resolução de problemas, habilidade esta inerente a um futuro profissional no mercado de trabalho.

Abordagens didáticas modernas, tais como *Living Labs* (Leminen *et al*, 2015) e CDIO (*Conceive-Design-Implement-Operate*) (Crawley *et al*, 2007), vem sendo apresentadas como uma nova metodologia centrada no

aprendiz e na criatividade (Iborra *et al*, 2014, Markopoulos e Rauterberg, 2000, Ståhlbröst e Bergvall-Kåreborn, 2011).

A popularização de tecnologias modernas e de baixo custo para a aquisição de dados em tempo real, permite ainda a implementação de ferramentas de monitoramento de processos, análogas àquelas encontradas em ambientes industriais. A utilização destas ferramentas para apresentar fenômenos químicos e bioquímicos, muitas vezes utilizando água como fluido de processo, consolida os conceitos teóricos adquiridos na sala de aula tradicional. Esta abordagem aumenta a retenção de conhecimento por parte do aluno, que tira as suas conclusões a partir da observação, e reforça o papel do professor como facilitador do aprendizado.

Em tempos modernos, o acesso à informação é quase infinito, mas não necessariamente gera uma bagagem de conhecimento adquirido. Segundo o discurso de um jovem aprendiz, “para que carregar uma mala cheia de conhecimento, bem pesada, se eu posso ter acesso ao que eu precisar entender no instante em que eu precisar resolver um problema?”. Um dos principais desafios da educação moderna é incluir o estudante como participante ativo do processo de transformação.

A Escola de Química (EQ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) sempre teve uma participação ativa e vanguardista na formação de mão de obra especializada para a área de engenharia de processos. Pensando nisso, um grupo de professores, alunos e funcionários vem desenvolvendo uma iniciativa chamada de EQ HANDS-ON.



### A organização EQ Hands-On

A EQ Hands-On é uma organização voluntária e pioneira que foi criada na EQ/UFRJ, com o intuito de revolucionar o ensino de engenharia de processos no cenário nacional. Um dos seus objetivos é agregar as diversas esferas sociais envolvidas na EQ (alunos, professores, funcionários, ex-alunos) em torno de um bem comum: incentivar as discussões sobre novas técnicas de ensino de engenharia. Esta iniciativa contribui de forma pessoal e significativa para a formação de um profissional atualizado com o mercado de trabalho industrial e empresarial. Um profissional que precisa aprender a lidar com as frustrações do dia a dia, sem medo de arriscar. Um profissional empenhado em gerar soluções inovadoras e de baixo custo, a partir de um ambiente colaborativo e multidisciplinar.

Criada em 2015 com a missão primordial de agregar melhorias pedagógicas aos recursos de ensino disponíveis na EQ, a participação neste programa é totalmente voluntária e é baseada em conceitos de *vivência experimental*. A solução de um problema complexo é obtida a partir da imersão do aprendiz em um contexto multidisciplinar envolvendo situações de vida real, permitindo a detecção, a prototipagem e a validação (ou não) da mesma.

Dentro desse contexto de *universidade participativa*, foi criada uma força-tarefa para revitalizar equipamentos semi-industriais disponíveis e atualmente fora de operação, tais como moinhos, trocadores de calor e torre de refrigeração, além de criar plantas didáticas de

menor porte que podem ser utilizadas para demonstrações experimentais em sala de aula. No primeiro caso, o aluno vai até a planta e, no segundo, a planta vai até o aluno. As plantas didáticas desenvolvidas são utilizadas como ferramentas complementares às atividades teóricas dos cursos oferecidos pela EQ, atingindo atualmente um contingente de aproximadamente 1200 alunos de graduação e 500 alunos de pós-graduação.

### A Estrutura e os Projetos

O organograma da EQ Hands-On reproduz a estrutura de uma empresa de engenharia, com equipes responsáveis pela gestão interna da organização (Relacionamentos, Gestão Pag. 3 de Pessoas, Marketing) e pelos projetos técnico-científicos. O conselho administrativo é formado inclusive por ex-alunos, que participaram em edições passadas da EQHands-On. Todas as equipes são de extrema importância para o bom funcionamento da organização e proporcionam ao aluno contato com a dinâmica de tomada de decisão. Equipes participantes de cada grande área, apresentado na Figura 1, são responsáveis por uma instância específicas, garantindo a fluidez e o desenvolvimento da organização. Os projetos compõem a parte de desenvolvimento e construção de plantas didáticas, previamente definidas pelo grupo de viabilidade de projetos para o ano corrente. Basicamente, o tema dos projetos é dividido em plantas de apoio didático e plantas que tornem a universidade sustentável.



