

MINIATURIZAÇÃO

DE PROCESSOS QUÍMICOS



Por Mário Ricardo Gongora-Rubio, Aline Furtado Oliveira & Martha L. Mora Bejarano

LEIA TAMBÉM

LIDERANÇA EM
UM FUTURO DIGITAL
por Silvia Malaman

BJChE 2020
*Veja os trabalhos publicados ao
longo deste ano*

ANÁLISE TÉRMICA COMO
UMA FERRAMENTA PARA
ESTUDOS DE PROCESSOS
QUÍMICOS NA INDÚSTRIA
por Pierre Delmório

Saiba mais em nosso site: www.abeq.org.br

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

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

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



Nossos Serviços

CURSOS: ABEQ oferece diversos cursos de extensão.

CONGRESSOS: COBEC - Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

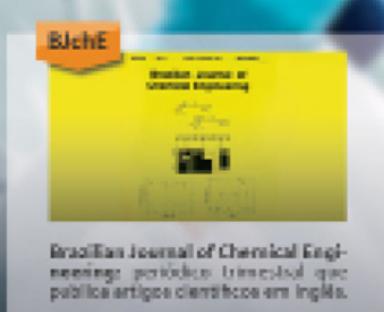
ENBEC - Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química.

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

SBWERM - SBER - Símpósio Nacional de Bioprocessos e Seminário de Hidrólise Extrínseca de Biomassa.

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

Publicações



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

REGIONAL BAHIA
regionab@abeq.org.br

REGIONAL PARÁ
regionapa@abeq.org.br

REGIONAL RIO DE JANEIRO
regionrj@abeq.org.br

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

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

REGIONAL SÃO PAULO
regionsp@abeq.org.br

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

SÓCIOS COOPERADORES



SÓCIOS COLETIVOS



PALAVRA DO PRESIDENTE

Caros Abequianos,

Já se vão mais de seis meses em trabalho remoto para alguns, e em trabalho presencial com todos os rigores e cuidados do distanciamento social para outros. Já passamos, nós seres humanos, por coisas piores, e isso, dentre outras evidências, nos dá a certeza de que mais esta crise passará. E nós engenheiros químicos podemos, e talvez devamos, contribuir de algum modo para melhorar o mundo. A ABEQ tem o prazer e o orgulho de trazer-lhes esta edição em que são apresentados vários bons exemplos de contribuições da engenharia química para a sociedade como um todo.

Nesta edição, o Dr. Mario Gongora e seu grupo do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) nos apresentam o mundo da Miniaturização de Processos Químicos, que pode ser um meio de aumentar radicalmente a eficiência dos processos químicos e bioquímicos. O Coordenador de Aplicação da Divisão Laboratório da Mettler-Toledo, Pierre Delmorio, nos apresenta a Análise Térmica como uma ferramenta para estudos de processos químicos na indústria. A Gerente de Projetos Estratégicos da Bayer Crop Science, Silvia Malaman, discute a partir e sua experiência de mais de 20 anos de indústria como deve ser a Liderança do Futuro. Também selecionamos alguns artigos publicados este ano no *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, agora hospedado na Springer.

Obrigado por nos acompanharem. Boa leitura.



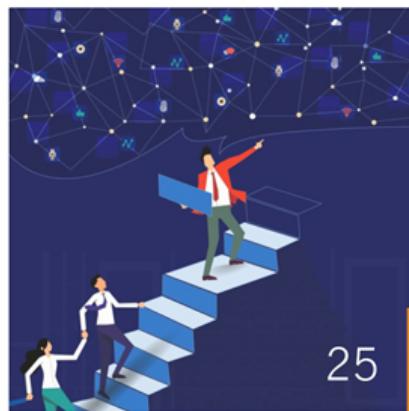
Galo Antonio Carrillo Le Roux

Presidente da ABEQ

ÍNDICE



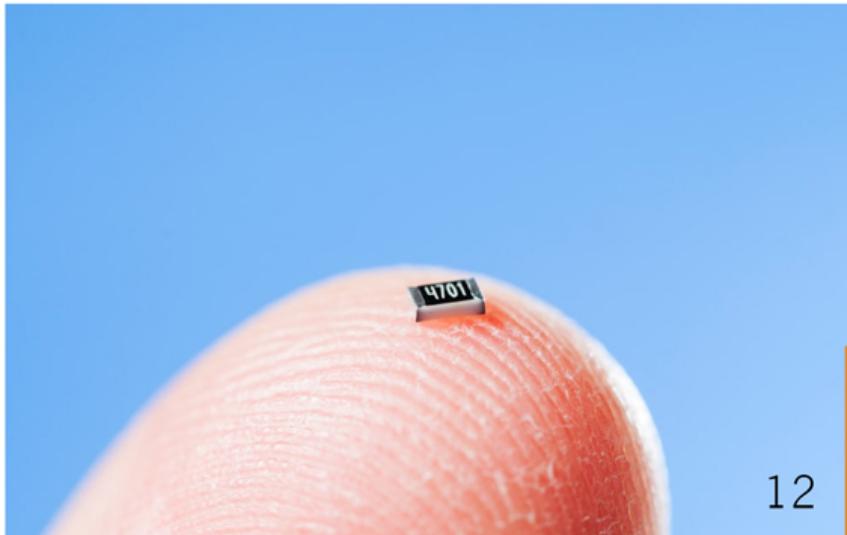
23



25

CAPA

- 12 Miniaturização de processos



12

ARTIGOS

- 6 Análise Térmica como uma ferramenta para estudos de processos químicos na indústria
- 25 Liderança em um futuro digital



6

- 23 Trabalhos publicados no BJChE em 2020

BJCHE

SOBRE A ABEQ

A ABEQ E VOCÊ

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

A ABEQ lhe oferece múltiplas oportunidades de relacionamento a elite de profissionais da academia e da indústria. Também lhe dá acesso a informação científica e tecnológica de ponta e lhe oferece oportunidade de participação ativa na comunidade de engenharia química.

Confira:

- Oportunidades de contatos com colegas, associações, universidades, empresas e entidades governamentais.
- Organização de encontros nas áreas científica, tecnológica e de ensino que mobilizam cerca de 3000 profissionais.
- Organização de cursos de extensão e apoio a cursos de terceiros.
- Acesso a publicação científica trimestral com o respeitável índice de impacto 0,4 (Web of Knowledge), a revista técnico-comercial formato digital e um boletim eletrônico de notícias distribuído para mais de 110 mil contatos.
- Valorização do profissional através de prêmios para estudantes, formandos e pós-graduandos.



FALE CONOSCO

Tem alguma dúvida ou quer mais informações sobre a ABEQ? Contribua com opiniões, ideias e depoimentos.

E-mail: rebeq@abeq.org.br

Os artigos assinados, declarações dos entrevistados e publicidade não refletem necessariamente a opinião da ABEQ. É proibida a reprodução total ou parcial de textos e fotos sem prévia autorização. A Revista Brasileira de Engenharia Química é propriedade da ABEQ - Associação Brasileira de Engenharia Química, conforme certificado 1.231/0663-032 do INPI.

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA QUÍMICA

Publicação da Associação Brasileira de Engenharia Química
Vol. 36 - nº 2 | 2020 - 3º quadrimestre | ISSN 0102-9843



Editor

Galo Carrillo Le Roux

Editor Associado

André Bernardo

Secretaria Executiva

Bernadete Aguilar Perez

Produção Editorial

BEESOFT - www.beesoft.com.br

Redação, Correspondência e Publicidade

Av. Prof. Luciano Gualberto, 380 - Cidade Universitária - CEP: 05508-010 - São Paulo - SP

ABEQ - GESTÃO 2018-2020

CONSELHO SUPERIOR

Argimiro Resende Secchi, Gorete Ribeiro de Macedo, Hely de Andrade Júnior, Lincoln Fernando Lauschtenlager Moro, Marcelo Martins Seckler, Maria Cristina Silveira Nascimento, Mauro Ravagnani, Marcio Tavares Lauria, Ricardo de Andrade Medronho, Selene Maria de A.G.U. de Souza, Suzana Borschiver

DIRETORIA

Galo Antonio Carrillo Le Roux - Diretor Presidente

André Bernardo - Diretor Vice-Presidente

Guilherme Guedes Machado - Diretor Vice-Presidente

Ricardo da Silva Seabra - Diretor Vice-Presidente

José Ermírio de Moraes - Diretor Secretário

Bruno Faccini Santoro - Diretor Tesoureiro

REGIONAIS

Bahia

Luiz Antonio Magalhães Pontes - Diretor Presidente

Ana Cláudia Gondim de Medeiros - Diretora Vice-Presidente

Pará

Fernando Alberto Sousa Jatene - Diretor Presidente

Pedro Ubiratan de Oliveira

Sabaa Sur - Diretor Vice-Presidente

Rio de Janeiro

Elcio Ribeiro Borges - Diretor Presidente

Claudinei de Souza Guimarães - Diretor Vice-Presidente

Rio Grande do Norte

Everaldo Silvino dos Santos - Diretor Presidente

André Luis Lopes Moriyama - Diretor Vice-Presidente

Rio Grande do Sul

Jorge Otávio Trierweiler - Diretor Presidente

Heitor Luiz Rossetti - Diretor Vice-Presidente

São Paulo

Carlos Calvo Sanz - Diretor Presidente

Denise Mazzaro Naranjo - Diretora Vice-Presidente

Análise térmica, segundo o ICTAC (Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria) pode ser definida como: Análise térmica é um grupo de técnicas nas quais as propriedades físico-químicas de uma substância são mensuradas em relação do tempo ou da temperatura enquanto a amostra é submetida a um programa controlado de temperatura.

As palavras-chaves usadas nesta definição se colocam da seguinte forma:

Grupo: a análise térmica comprehende uma ampla variedade de técnicas e tipos experimentais que podem ser considerados coletivamente se a medição total estiver de acordo com a definição total.

Técnicas: uma técnica é caracterizada pela propriedade que está sob investigação.

Relação: implica que a propriedade da amostra pode ser medida em função da temperatura (programa de temperatura controlado) ou a temperatura pode ser medida em função da propriedade da amostra (aquecimento controlado por amostra) e o tempo está relacionado a condição de permanência da amostra em temperatura constante (isotermia).

Amostra: o material em estudo durante todo o experimento (material inicial, intermediários e produtos finais) e sua atmosfera. Isso é equivalente ao sistema termodinâmico.

Propriedade: qualquer propriedade física ou química da amostra.

Temperatura: que pode ser programada diretamente pelo usuário ou



ANÁLISE TÉRMICA

COMO UMA FERRAMENTA PARA ESTUDOS DE PROCESSOS QUÍMICOS NA INDÚSTRIA

Por Pierre Delmório (Mettler-Toledo)

controlada por uma propriedade da amostra. O programa pode incluir um aumento ou diminuição da temperatura, uma mudança periódica ou uma temperatura constante ou qualquer combinação destes.

PRINCIPAIS TÉCNICAS

DTA, Análise Térmica Diferencial

No DTA, a diferença de temperatura entre a amostra e uma substância de referência inerte é medida em função da temperatura. O sinal DTA é $^{\circ}\text{C}$ ou K.

Alguns fabricantes utilizam definições como SDTA, DTA. O sinal de medição representa a diferença de temperatura entre a amostra e uma amostra em branco previamente medida e armazenada.

DTA (e SDTA) permite:

- detectar efeitos endotérmicos

- e exotérmicos, e
- determinar as temperaturas que caracterizam os efeitos térmicos.

DSC, Calorimetria Exploratória Diferencial

Em DSC, o fluxo de calor dentro e fora de uma amostra e um material de referência é medido em função da temperatura conforme a amostra é aquecida, resfriada ou mantida isotermicamente em temperatura constante. O sinal de medição é a energia absorvida ou liberada pela amostra em miliwatts.

DSC permite:

- estudar efeitos endotérmicos e exotérmicos,
- estudar áreas de pico (entalpias de transição e reação),
- determinar as temperaturas que caracterizam um pico ou outros efeitos, e
- medir a capacidade térmica específica.

TGA, Análise Termogravimétrica

O TGA mede a variação de massa de uma amostra em função da temperatura e tempo. A sigla TG foi usada anteriormente. Atualmente, o TGA é o preferido para evitar confusão com Tg, a temperatura de transição vítreia.

TGA permite:

- estudar mudanças na massa da amostra (ganho ou perda),
- estudar mudanças graduais na massa, geralmente como uma porcentagem da massa da amostra inicial, e
- estudar as temperaturas que caracterizam uma etapa na curva de perda ou ganho de massa.

EGA, Análise de gás evoluído

EGA é a técnica por meio das quais a natureza e / ou a quantidade de produtos voláteis gasosos desenvolvidos a partir de uma amostra são medidos em função da temperatura. Técnicas de análise importantes são espectrometria de massa e espectrometria de infravermelho. EGA é mais frequentemente usado em combinação com um TGA porque os compostos voláteis são eliminados em todos os efeitos de TGA (perda de massa).

TMA, Análise Termomecânica

O TMA mede a deformação e as mudanças dimensionais de uma amostra em função da temperatura. No TMA, a amostra é submetida a uma força constante, uma força crescente ou uma força modulada, enquanto na dilatometria as mudanças dimensionais são medidas usando a menor carga possível.

Dependendo do modo de medição, o TMA permite:

- estudar efeitos térmicos (inchaço ou encolhimento, amolecimento, mudança no coeficiente de

- expansão),
- estudar as temperaturas que caracterizam um efeito térmico,
- estudar as alturas dos degraus de deformação e
- medir os coeficientes de expansão.

DMA, Análise Mecânica Dinâmica

No DMA, a amostra é submetida a um estresse mecânico senoidal e a amplitude da força, amplitude de deslocamento (deformação) e mudança de fase são determinadas.

DMA permite:

- estudar efeitos térmicos com base em mudanças no módulo ou comportamento de amortecimento.

Os resultados mais importantes são:

- temperaturas que caracterizam um efeito térmico,
- o ângulo de perda (a mudança de fase),
- o fator de perda mecânica (a tangente da mudança de fase),
- o módulo de elasticidade ou seus componentes, os módulos de armazenamento e perda, e
- o módulo de cisalhamento ou seus componentes, os módulos de armazenamento e perda.

APLICAÇÕES DA ANÁLISE TÉRMICA NA INDÚSTRIA

A análise térmica pode ser aplicada em diferentes indústrias e segmentos, buscando otimizar processos, avaliar performance de produto, estudar e caracterizar matéria-prima e seus fornecedores e avaliar o desempenho e características do produto final.

Temos hoje a análise térmica em uso nas Indústrias Químicas, Farmacêuticas, Petroquímicas, Alimentícia, Academia, Universidades e Centro de Pesquisas.

Aplicações para polímeros termorrígidos e termoplásticos

Em processos químicos, o DSC pode ser usado para investigar eventos térmicos, como transições físicas (a transição vítreia, cristalização, fusão e vaporização de compostos voláteis) e reações químicas. As informações obtidas caracterizam a amostra quanto ao seu comportamento térmico e composição. Além disso, propriedades como capacidade de calor, temperatura de transição vítreia, calor específico, temperatura de fusão, calor (entalpia) de reação também podem ser determinadas. Uma curva DSC típica para esse caso é mostrada na **Figura 1**.

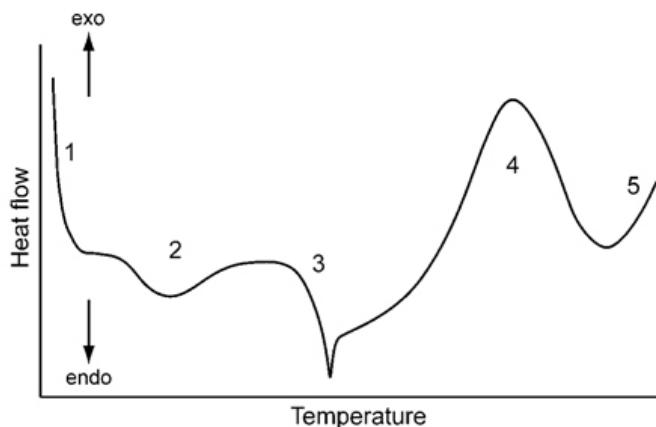


Figura 1. Esquema da curva DSC: 1 Deflexão inicial; 2 evaporação de umidade; 3 transição vítreia com relaxação; 4 reação química (e.g. cura da resina); 5 início da decomposição.

Para o caso apresentado na **Figura 2**, o DSC entregou informações importantes sobre a determinação do grau de reação química de cura e monitoramento da temperatura de transição vítreia de um material termofixo (resina epóxi).

O monitoramento da reação de cura está associado a temperatura de transição vítreia e a identificação da reação exotérmica, pico orientado para cima, durante a análise do material.

Conforme os gráficos abaixo, temos muito bem ilustrado o acompanhamento da variação do pico exotérmico em relação da temperatura de transição vítreia T_g , no qual é possível avaliar o grau de cura em função dessa variação. Quanto maior o grau de cura do material, maior é a tem-

peratura da transição vítreia do material e menor é a área do pico exotérmico.

Na **Figura 3** também temos outro exemplo, no qual o gráfico apresenta 3 ciclos (aquecimento, resfriamento e aquecimento) nas condições de análise de -30 à 200°C, razão de aquecimento de 100°C/min em atmosfera estática.

Não encontramos o pico exotérmico característico da reação de cura da resina, ou seja, o resultado apresenta 100% de grau de cura e a temperatura de transição vítreia se mantém em temperaturas muito próximas, sem grandes oscilações, mesmo nos ciclos 1, 2 e 3 o que sugere uma reação química de cura efetiva para o material estudado.

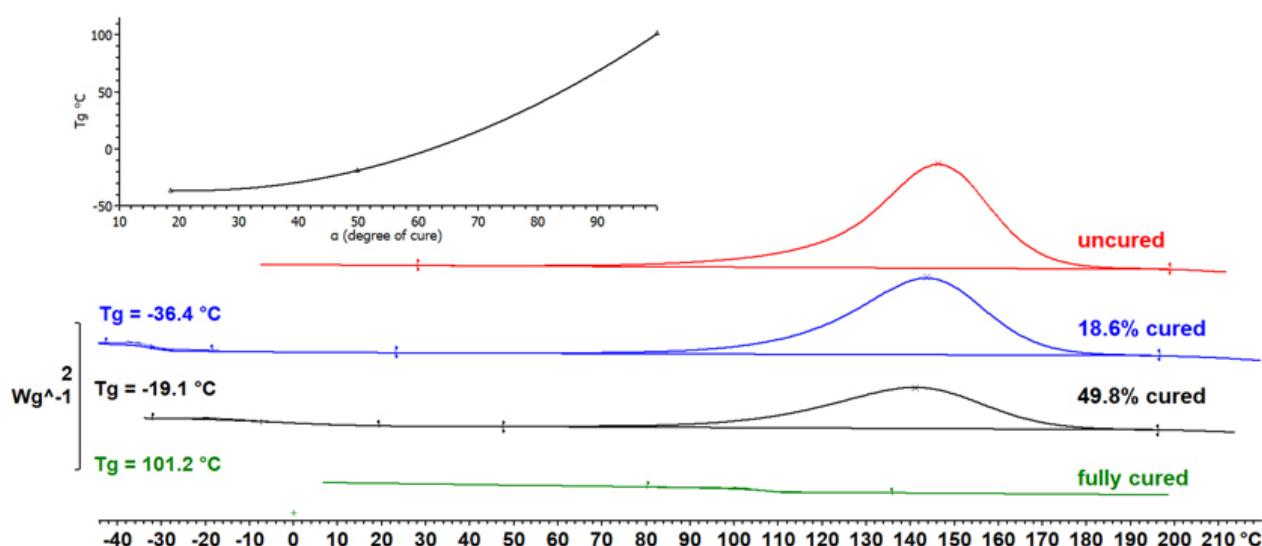


Figura 2. Quatro resultados de DSC comparativas, no qual temos a relação da entalpia e T_g em função do grau de cura do material