Figura 1 - Estrutura organizacional da EQ HANDS-ON

Neste último caso, por exemplo, foi desenvolvida uma planta para tratamento de efluentes residuais das práticas de laboratório.

Todos os projetos são realizados por equipes compostas por alunos e pelo menos um professor orientador, além de professores consultores e funcionários da instituição, conforme as demandas técnico-científicas do projeto. Uma das diretrizes na composição de uma equipe envolve ainda a integração de alunos em diversas etapas de formação universitária (do 2º ao 10º período da graduação, Mestrado e Doutorado) e oriundos dos diversos cursos oferecidos pela Escola de Química (engenharia química, engenharia de bioprocessos, engenharia de alimentos e química Industrial). Ao final de cada ano, aproximadamente 30 vagas são abertas para alunos e cerca de 5 projetos são propostos. O projeto busca ainda a captação de doadores para obtenção de material ou recursos financeiros, garantindo a viabilidade dos projetos futuros, e a formação de parcerias com empresas.

As empresas associam a sua marca à EQ/UFRJ, incentivando uma nova metodologia de ensino e contribuindo no conceito de reutilização de ativos.

### Como isso vem acontecendo

Em setembro de 2015, uma semente foi plantada. A equipe era formada apenas por 7 alunos e 2 professores da EQ. No intuito de atrair mais participantes ao projeto e consolidar um fórum multidisciplinar de discussão, foi lançada uma página no Facebook. Logo nos primeiros 5 meses, o projeto atingiu cerca de 330 seguidores e mais de 2000 visualizações.

Em 2016, 50 alunos se inscreveram em projetos de Recuperação de trocadores de calor em série; Recuperação de uma torre de resfriamento; Planta miniaturizada de baixo custo de um trocador de calor multi-tubos; Planta de perda de carga; Projetos de automação de baixo-custo. O projeto de trocador de calor miniaturizado foi selecionado como um dos projetos finalistas, representantes do Centro de Tecnologia, na jornada anual de iniciação científica da UFRJ.

No último processo seletivo, foram 120 alunos inscritos e ao longo desses 3 anos, a semente vem sendo gradativamente regada com temáticas atuais, tais como: mão na massa, movimento maker, criatividade, universidade participativa, sala de aula invertida, faça você mesmo, universidade sustentável, ousadia e soluções de baixo custo. Estes resultados comprovam o crescente interesse e a importância na abordagem de metodologias de ensino de tecnologia com caráter experimental e multidisciplinar.

Atualmente, são cerca de 1200 *seguidores* nas redes sociais, com mais de 20000 visualizações acumuladas, além de canais de comunicação no Instagram e YouTube e um website para divulgação dos projetos e atividades. Projetos como Perda de carga, Trocadores de calor e Ciclone vem sendo utilizados por diversos professores como uma atividade complementar às disciplinas teóricas. Além disso, projetos como o Tratamento de Efluentes, vêm contribuindo ainda para uma universidade mais sustentável. Desde sua fundação, os resultados do projeto vêm sendo analisados a partir de alguns indicadores de gestão:

→ 100 alunos, 20 professores e técnicos envolvidos em 15 projetos;

→ 15 trabalhos apresentados em Jornadas de IC, com 4 menções honrosas.

→ 200 alunos impactados em mini-cursos, work-shops e visitas.

→ 96% dos alunos que participaram de alguma atividade da EQHandsOn consideram os eventos educacionais como bons ou excelentes.

A EQHands-On vem participando ativamente de eventos de divulgação na área de ciência e tecnologia, voltados para o público universitário e alunos de ensino médio das redes pública e privada, com o intuito de compartilhar as experiências vividas com a comunidade acadêmica da UFRJ e com a sociedade civil.

Esta iniciativa amplia a divulgação de carreiras profissionais envolvendo ciência e tecnologia e apresenta a atual diversidade dos futuros profissionais de engenharia, em resposta às demandas emergentes do mercado de trabalho.



**EQ HANDS-ON recupera equipamento do Laboratório de Engenharia Química da EQ/UFRJ**

A Escola de Química está na vanguarda do ensino universitário público brasileiro e internacional. A EQ Hands-On é uma das contribuições da UFRJ na formação de mão de obra especializada, no desenvolvimento de modernas metodologias de ensino e na formação de profissionais e pesquisadores mais amadurecidos para os desafios do futuro.

#### **Referências Bibliográficas**

GREGORY P., BARROCA L., SHARP H., DESHPANDE A., TAYLOR K., The Challenges That Challenge: Engaging With Agile Practitioners Concerns, *Information and Software Technology*, 2016;

FOLHA DE SP. País perde US\$ 15 bi com má formação de engenheiro. Folha de S. Paulo, 2010. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/754351-pais-perde-us-15-bi-com-ma-formacao-de-engenheiro.shtml>, acessado em 02/05/2016.