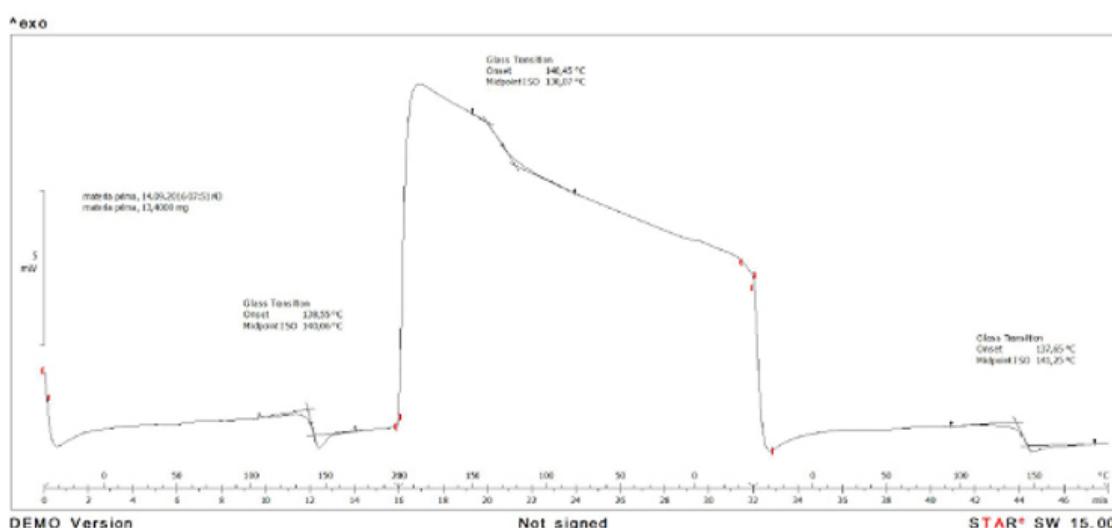


Figura 3. Esquema da curva que apresenta entre 100 e 160°C a faixa de temperatura de transição vítreia nos três ciclos (aquecimento, resfriamento e aquecimento)

Resinas e materiais termofixos devem ser convertidos à sua forma final durante a reação de cura, ou seja, em um processo especial de moldagem ou revestimento. Os materiais de partida (pré-polímeros) são líquidos ou podem ser moldados no processo aumentando a temperatura e depois curados. Em geral, os termofixos produzidos são amorfos, ou seja, não se fundem, apenas amolecem em altas temperaturas (na transição vítreia). Geralmente, esse é o limite superior de temperatura para sua aplicação. Devido ao seu alto grau de reticulação, os termofixos são altamente resistentes ao ataque químico e à deformação térmica e apresentam alta resistência mecânica e baixa tendência à fluência.

Aplicações em Indústrias Farmacêuticas

Em Indústrias farmacêuticas, a análise térmica se mostra cada vez mais presente em estudos de interação e compatibilidade entre componentes de formulação, polimorfismo, avaliação de grau de pureza e até mesmo estudos de identificação e caracterização das embalagens aplicadas aos produtos.

Dentro desse escopo, as análises utilizando as técnicas DSC e TGA contribuem de forma significativa na obtenção de dados de forma rápida e eficiente, para elucidar dúvidas que outras técnicas isoladamente não conseguem avançar, para a conclusão de estudos de pré-formulação e controle de qualidade.

O exemplo da **Figura 4** ilustra o potencial da técnica na caracterização de materiais poliméricos que compõe embalagens, no qual a identificação do polímero é um parâmetro importante na avaliação da qualidade da embalagem que deve atender ao produto, protegendo o mesmo dos efeitos de ambientes externos, como luz e oxigênio por exemplo.

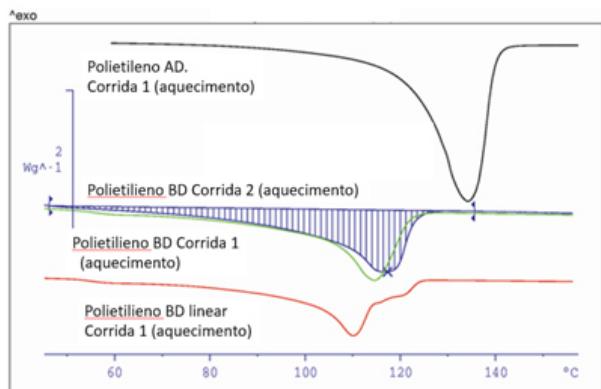


Figura 4. Avaliação DSC de quatro diferentes polímeros, uso dos parâmetros de pico de fusão para identificação dos polímeros empregados em embalagens

O DSC é uma ferramenta importante, para o teste físico de recipientes de polietileno: a qualidade do material de embalagem é de importância decisiva para a proteção de matérias-primas e produtos finais.

A primeira corrida de aquecimento, serve para eliminar qualquer histórico térmico (desconhecido) de forma que amostras de qualidades diferentes, possam ser comparadas adequadamente entre si na segunda corrida de aquecimento. O pico máximo de fusão e a área do picosão parâmetros utilizados na identificação dos polímeros como critério de qualidade para a embalagem.

Outro ponto importante é o uso da técnica de DSC para estudos de compatibilidade e interação entre o princípio ativo e excipiente.

A **Figura 5** representa resultados de DSC para estudo de misturas binárias de IFA e seu excipiente empregados em estudos de pré-formulação.

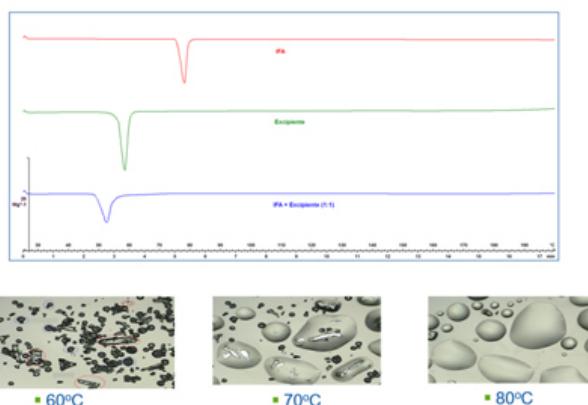


Figura 5. Resultado DSC do IFA, Excipiente e mistura binária. Adicionalmente imagens de Hotstage ilustrando a fusão do excipiente e solubilização do IFA

Junto ao termograma, temos imagens extraídas de um sistema Hotstage acoplado a um microscópio, no qual as imagens comprovam que o excipiente durante o aquecimento e em condições de mistura 1:1 com o IFA solubiliza o ativo, pois não notamos a presença do pico de fusão próximo a 80°C característico do IFA na corrida da mistura (IFA+Excipiente).

Essas informações se tornam relevantes, para entendermos o efeito da temperatura nas misturas binárias e a escolha do excipiente no estudo de compatibilidade dos componentes de formulação.

Aplicações em Indústrias alimentícias

A reação das proteínas que ocorrem com mais frequência no processamento de alimentos é a chamada desnaturação das proteínas. Este é um termo coletivo que descreve uma infinidade de reações químicas (ligações intramoleculares como ligações de hidrogênio ou dissulfeto são quebradas, a cadeia peptídica se desdobra e se agrupa para formar um coágulo desorganizado, etc.). Essas reações podem ser induzidas termicamente e também por tratamento com detergentes, ácidos e bases ou por estresse mecânico. Uma vez iniciadas, as reações ocorrem em paralelo ou consecutivamente. Porém, a desnaturação não ocorre de forma homogênea em todo o material, de forma que pode ser feita uma distinção entre as frações dos materiais desnaturalizados.

Em geral, a desnaturação é uma reação endotérmica e ocorre nos alimentos como uma alteração do sistema complexa, geralmente irreversível. A entalpia da reação é normalmente entre 100 - 400 kJ / mol de proteína.

O DSC detecta a desnaturação como um sinal endotérmico, que geralmente está na faixa de 40 ° C a 100 ° C. Caso outras reações químicas reversíveis ou transições de fase apareçam nesta faixa de temperatura, a desnaturação da

proteína pode ser identificada pela ausência de um sinal (irreversibilidade) em uma segunda medição da mesma amostra. Isso se aplica principalmente às aplicações orientadas para a prática de processamento de alimentos. Investigações de DSC anteriores de natureza fundamental sobre a dinâmica térmica da desnaturação de proteínas também mostraram reações reversíveis em soluções diluídas.

A entalpia de reação medida correspondente à integral do pico de DSC fornece informações sobre a fração de proteína desnaturalizada na amostra. O valor de referência é a entalpia de desnaturação da proteína não estressada (nativa). A proteína processada, por outro lado, geralmente tem entalpias de reação mais baixas, uma vez que frações da proteína já podem ter sido desnaturaladas durante o tratamento.

Parâmetros como a variação e combinação do pH e temperatura podem ser simulados por DSC e nos trazer informações sobre a estabilidade da proteína em condições variadas.

O exemplo da **Figura 6** abaixo ilustra a influência do pH e temperatura na desnaturação das proteínas encontradas na carne bovina.

Com esse resultado, verificamos as temperaturas de desnaturação da Miosina

(primeiro pico endotérmico entre 50 e 60°C), do colágeno (segundo pico endotérmico entre 65 e 69°C) e da Actina (terceiro pico endotérmico próximo a 79°C) em condições variadas de pH.

Vale ressaltar que essas proteínas influenciam diretamente na qualidade da carne, pois propriedades como suculência, elasticidades estão relacionadas a essas proteínas e com esse estudo podemos verificar desde a condição de armazenamento da carne, até mesmo a influência do pH que está relacionado ao tempo de corte após o abate do boi.

De um modo geral, podemos utilizar a técnica DSC para avaliar as proteínas e a qualidade da carne bovina.

CONCLUSÃO

A análise térmica é uma técnica multidisciplinar, sendo uma ferramenta poderosa para atender desde controle de qualidade a pesquisa e desenvolvimento nas Indústrias como um todo.

O uso da técnica se torna cada vez mais relevante e estratégico na Indústria, trazendo grandes resultados no conhecimento dos processos químicos, garantindo a qualidade dos produtos, acelerando o prazo para lançamento de novas soluções, atendendo a inovações e enriquecendo a pesquisa e desenvolvimento de novos materiais.

REFERÊNCIAS

M. Imanashiro, F.J. Caires, D.J.C. Gomes. Giolito Fundamentos de Termogravimetria a Análise Térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial, Esper, 2014.

M. Wagner. Handbook Thermal Analysis in the Practice, Hansen, 2018.

Para saber mais acesse:
<https://bit.ly/3mFgVrp>

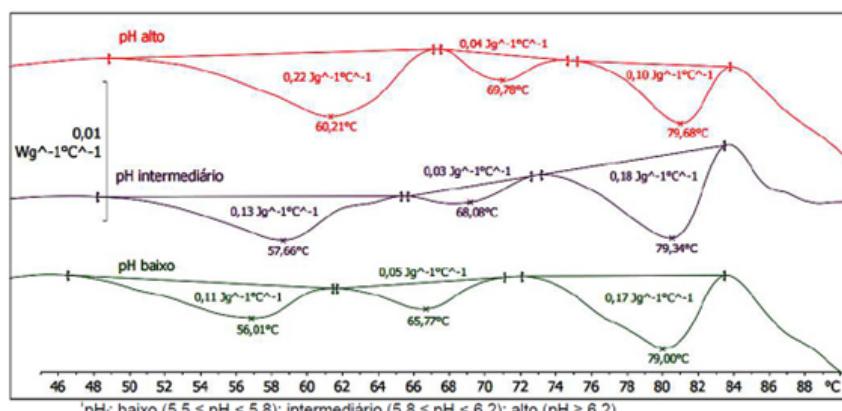


Figura 6. DSC ilustrando a influência do pH na desnaturação das proteínas da carne bovina



CONECTANDO A QUÍMICA PARA MUDAR O MUNDO

A Oxiteno está presente no seu dia a dia. Na produção dos alimentos, nos cuidados pessoais e domésticos e em tantos outros momentos importantes na sua rotina.

Para isso, a companhia busca investir nas melhores tecnologias para oferecer soluções inovadoras e sustentáveis para a sociedade, em conjunto com seus clientes e parceiros.

É assim que a Oxiteno transforma os seus negócios, enquanto também participa da vida de milhões de pessoas, no Brasil e no mundo.

oxiteno.com.br

 **OXITENO**
Evolution by chemistry

CAPA



MINIATURIZAÇÃO

DE PROCESSOS QUÍMICOS

Por Mário Ricardo Gongora-Rubio
Aline Furtado Oliveira
& Martha L. Mora Bejarano

INTRODUÇÃO

A preocupação com o impacto da atividade humana no meio ambiente e com o esgotamento dos recursos naturais tem aumentado muito nas últimas décadas e hoje presenciamos diariamente as evidências da degradação contínua do nosso planeta com problemas de natureza global como: poluição ambiental de águas naturais e solos, aquecimento global, bioacumulação de metais pesados e outras moléculas prejudiciais na biota viva. Desta forma, hoje verifica-se uma pressão da sociedade para reduzir as emissões e melhorar a eficiência energética por meio da adoção de tecnologias mais verdes e processos intensificados que permitam resolver ou diminuir estes problemas, usando métodos e tecnologias inovadoras que aumentem radicalmente a eficiência dos processos químicos e bioquímicos.

No caso de processos químicos um processo ideal é aquele em que os subprodutos são reduzidos ou eliminados completamente no estágio da reação, em vez de serem removidos após a formação (conceito conhecido como minimização de resíduos na fonte). A intensificação de processos surgiu como uma tecnologia facilitadora que pode enfrentar com eficácia esses desafios e ao mesmo tempo ser compatível com os princípios da química verde a fim de diminuir o impacto ambiental da indústria química atual. Assim a estratégia de miniaturização e integração de processos químicos apresenta um enorme potencial para realizar uma mudança profunda na filosofia de projeto das plantas químicas modernas.

Neste trabalho apresentamos de forma concisa as tecnologias facilitadoras e as ciências fundamentais que configuram uma abordagem multidisciplinar para o desenvolvimento da miniaturização de processos químicos.

MINIATURIZAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS

A miniaturização de processos químicos permite a obtenção de produtos químicos com processos mais rápidos, controlados e reproduzíveis. Vantagens tais como: alta transferência de calor e massa de reagentes, baixo dispêndio de insumos e energia, segurança, portabilidade e escalabilidade de reatores, permitem uma conversão mais direta de rotas de laboratório para escalas maiores, uma vez que garantem o controle principal do processo, em contraposição com as dificuldades associadas à conversão da reação em batelada para reatores de grande escala.

Dentre as diversas tendências da engenharia química e química as abordagens multidisciplinares são frequentemente bem-sucedidas e a miniaturização de processos químicos é um excelente exemplo. Na **Figura 1** Mostra-se a convergência de ciências fundamentais e tecnologias facilitadoras para a viabilização de soluções adequadas para a miniaturização de processos químicos.

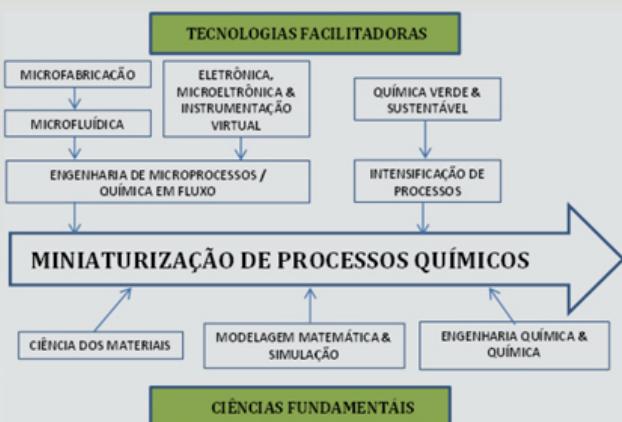


Figura 1. Abordagem Multidisciplinar para Miniaturização de Processos Químicos (Modificado de ¹)

Nesta figura verifica-se a confluência de tecnologias facilitadoras como microfabricação², microfluídica³ e eletrônica⁴ como ferramentas da engenharia de microprocessos⁵/química em fluxo⁶ que seguem os preceitos da química verde⁷ e intensificação de processos⁸ apoiados nas ciências fundamentais de materiais, modelagem matemática, simulação e o vasto conhecimento da Engenharia Química e Química para mostrar a abordagem multidisciplinar na miniaturização de processos químicos. A seguir apresentamos de forma básica as tecnologias facilitadoras que interagem nesta área.

QUÍMICA VERDE

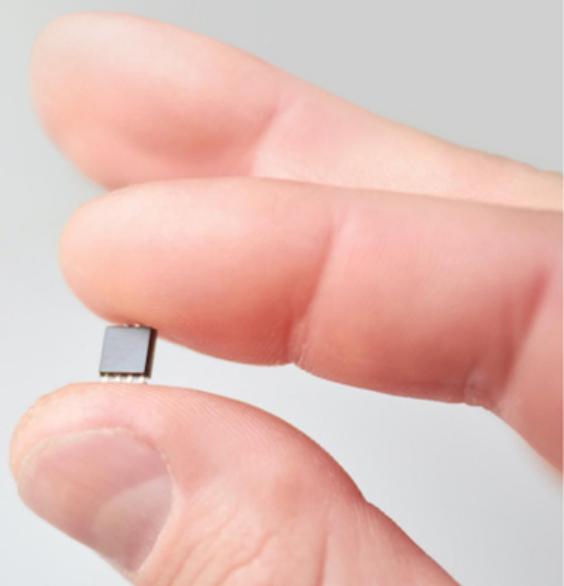
A química verde envolve o projeto de produtos e processos químicos que reduzem ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas, eliminando os processos químicos prejudiciais ao ambiente e substituindo-os por outros menos agressivos, sustentáveis, recicláveis e não persistentes que não agridam o meio ambiente. Existem doze princípios na química verde, conforme descrito em⁹ que têm o potencial de se beneficiar com as tecnologias de microprocessos:

- 1 **Prevenção:** é melhor prevenir o desperdício do que tratar ou limpar após a criação.
- 2 **Economia de átomos:** os métodos sintéticos devem ser projetados para maximizar a incorporação de todos os materiais no produto final.
- 3 **Sínteses químicas menos perigosas:** os métodos sintéticos devem ser projetados para usar e gerar substâncias que possuem pouca ou nenhuma toxicidade para os humanos e o meio ambiente.
- 4 **Projeto de produtos químicos mais seguros:** os produtos químicos devem ser projetados para efetuar sua função desejada e ao mesmo tempo minimizar sua toxicidade.
- 5 **Solventes e auxiliares mais seguros:** o uso de substâncias auxiliares deve ser evitado, e, quando necessário devem ser inócuas.
- 6 **Projeto para eficiência energética:** os requisitos de energia dos processos químicos devem ser reconhecidos por seus impactos ambientais e econômicos e devem ser minimizados.

- 7 **Uso de matérias-primas renováveis:** uma matéria-prima ou matéria-prima deve ser renovável sempre que técnica e economicamente viável.
- 8 **Reducir derivados:** a derivatização desnecessária deve ser evitada porque tais etapas em geral geram resíduos.
- 9 **Catálise:** os processos catalíticos (tão seletivos quanto possível) são superiores aos reagentes estequiométricos.
- 10 **Projeto para degradação:** os produtos químicos devem ser projetados de modo que ao final do processo, se decomponham em produtos inócuos que não persistem no meio ambiente.
- 11 **Análise em tempo real para prevenção da poluição:** monitoramento e controle do processo para minimizar a formação de substâncias perigosas.
- 12 **Química inherentemente mais segura para a prevenção de acidentes:** as substâncias utilizadas em um processo químico devem ser escolhidas para minimizar estes problemas.

INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS

A Intensificação de Processos é definida como o desenvolvimento de aparelhos inovadores e técnicas que oferecem melhorias amplas na fabricação e processamento de produtos químicos. Com seu uso diminui-se substancialmente o volume do



equipamento, o consumo de energia, a formação de resíduos e em última instância fornecendo tecnologias mais seguras e sustentáveis um preço menor¹⁰. Configuram-se então os quatro princípios orientadores que são chamados de princípios genéricos de intensificação de processos¹¹.

- *Maximizar a eficácia dos eventos intra e intermoleculares;*
- *dar a cada molécula a mesma experiência de processamento;*
- *otimizar as forças motrizes e resistências em todas as escalas e maximizar as áreas superficiais específicas onde essas forças ou resistências se aplicam;*
- *maximizar os efeitos sinérgicos de processos parciais.*

A Química Verde e a Intensificação de Processos apresentam uma enorme sinergia e verifica-se que muitos dos princípios da Intensificação de processos abordam claramente a maioria dos doze princípios da Química verde.

Para a aplicação da intensificação de processos é possível atuar em três segmentos possíveis: a) Intensificação pelo projeto de equipamentos e/ou métodos com uma eficiência maior. Baseiam-se na concepção de novos equipamentos de separação, transferência de calor ou reação química, mais eficiente que os atuais, mas sem alterar o conceito do processo de produção. b) Intensificação integrando diferentes etapas do processo em uma única unidade. Contemplam a integração de diversas operações unitárias em um mesmo equipamento. c) Intensificação usando tecnologia de Microprocessos. Ao reduzir drasticamente as dimensões do equipamento, até a escala milimétrica ou micrométrica, as velocidades de transferência de massa e transmissão de calor são bastante aumentadas, de modo que os tempos de reação necessários são significativamente reduzidos.

Buscando-se assim novas configurações que realizem a mesma tarefa dos equipamentos convencionais, porém integrando as diversas etapas (mistura, reação e separação) num único equipamento com mais de uma etapa do processo.