HUNG, W. Theory to reality: a few issues in implementing problem-based learning, *Educational Technology Research and Development*, v. 59, Issue 4, pp 529-552,

2011.

FADEEVA V.N., KIRILLOV N.P. The Issues of Development of a Creative Professional, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* v.166, pp 333–338, 2015.

IBORRA M, RAMÍREZ E, TEJERO J, BRINGUÉ R, FITÉ C, CUNILL F. Revamping of teaching–learning methodologies in laboratory subjects of the Chemical Engineering undergraduate degree of the University of Barcelona for their adjustment to the Bologna process, education for chemical engineers, v9, pp e43–e49, 2014.

LEMINE S, NYSTRÖM AG, WESTERLUND M. A typology of creative consumers in living labs, *Journal of Engineering and Technology Management* v. 37, pp 6 – 20, 2015.

STÅHLBRÖST A, BERGVALL-KÅREBORN B., Exploring Users Motivation in Innovation Communities, *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, v 14(4), pp. 298-314, 2011.

MARKOPOULOS P, RAUTERBERG G.W.M., LivingLab: A White Paper, 35, IPO Annual Progress Report 35, p. 53-65, 2000.

# QUÍMICA VERDE

## Eventos

### Yale-UNIDO Train-the-Facilitator Workshop in Green Chemistry

**Tatiana F. Ferreira**

*Escola de Química da UFRJ*

O Instituto SENAI de Inovação em Química Verde (ISI - QV) promoveu, de 18 e 22 de fevereiro, no Rio de Janeiro, um workshop destinado ao treinamento de professores de Química Verde. As aulas foram ministradas por Karolina Mellor, da Universidade de Yale e por John Warner, da Warner-Babcock Institute for Green Chemistry, um dos formuladores, junto com Paul Anastas, dos 12 princípios da Química Verde.

O workshop, que faz parte da terceira etapa de um projeto conduzido pelo ISI-QV, a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e o Centro de Química Verde e Engenharia Verde da Universidade de Yale, foi realizado na Casa Firjan, um espaço de arquitetura sustentável. Contou com 30 participantes em regime de imersão provenientes de diferentes entidades como universidade federais e estaduais de diferentes estados brasileiros, representantes de diferentes setores da indústria química

e de instituições governamentais.

As aulas iniciaram com o conceito de sustentabilidade e a importância da sua aplicação ao mundo moderno. Exemplos reais das consequências de uma química não sustentável reforçaram a sua mensagem. O uso da Química Verde como ferramenta para um desenvolvimento sustentável foi abordado definindo os 12 princípios da Química Verde e discutindo temas como: matérias-primas renováveis, catálise, solventes alternativos, resíduos industriais, toxicologia e ADME (absorção, distribuição, metabolismo e excreção). O workshop compreendeu também atividades dinâmicas como exercícios em grupos desenvolvidos pelos participantes e apresentação de ferramentas computacionais para prever biodegradabilidade e toxicidade de moléculas.

Segundo John Warner, um dos caminhos para o sucesso é o design de novas moléculas menos perigosas,



**Laboratório de Criação, localizado no segundo andar da Casa Firjan, onde ocorreu o workshop sobre Química Verde**

# QUÍMICA VERDE

## Eventos

sem esquecer da performance da substância e economicidade da rota de síntese. Ele também abordou com propriedade o tema catálise, esclarecendo o mecanismo de atuação de um catalisador e a potencial contribuição da catálise para a Química Verde.

A Casa Firjan abriu suas portas na noite de 21 de fevereiro para cerca de 200 pessoas assistirem a palestra “Química Verde: Criando um Futuro Sustentável”, onde John Warner mostrou que a Química Verde é mais que uma abordagem revolucionária à maneira como os produtos são fabricados. Após a palestra foi anunciado a criação do Comitê Científico Consultivo ISI-QV, composto por 17 pessoas entre membros da academia, setor produtivo e entidades governamentais.

A semana foi encerrada com uma mesa redonda composta por: Peter Seidl (UFRJ), Vânia Zuin (UFSCar), Roberto Werneck (Braskem), Fernando Figueiredo (ABIQUIM) e Antônio Fidalgo (ISI-QV) e mediada por Carolina Maria Andrade, do ISI Biomassa, para se discutir as oportunidades e desafios da Química Verde no Brasil.