A intensificação de processos utilizando microtecnologia apresenta um conceito inovador na geração de produtos e especialidades químicas, principalmente para produtos farmacêuticos, alimentícios e cosméticos, pois utiliza no processo produtivo uma nova geração de equipamentos e suas respectivas técnicas de fabricação¹². Nesse novo conceito, os processos utilizam sistemas modulares de reação e de processos de separação, composto de sistemas paralelizados de equipamentos miniaturizados. O efeito é similar ao de se instalar um grande conjunto de pequenos sistemas de produção operando em paralelo, e a capacidade industrial é adequada pelo número de unidades básicas. A miniaturização de processos permite obter uma série de vantagens sobre os processos convencionais, tais como¹⁰:

Continuidade de processamento: os processos miniaturizados viabilizam a mudança de processamento em batelada para processamento contínuo, tendo como resultado melhor aproveitamento de insumos e redução de custos de produção.

Facilidade de aumento de produção: este aumento de produção (numbering-up) é feito pela paralelização de unidades produtivas básicas, evitando uma etapa de testes em escala piloto.

Melhoria de processos químicos: a miniaturização de reatores químicos oferece o controle do ambiente de reação de forma muito precisa, permitindo produção contínua,

redução de subprodutos de reação, melhor aproveitamento dos insumos; redução de aditivos, redução de custos de separação, e gasto de energia no processo.

Produtos novos ou aprimorados: a intensificação de processos pela miniaturização possibilita a criação de produtos que não podem ser fabricados de forma segura ou controlada devido a taxas de reação muito elevadas, reações altamente exotérmicas ou reagentes perigosos.

Aumento de Segurança: os processos miniaturizados apresentam características mais seguras, como a redução do volume total de materiais potencialmente perigosos e controle mais preciso de reações muito rápidas ou perigosas.

Benefícios Energéticos e Ambientais: As aplicações de intensificação de processos miniaturizada oferecem oportunidades para economia de energia (no caso dos micromisturadores de 50%) e benefícios ambientais, especialmente em termos de desenvolvimento sustentável.

Produtos assépticos: a fabricação dos sistemas miniaturizados permite o uso de materiais esterilizáveis, diminuindo os riscos de contaminação.

Facilidade de manutenção: devido ao seu caráter modular, a manutenção pode ser realizada pela substituição do módulo com problema, sem a necessidade de parar o processo diminuindo custos de manutenção.

Redução de custos de capital: devido a sua abordagem modular, estes sistemas apresentam uma redução substancial do capital investido em edificações, estruturas de

suporte de equipamentos, montagem e instrumentação, já que muitos dos sistemas são intrinsecamente seguros.

Tecnologias que permitem integração: as tecnologias de Microfabricação como a tecnologia de cerâmicas multicamada (LTCC), empregada na produção de microsistemas cerâmicos, permite a integração de microfluídica, sensores, atuadores e eletrônica para realizar funções de controle do processo, diminuindo o custo da instrumentação global do sistema de produção¹³.

MICROFABRICAÇÃO

As técnicas de microfabricação fizeram um enorme progresso na indústria eletrônica¹⁴ e mais recentemente, nas aplicações de química analítica para microanálise¹⁵.

Os sistemas químicos miniaturizados apresentam uma série de vantagens para estudos de síntese e desenvolvimento de processos, explorando novas condições de processo no que diz respeito à temperatura, pressão, concentração, solventes e etc. Estas técnicas permitem a redução de tamanho e a integração de múltiplas funções com o potencial de produzir estruturas com desempenho que excede o dos sistemas macroscópicos convencionais permitindo ainda adicionar novas funcionalidades, tornando possível a produção em massa e com baixo custo. Os principais métodos e processos de microfabricação¹⁶ são:

Processos subtrativos: corte micro-mecânico (fresagem, torneamento, retificação, polimento, etc.); Micro-EDM (electric discharge micro-machining); Micro-ECM (electro-chemical micromachining); Usinagem com feixe de laser; Usinagem usando electron beam; Usinagem por cor-

rosão química (úmida e seca); etc.

Processos aditivos: revestimento de superfícies (deposição de vapor químico (CVD), deposição de vapor físico (PVD)); Escrita direta (jato de tinta, guiada por laser); Micro-fundição; Moldagem por microinjeção; Sinterização; Fotoeletroformação; Deposição química; Impressão 3D (Deposição de polímero; Estereolitografia; etc).

Processos de deformação:

Microformação (estampagem, extrusão, forjamento, dobra, repuxo, conformação incremental, conformação superplástica, hidroformação, etc.); Gravação a quente (Hot Embossing); Micro / Nanoimpressão; etc.

Processos de união: Montagem micro-mecânica; Soldagem a laser; Soldagem por resistência, laser e vácuo; Ligação; Colagem; etc. Processos híbridos Micro-laser-ECM; LIGA e LIGA combinados com usinagem a laser; Micro-EDM e montagem de laser; Deposição de formas e usinagem a laser; Efab; Microformação assistida por laser; Moldagem por injeção de micro-montagem; Micro-usinagem e fundição combinadas; etc.

TECNOLOGIA LTCC

A tecnologia LTCC “Low Temperature Co-fired Ceramic” embora tenha sido uma tecnologia concebida inicialmente para ser utilizada na indústria eletrônica como substrato para a fabricação de circuitos eletrônicos, a sua utilização foi se expandindo até áreas como a fabricação de sensores e sistemas tridimensionais multicamadas para Microfluidica¹³ sendo adotada no nosso laboratório. Esta é uma técnica de microfabricação híbrida pois as camadas são fabricadas por métodos substrativos, enquanto

a configuração dos dispositivos se realiza de forma aditiva. Os materiais usados para a obtenção das fitas de cerâmica verde na tecnologia LTCC são vitro-cerâmicas com estruturas de grão muito uniforme. O material primário é alumina (Al2O3) com uma matriz vítreia cujo objetivo é diminuir a temperatura durante a sinterização viscosa do sistema, deixando o material compatível com a tecnologia de filmes espessos. Estas fitas apresentam espessuras de 50 a 250 µm. A tecnologia LTCC permite a geração de estruturas mecânicas (furos, vigas, pontes, canais, cavidades) em tamanhos intermediários na faixa de 50µm até vários milímetros de maneira simples. Como estas fitas LTCC são fornecidas em estado “verde” (antes da sinterização) são processadas usando microusinagem a Laser de UV. Para a manufatura dos dispositivos em LTCC seguem-se as seguintes etapas:

- *Moldagem (litografia, microusinagem a Laser, micro-estampagem) das fitas cerâmicas para abertura de vias, canais, cavidades etc;*
- *Deposição de resistores/condutores/dielétricos de filme espesso na superfície ou enterrados;*
- *Laminação das fitas cerâmicas para a obtenção de um sistema multicamada;*
- *Sinterização do laminado;*
- *Fechamento de cavidades, tornando o sistema auto-sustentável mecanicamente;*
- *Realização da interconexão elétrica externa (montagem e soldagem de terminais).*

Após o processamento do laminado será obtido então gerado um corpo rígido contendo a aplicação desejada como circuitos eletrônicos, sensores, válvulas, dispositivos microfluídicos, microreatores, etc; como apresentado na **Figura 2** a seguir.

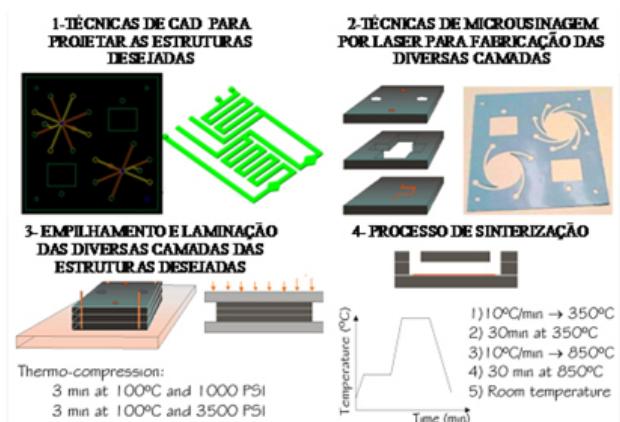


Figura 2. Processo de fabricação de dispositivos microfluídicos, usando a tecnologia LTCC(McKinsey, 2019)

MICROFLUÍDICA: UMA ESTRATÉGIA EM MINIATURIZAÇÃO DE PROCESSOS

A microfluídica é uma ciência que originou da necessidade da otimização de processos químicos, em que foram propostos sistemas de canais micrométricos por onde escoam pequenos volumes de amostras e reagentes¹⁷. Os primeiros sistemas microfluídicos foram criados por Manz em¹⁸, em que apresentou a tecnologia visando aperfeiçoar os métodos analíticos e para isso usou o termo micro-total-analytical systems (μ TAS). A partir desta primeira demonstração de reações químicas em sistemas de microcanais, diversas aplicações têm sido investigadas usando a microfluídica como tecnologia miniaturizada.

A miniaturização de tecnologias compreende o conceito de intensificação de processos, em que visa o aumento da produtividade e redução de custos por meio do desenvolvimento de processos em equipamentos em escala reduzida¹⁹, conforme discutido anteriormente. A microfluídica se enquadra como uma tecnologia de intensificação de processos devido a possibilidade de estudo de reações e/ou processos em sistemas micrométricos. Além disso, a microfluídica permite a integração de diferentes reações em um único dispositivo, proporcionando novas estratégias de controle e otimização de processos usando sistemas como os microrreatores.

Os sistemas microfluídicos, incluindo os microrreatores, têm como principal característica o escoamento de fluidos em regime laminar devido à dimensão diminuta dos canais. Com isso, os sistemas possuem microambientes mais controlados e os processos de transferência de massa e calor apresentam uma maior eficiência se comparados às escalas macrométricas^{20,21}. Com isso, a tecnologia microfluídica aponta com uma estratégia completa de miniaturização de processos, atendendo requisitos de aumento de produtividade e otimização de processos.

A microfluídica como miniaturização pode trazer benefícios também em termos de eficiência, uma vez que há um menor consumo de energia, reagentes e maior aproveitamento do processo. Os microrreatores podem ser usados, por exemplo, para construção de plantas modulares em pequena escala com operação em fluxo contínuo, sendo usados sistemas microfluídicos para funções como síntese orgânica, separação, análise química^{22,23}. A possibilidade de integrar diferentes microrreatores numa planta se deve as diferentes possibilidades de construção dos microcanais, que é outra característica importante da tecnologia. Os microrreatores podem ser construídos em diversos materiais e geometrias de canais e ainda serem projetados como sistemas multifuncionais num único dispositivo. A funcionalidade destes sistemas microfluídicos pode ainda ser investigada por meio de simulação computacional, mostrando o comportamento fluidodinâmico que ocorre nos microcanais e como estas respostas podem contribuir no desenvolvimento de ferramentas microfluídicas, na miniaturização de processos químicos.

A IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO DESENVOLVIMENTO DA MICROFLUÍDICA

A microfluídica é uma tecnologia desenvolvida com o objetivo de manipular diminutas amostras e reagentes em uma escala micrométrica, visando otimizar os processos e reações que ocorrem em microcanais. A complexidade dos fenômenos físicos em micro e nanoescala, presentes nesses sistemas miniaturizados, levou ao desenvolvimento de métodos computacionais para dar suporte aos estudos do comportamento fluidodinâmico em microcanais microfluídicos.

O aumento do poder computacional e o desenvolvimento de técnicas de simulação numérica abriram uma nova abordagem para estudar a microfluídica. Uma vez que as características do escoamento dentro de dispositivos microfluídicos são importantes, as simulações de dinâmica de fluidos computacional – CFD sigla em inglês para “Computational Fluid Dynamics” – fornecem uma



maneira de estudar os comportamentos do fluido que não são possíveis de serem observados em estudos experimentais. Assim, a simulação fluidodinâmica tem um papel fundamental para o desenvolvimento de tecnologias microfluídicas.

A fluidodinâmica computacional é um ramo da mecânica dos fluidos que utiliza algoritmos e métodos numéricos para resolver e analisar problemas de escoamento dos fluidos. Através de simulações numéricas, podem-se obter soluções para modelos matemáticos que não possuem solução analítica. A partir da hipótese clássica do contínuo, os fenômenos de transporte de quantidade de movimento, energia e massa podem ser descritos por equações diferenciais parciais (PDE), incluindo a equação de conservação da massa (continuidade). Em geral, o CFD resolve numericamente as equações de transporte para as variáveis relevantes ao caso estudado. Simulações específicas, análises paramétricas eficientes e o estudo de processos complexos que são experimentalmente intratáveis também são facilitados pela aplicação do CFD. Esta técnica numérica de simulação, de volumes finitos, é usada na análise de sistemas em fluxo contínuo e outros fenômenos associados^{24,25}, entre os quais pode-se mencionar o desenvolvimento de reatores, misturadores, trocadores de calor, estudos de dispersão de contaminantes, entre outros. As diversas possibilidades de aplicações da simulação computacional em engenharia mostram como esta ferramenta pode contribuir na miniaturização de processos.

Namicrofluídica, o CFD tornou-se uma técnica amplamente utilizada como ferramenta no desenvolvimento, estudo e otimização de microdispositivos para aplicação em diferentes áreas da engenharia e biotecnologia²⁶, per-

mitindo a otimização de processos e de geometrias complexas com baixo custo e menor tempo de bancada em laboratório²⁷.

A aplicação do CFD em microfluídica permite resolver os modelos que representam a física do processo e, para isso, devem definir-se as condições iniciais e de contorno do sistema a ser modelado. Além disso, devem ser consideradas as propriedades físicas e as forças que governam os fluidos em movimento, que afetam o processo

operando sob o princípio da focalização hidrodinâmica (Fig. 3b). A análise do comportamento fluidodinâmico nos microcanais mediante a aplicação da técnica de CFD permitiu o desenvolvimento desses microdispositivos e dos respectivos processos.

Assim, a contribuição da simulação computacional na dinâmica de fluidos e as particularidades da microfluídica, como a redução de custo com reagentes e menor tempo de reação, tem levado a um crescente interesse em

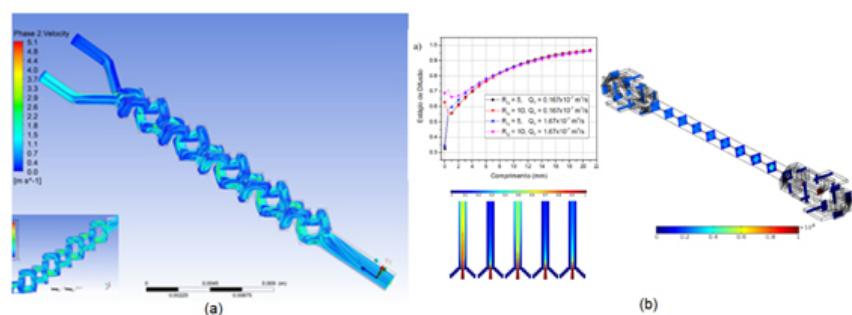


Figura 3. Análise de CFD de dispositivos microfluídicos. (a) Micromisturador tipo split e recombine: comportamento fluidodinâmico nos canais, escoamento bifásico. Linhas de corrente coloridas pela magnitude da velocidade da fase dispersa. (b) Estudo da focalização hidrodinâmica aplicada à síntese de nanopartículas

devido à inércia, viscosidade, pressão, gravidade, tensão superficial entre outros. É importante observar que na escala micro, o comportamento dos fluidos pode diferir do comportamento clássico em escala macro em aspectos tais como a tensão superficial e a dissipação de energia e que a simulação computacional na microfluídica mostra como esses comportamentos influenciam os processos nessa escala e permitem a análise dos problemas facilitando a busca de soluções e avaliação de novas aplicações.

Na **Figura 3**, observa-se os resultados dos estudos de CFD, realizados pelo nosso grupo de pesquisa, em micromisturadores passivos, tipo split and recombine, em processos bifásicos (Fig. 3a) e em microrreatores para síntese de nanopartículas²⁸, este último

utilizar a tecnologia na miniaturização de processos no âmbito científico e industrial com diversas aplicações.

MICROFLUÍDICA APLICADA À MINIATURIZAÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS

A microfluídica aplicada à miniaturização de processos tem se destacado em diversas áreas. Esta tecnologia possibilita o desenvolvimento de processos com respostas mais rápidas, com redução de custos, além de obter resultados até mesmo superiores aos processos convencionais. Diante destas particularidades oriundas da microfluídica, o interesse por aplicação desta tecnologia como miniaturização de processos vem crescendo no campo científico.

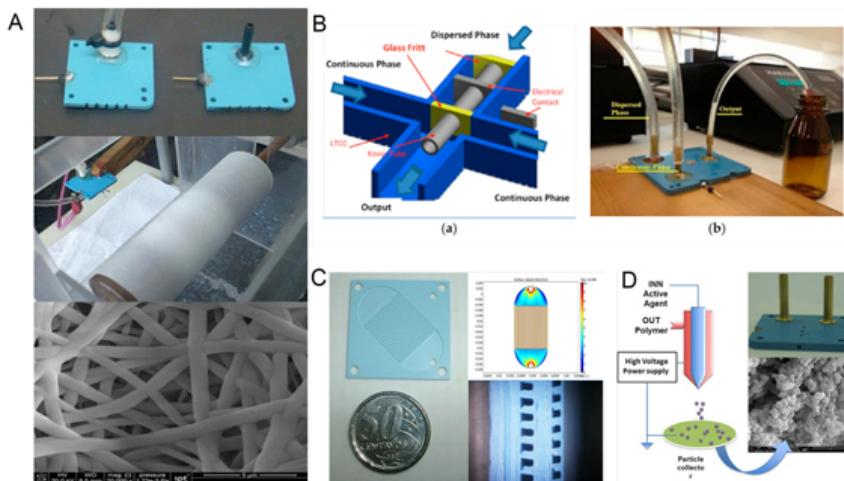


Figura 4. Aplicações de tecnologias microfluídicas como miniaturização de processos: a) dispositivo microfluídico para eletrofiação de nanofibras; b) misturador microfluídico com canais estruturados para aplicações em misturas químicas, Adaptado de Gomez et al. (2018)²⁹; c) sistema microfluídico trocador de calor, Adaptado de Vásquez-Alvarez et al. (2010)²⁶; d) dispositivo microfluídico para produção de nanopartículas.

Na área de processos químicos, a microfluídica pode ser aplicada tanto para investigação de reações como para processos de mistura e geração de produtos. No nosso grupo de pesquisa, as investigações usando estas tecnologias visam aplicações industriais e por isso os sistemas microfluídicos têm sido construídos usando principalmente material cerâmico em LTCC por conferir propriedades que possibilitam de escalonamento destes processos. Sendo assim, diferentes estudos têm sido conduzidos no nosso grupo de pesquisa para projetar sistemas microfluídicos como tecnologia de miniaturização de processos químicos, pode ser observado na **Figura 4**.

Dentre as tecnologias microfluídicas construídas em LTCC e desenvolvidas pelo nosso grupo, podemos citar o desenvolvimento de dispositivo microfluídico aplicado a eletrofiação de nanofibras em microcanais construídos em LTCC (Figura 4a) e os micromisturadores com canais tridimensionais para misturas de fluidos miscíveis e imiscíveis, gerando

também emulsões (Figura 4b). Os sistemas de trocadores de calor também são exemplos de processos que podem ser miniaturizados usando a tecnologia microfluídica (Figura 4c)²⁶. Além disso, diferentes estudos com microrreatores têm sido realizados visando, por exemplo, a síntese de nanopartículas usando a tecnologia microfluídica (Figura 4d).

No nosso grupo de pesquisa, microrreatores para produção de micro e nanopartículas foram desenvolvidos para diferentes aplicações. Os microrreatores em LTCC tem como vantagem ser um dispositivo robusto e que permite a integração de

componentes de sensores, sistemas de temperatura, além de suportar altas vazões e pressões. A partir de microrreatores com canais 3D foi possível, por exemplo, a produção de nanocapsulas por nanoprecipitação³⁰, produção de nanocrystalas, nanopartículas de prata gerando resultados até mesmo superiores aos processos convencionais.

Entre os estudos de microrreatores para produção de nanopartículas, o processo de produção de nanopartículas de rifampicina por precipitação por microfluídica se destacou pela distribuição de tamanho e morfologia das nanopartículas, como mostra a **Figura 5**³¹. A tecnologia possibilitou ainda o aumento de produção de nanopartículas por meio de dispositivos microfluídicos construídos em paralelo. Para isso foram projetados canais que se configuraram como o arranjo de várias operações unitárias em paralelo num único microdispositivo. Desta forma a distribuição de fluxo entre as unidades foi uniforme gerando uma mesma perda de carga e tempo de residência entre as unidades. Os resultados deste estudo com um sistema paralelizado mostra a possibilidade de aplicação da tecnologia para produção de nanopartículas em escala industrial^{30,31}.