De parte da indústria, Fernando Figueiredo apontou a fraca interação entre a indústria e a universidade no Brasil como o ponto crítico afirmando que as indústrias químicas brasileiras não investem em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. Para Roberto Werneck o agente limitante é a comunicação entre o setor produtivo e as universidades, muitas vezes dificultada pela falta de um mecanismo eficiente para aplicar dinheiro privado nas universidades públicas. Outra barreira é a negociação da propriedade intelectual vinculada à inovação desenvolvida em parceria com as universidades.

Antônio Fidalgo acredita que o mais importante nesse momento é disseminar o conceito de Química Verde e fazer com que o setor produtivo tenha consciência do seu papel. Ele citou as *start ups* como elementos importantes deste cenário, definindo-as como “formiguinhas especializadas”.

De acordo com Peter Seidl, esse conceito precisa ser disseminado na academia também, pois parte significativa dos professores e pesquisadores das universidades abordam a Química Verde como uma nova área, diferente das demais. Trata-se, entretanto, de uma nova abordagem que deve ser aplicada à todas as áreas da Química.

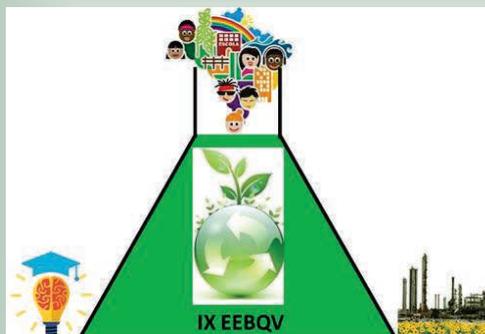
O professor José Carlos Netto Ferreira (UFRRJ), um dos participantes que acompanhou todo o workshop, elogiou a iniciativa. Segundo ele, embora a universidade tenha autonomia, ela permanece estática há muitas décadas apesar de seu papel fundamental de transmitir aos futuros profissionais a importância da sustentabilidade. Por isso acredita que o evento incentivou diferentes setores a trabalhar na conscientização de que a ciência é o caminho e a Química Verde é uma das ferramentas essenciais para alcançar um mundo sustentável.



**Comitê Científico Consultivo ISI-QV anunciado na Casa Firjan no dia 21 de fevereiro de 2019**

# QUÍMICA VERDE

## Eventos



### IX ENCONTRO DA ESCOLA BRASILEIRA DE QUÍMICA VERDE

*Buscando o Crescimento Sustentável*

Uberlândia, 28-30 de agosto 2019

O Brasil tem um reconhecido potencial para a geração de tecnologias e riquezas a partir da biomassa como matéria-prima, devido às suas fortes indústrias agrícolas, pecuárias e florestais. A geração de produtos, subprodutos e resíduos destas indústrias é bastante expressiva.

Isto impulsiona o interesse da academia - Escolas, Institutos e Universidades; de agentes governamentais e de fomento, além de indústrias dos setores de bioenergia, fertilizantes, fármacos, cosméticos, materiais, químicos e de especialidades a buscarem alternativas para agregar valor às supracitadas e outras biomassas através da **Química Verde**.

O sucesso desta busca será alcançado de forma efetiva, abundante e sustentável se conseguirmos aprofundar no sinergismo entre os esforços dos diversos setores da sociedade supracitados.

Neste sentido, o IX Encontro da Escola de Química Verde (IX EEBQV) abordará o tema "Buscando o crescimento sustentável" entre os dias 28 e 30 de agosto de 2019, no campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, na cidade de Uberlândia, MG.

O Encontro contará com sessões plenárias, mesas redondas e apresentação de pôsteres dos trabalhos técnicos submetidos. Dentre estes será selecionado o melhor trabalho que ganhará o Prêmio Arikerne Sucupira, no valor de R\$ 3.000,00.

Na expectativa de que o IX EEBQV mantenha a qualidade apresentada nas edições anteriores, contaremos com a presença de reconhecidos palestrantes brasileiros e do exterior que, junto com destacada platéia, discutirão o estado-da-arte, os desafios e as possíveis soluções dos temas em questão.

### *Expediente*

*O Caderno de Química Verde é uma publicação da Escola Brasileira de Química Verde com o objetivo de divulgar matérias de interesse, fatos, entrevistas e notícias ligadas ao setor.*

**Editor Responsável:**  
Peter Rudolf Seidl.

Freire, Julio Carlos Afonso, Roberio  
Fernandes Alves de Oliveira.

**Contato:**  
quimicaverde@eq.ufrj.br

**Editora Adjunta:**  
Adriana Karla Goulart.

**Consultor Senior:**  
Celso Augusto Caldas Fernandes.

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

**Conselho de Redação:**  
Ana Karolina Muniz Figueiredo, Estevão

**Diagramação e arte:**  
Adriana dos Santos Lopes.

Os textos assinados são de responsabilidade de seus autores.