Estas e outras aplicações mostram o potencial da microfluídica como uma tecnologia na miniaturização

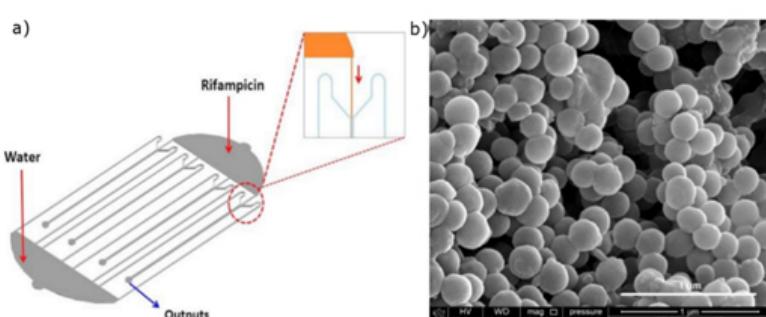


Figura 5. Produção de nanopartículas por microrreator: a) microrreator paralelizado, b) nanopartículas de rifampicina produzidas pelo sistema microfluídico. Adaptado de Schianti et al, 2013³¹

de processos químicos²⁹. Além das vantagens provenientes da miniaturização, a microfluídica confere outros atributos aos processos, como controle preciso das reações em microcanais, que tornam esta tecnologia interessante para diversas aplicações, inclusive no âmbito industrial.

AUMENTO DE PRODUÇÃO DE PROCESSOS QUÍMICOS MINIATURIZADOS

Nos últimos anos, dispositivos microfluídicos têm sido utilizados com sucesso na síntese de micro e nanopartículas de forma contínua com controle tamanho de partícula e baixa polidispersidade. No entanto, um dispositivo comum funciona em faixas de baixa vazão, como algumas centenas de $\mu\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$. As baixas vazões obtidas representam um grande obstáculo para a produção de partículas em aplicações industriais. Assim foram estudadas estruturas de microreação as quais permitem aumentar a vazão de trabalho para dezenas de $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ²⁹.

Em vez do aumento de escala, a capacidade de produção de processos usando dispositivos microfluídicos pode ser aumentada pela construção de estruturas paralelizadas de forma interna e / ou externa (Internal or External Numbering-up)³². A paralelização interna se configura como o arranjo, de várias operações unitárias, em paralelo num microdispositivo, conforme mostrado na **Figura 6 a)**, e a paralelização externa é a configuração paralela de vários microdispositivos, veja na **Figura 6 b)**. Assim, usando múltiplas repetições paralelas das unidades de processamento pode-se atingir rendimentos até escala industrial.

Multiplicar o número de estruturas, mantendo as características de transporte de massa alcançado em uma operação unitária única é uma questão crítica. Portanto a distribuição do fluxo para as unidades individuais deve ser o mais uniforme possível para fornecer a

mesma perda de carga e a mesmo tempo de residência para todos os dispositivos.

Assim a necessidade de distribuição do fluxo em um sistema multicanal de maneira uniforme gerou algumas soluções que foram propostas na literatura, como o uso de reservatórios³⁴, sistemas com sistema paralelizado de geração de gotas³⁵. A utilização de ramificações de microcanais, respeitando a Lei de Murray para vascularização é uma possível solução. A Lei de Murray estabelece que o cubo do diâmetro do canal-mãe é igual a uma soma de cubos dos diâmetros dos canais filhos. Esta lei foi proposta para estudar sistemas biológicos e agora é usado com sucesso para projetar sistemas microfluidicos³⁶.

CONCLUSÕES

Para que a indústria química realize seu potencial no desenvolvimento de processos intensificados e sustentáveis, é imperativo que as interações multidisciplinares continuem a se fortalecer. Assim o setor químico precisa, portanto, focalizar no desenvolvimento de práticas que continuem a reduzir o desperdício, a aumentar a sustentabilidade e intensificar os processos e ao mesmo tempo manter as características da produção não só do ponto de vista ambiental, mas também com uma perspectiva de qualidade, segurança e economia. Nesta área a miniaturização de processos químicos tem um papel fundamental a cumprir.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Laboratório de Micromanufatura, à Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (FIPT) e ao projeto FAPESP-PDIP (Processo 2017/50343-2) pelo suporte dado aos projetos e pela aquisição das licenças do software ANSYS-CFD utilizado nas simulações computacionais.

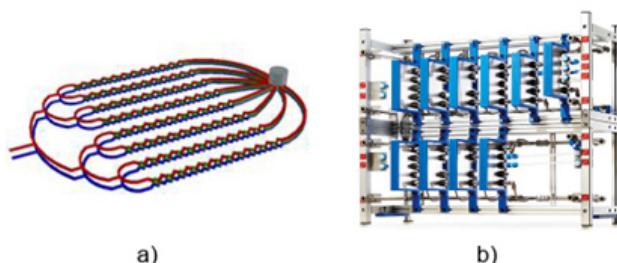


Figura 6. Exemplos de paralelização a) interna e b) externa. Adaptado de Corning³³

REFERÊNCIAS

- ¹ Melvin V. Koch, Vandenbussche, K. M. & Chrisman, R. W. Micro Instrumentation for High Throughput Experimentation and Process Intensification. in Wiley-VCH (Wiley-VCH, 2007).
- ² Madou, M. J. Manufacturing Techniques for Microfabrication and Nanotechnology. CRC-Press (CRC Press, 2011). doi:10.1201/9781439895306
- ³ Berthier, J. & Silberzan, P. Microfluidics for Biotechnology. Artech House microelectromechanical systems MEMS series1, (2006).
- ⁴ Prabhu, G. R. D. & Urban, P. L. Elevating Chemistry Research with a Modern Electronics Toolkit. *Chem. Rev.* (2020). doi:10.1021/acs.chemrev.0c00206
- ⁵ Kockmann, N. Micro Process Engineering. Wiley-VCH (Wiley-Liss Inc., 2009). doi:10.1002/9783527631445
- ⁶ Vaccaro, L. Sustainable Flow Chemistry. Sustainable Flow Chemistry (Wiley-VCH, 2017). doi:10.1002/9783527689118
- ⁷ Anastas, P. & Eghbali, N. Green Chemistry: Principles and Practice. *Chem. Soc. Rev.* 39, 301–312 (2010).
- ⁸ Charpentier, J. C. Process intensification by miniaturization. *Chem. Eng. Technol.* 28, 255–258 (2005).
- ⁹ Anastas, Paul T. Kirchhoff, M. M. Origins currents status and future challenges of green chemistry_AccChemRes_2002.pdf. *Acc. Chem. Res.* 35, 686–694 (2002).
- ¹⁰ Stankiewicz, A. & Moulijn, J. A. Re-Engineering the Chemical Processing Plant. Marcel Decker (Marcel Decker, 2004). doi:10.1201/9780203913291
- ¹¹ Andrzej Stankiewicz, Gerven, T. & Stefanidis, G. The Fundamentals of Process Intensification. (Wiley-VCH Verlag, 2019).
- ¹² BOODHOO, K. & HARVEY, A. Process Intensification for Green Chemistry. Process Intensification for Green Chemistry (Wiley, 2013). doi:10.1002/9781118498521
- ¹³ Gongora-Rubio, M. R., Santiago-Avilés, J. J., P. Espinoza-Vallejos & Sola-Laguna, L. Overview of low temperature co-fired ceramics tape technology for meso-system technology (MsST). *Sensors Actuators A89*, 222–241 (2001).
- ¹⁴ Sami Franssila. Introduction to Microfabrication. (Wiley, 2010). doi:10.1002/9781119990413
- ¹⁵ Labeed, F. H. & Fatooyinbo, H. O. Microfluidics in Detection Science: Lab-on-a-chip Technologies. RSC Detection Science2015-Janua, (2015).
- ¹⁶ Yi Qin. Micromanufacturing Engineering and Technology. (Elsevier, 2015).
- ¹⁷ Whitesides, G. M. The origins and the future of microfluidics. *Nature* 442, 368–373 (2006).
- ¹⁸ Manz, A. et al. Design of an open-tubular column liquid chromatograph using silicon chip technology. *Sens. Actuators* 1, 249–255 (1990).
- ¹⁹ Keil, F. J. Process intensification. *Rev. Chem. Eng.* 34, 135–200 (2018).
- ²⁰ Marre, S. & Jensen, K. F. Synthesis of micro and nanostructures in microfluidic systems. *Chem. Soc. Rev.* 39, 1183 (2010).
- ²¹ Weibel, D. B. & Whitesides, G. M. Applications of microfluidics in chemical biology. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 10, 584–591 (2006).
- ²² Kockmann, N. Modular Equipment for Chemical Process Development and Small-Scale Production in Multipurpose Plants. *ChemBioEng Rev.* 3, 5–15 (2016).
- ²³ Utikar, R. P. & Ranade, V. V. Intensifying Multiphase Reactions and Reactors: Strategies and Examples. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 5, 3607–3622 (2017).
- ²⁴ Blazek, J. Computational Fluid Dynamics Principles and Applications Computational Principles and Applications. (2007).
- ²⁵ Versteeg, H. K. & Malalasekera, W. Introduction to Computational Fluid Dynamics: the Finite Volume Method. (Pearson Education Limited, 2007).

²⁶ Vásquez-Alvarez, E., Degasperi, F. T., Morita, L. G., Gongora-Rubio, M. R. & Giudici, R. Development of a micro-heat exchanger with stacked plates using LTCC technology. *Brazilian J. Chem. Eng.* 27, (2010).

²⁷ Nguyen, N.-T. & Wu, Z. Micromixers—a review. *J. Micromechanics Microengineering* 15, R1–R16 (2005).

²⁸ Gomez, H. C. et al. 3D focalization microfluidic device built with LTCC technology for nanoparticle generation using nanoprecipitation route. *J. Ceram. Sci. Technol.* 6, 329–338 (2015).

²⁹ Gomez, H. C., Cardoso, R. M., Schianti, J. de N., de Oliveira, A. M. & Gongora-Rubio, M. R. Fab on a package: LTCC microfluidic devices applied to chemical process miniaturization. *Micromachines* 9, (2018).

³⁰ Gongora-Rubio, M. R., Schianti, J. D. N., Gomez, H. C. & Teves, A. D. C. LTCC-3D flow focusing fluidic microreactor for nanoparticle fabrication and production scale-out. in 9th IMAPS/ACerS International Conference and Exhibition on Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies, CICMT 2013 (2013).

³¹ Schianti, J. N., Cerize, N. N. P., Oliveira, A. M. de, Derenzo, S. & Góngora-Rubio, M. R. Scaling up of Rifampicin Nanoprecipitation Process in Microfluidic Devices. *Prog. Nanotechnol. Nanomater.* 2, 101–107 (2013).

³² Hessel, V., Löwe, H., Müller, A. & Kolb, G. Chemical Micro Process Engineering. *Chemical Micro Process Engineering* (2005). doi:10.1002/3527603581

³³ Corning. The future flows through Corning® advanced-FlowTM Reactors. Corning Inc. 3 (2016).

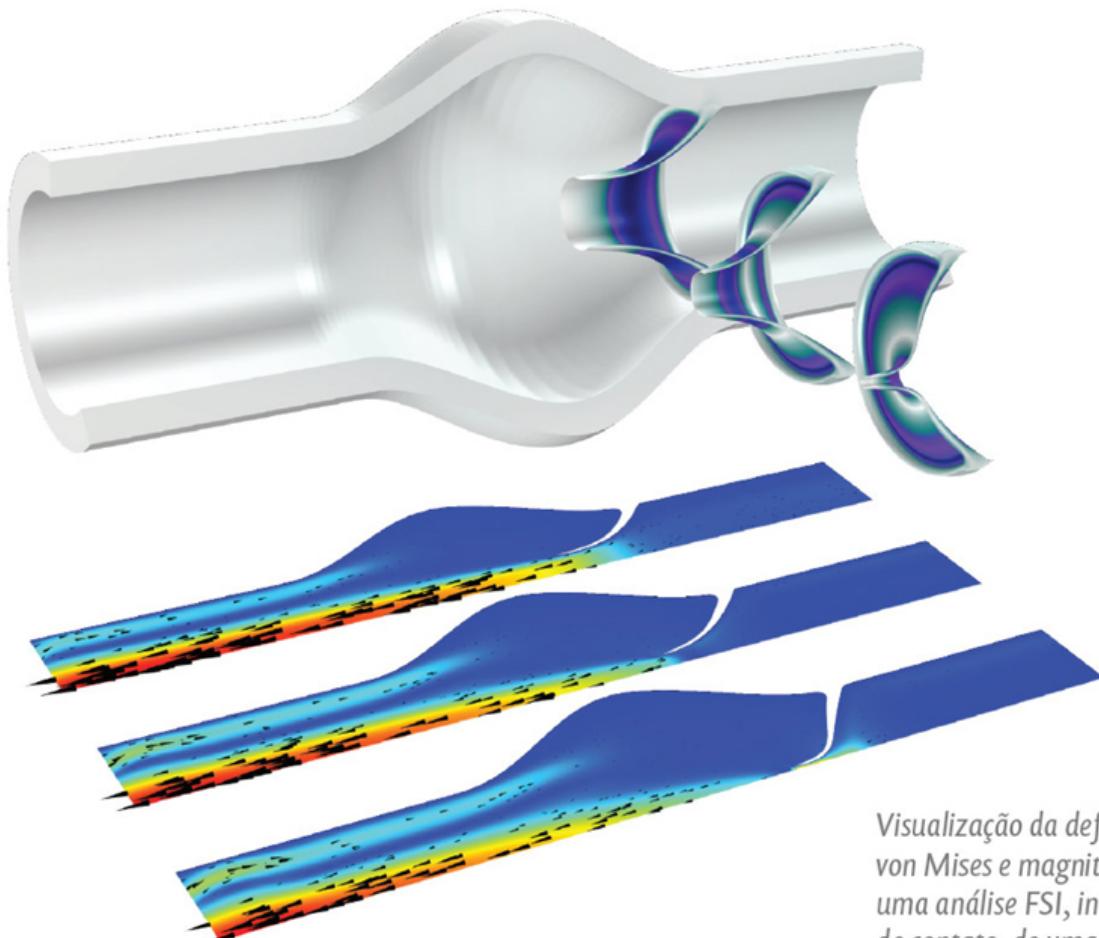
³⁴ Nisisako, T. & Torii, T. Microfluidic large-scale integration on a chip for mass production of monodisperse droplets and particles {, *Lab Chip* 8, 287–293 (2008).

³⁵ Li, W. et al. Simultaneous generation of droplets with different dimensions in parallel integrated microfluidic droplet generators. *Soft Matter* 4, 258 (2008).

³⁶ Emerson, D. R., Cieslicki, K., Gu, X. & Barber, R. W. Biomimetic design of microfluidic manifolds based on a generalised Murray's law. *Lab Chip* 6, 447–454 (2006).



Modele o comportamento de válvula cardíaca com simulação multifísica.



Visualização da deformação, tensão de von Mises e magnitude da velocidade em uma análise FSI, incluindo modelagem de contato, de uma válvula cardíaca.

Abre totalmente e fecha bem. Espera-se que as quatro válvulas do coração humano façam isso a cada batida. Quando as válvulas não funcionam corretamente, surgem problemas de saúde cardíaca. Na busca por tratamentos mais eficazes, pesquisadores médicos estão estudando válvulas cardíacas para compreender e prever seu comportamento. Para visualizar com precisão uma válvula cardíaca, você precisa levar em conta muitos efeitos acoplados. Usar simulação multifísica é o ideal para esta tarefa.

O software COMSOL Multiphysics® é usado para simular projetos, dispositivos e processos em todos os campos da engenharia, manufatura e pesquisa científica. Veja como você pode aplicá-lo à análise FSI.

comsol.blog/heart-valve

 COMSOL



BJChE

BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING

O Brazilian Journal of Chemical Engineering (BJChE) publica artigos sobre pesquisas básicas e aplicadas e inovação na área de Engenharia Química e áreas afins. O BJChE publica artigos originais, comunicações curtas e cartas ao editor. Artigos de revisão relatando discussões relevantes e conclusões de artigos publicados também são considerados para publicação.

São publicados trabalhos sobre pesquisa básica e aplicada, e inovação na área de Engenharia Química e áreas afins. O BJChE é propriedade da **Associação Brasileira de Engenharia Química (ABEQ)** e recebe trabalhos de autores do mundo todo.

Até 2019, o BJChE era publicado pelo Scielo, onde os artigos ainda estão disponíveis (https://www.scielo.br/scielo.php?pid=0104-6632&script=sci_serial). A partir de 2020, passou a ser publicado pela Springer (<https://www.springer.com/journal/43153>).

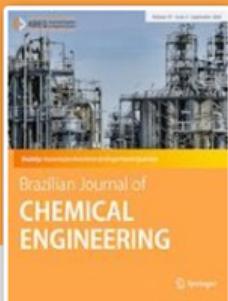
SÃO APRESENTADOS A SEGUIR, TRABALHOS PUBLICADOS AO LONGO DESTE ANO NO BJChE

Rosa, A.P., Lobato, L.C.S. & Chernicharo, C.A.L. Mathematical model to predict the energy potential of UASB-based sewage treatment plants. Braz. J. Chem. Eng. 37, 73–87 (2020). <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00012-2>

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo matemático para predizer o potencial energético do biogás e lodo produzidos em reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica). O modelo foi desenvolvido com base na simulação de Monte Carlo para estimar o potencial energético desses subprodutos em três cenários que correspondem a diferentes características de esgoto e lodo. Além disso, para determinar o potencial energético do lodo, foram considerados os baixos e altos teores de sólidos dos lodos desidratados mecanicamente. Para um cenário típico, a produção de energia dos subprodutos nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) operadas com reatores UASB variou de 1,55 a 3,50 MJ/m³ de esgoto e 1,53 a 3,32 MJ/m³ de esgoto de alto teor de sólidos (HSC) e baixo teor de sólidos (LSC), respectivamente. O potencial do biogás corresponde a pelo menos 91,0% e 96,0% da energia total dos subprodutos para HSC e LSC, respectivamente, sendo o principal subproduto em termos de energia em ETEs baseadas em UASB.

Tanaydin, M.K., Demirkiran, N. Kinetic models for the extraction of copper by Acorga M5640 after leaching of malachite ore in perchloric acid solutions and the stripping of copper from loaded organic phase. Braz. J. Chem. Eng. 37, 399–414 (2020). <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00032-y>

No presente trabalho, a cinética de extração de cobre pela lixiviação de minério de malaquita em soluções de ácido perclórico e a cinética de extração de cobre da fase orgânica carregada foram examinadas. A fase orgânica foi preparada com Acorga M5640 e querosene. No processo de extração, foram investigados os efeitos do pH inicial da solução aquosa, concentração inicial de cobre, concentração do extrator, temperatura



BJCHE

BRAZILIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING

e velocidade de agitação sobre a taxa de extração. No processo de extração, foram examinados os efeitos da concentração de ácido perclórico, temperatura, velocidade de agitação e concentração de extratante na taxa de extração. Determinou-se que a taxa de extração aumentou com o aumento do pH inicial da solução aquosa, velocidade de agitação, concentração do extrator e temperatura e com a diminuição da concentração inicial de íons cobre. No processo de decapagem, observou-se que a taxa de decapagem aumentou com o aumento da concentração de ácido perclórico, da temperatura e da velocidade de agitação e com a diminuição da concentração do extratante. Determinou-se que tanto os processos de extração por solvente quanto de separação poderiam ser descritos pelo modelo de reação pseudo homogêneo de primeira ordem. A energia de ativação para os processos de extração e separação foi calculada em 50,04 kJ / mol e 32,42 kJ / mol, respectivamente.

Carvalho, V.S.B., Martins, F.B., da Silveira, W.W. et al. Variance analysis applied to ground-level ozone concentrations in the state of São Paulo, Brazil. Braz. J. Chem. Eng. 37, 505–513 (2020). <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00045-7>

Este estudo aplicou a técnica de análise de variância (ANOVA) e o teste de Scott-Knott para investigar os padrões associados à variabilidade das concentrações máximas diárias de ozônio registradas entre 1996 e 2013 em 32 locais no Estado de São Paulo, Brasil. O conjunto de dados foi analisado por meio do teste ANOVA de três vias, arranjado em um planejamento fatorial ($4 \times 2 \times 32$), com quatro repetições por tratamento, seguido do teste de Scott-Knott. Na ANOVA e no teste de Scott-Knott, o primeiro fator (a) representou as estações, o segundo fator (b) distinguiu as medidas tomadas em dias de semana e finais de semana, e o terceiro fator (c) distinguiu cada um dos 32 locais. A técnica ANOVA e o teste de Scott-Knott produziram resultados significativos, mostrando uma interação tripla entre os fatores mencionados. Também identificamos que as concentrações máximas de ozônio ocorreram geralmente durante a primavera, seguida pelo verão; além disso, maiores valores de ozônio ao nível do solo foram registrados nos finais de semana na maioria dos locais, especialmente naqueles influenciados principalmente por emissões veiculares. Além disso, os resultados sugerem que as emissões veiculares desempenham um papel importante no desencadeamento do efeito do fim de semana nos níveis de ozônio.





LIDERANÇA EM UM FUTURO DIGITAL

Por Silvia Malaman (Bayer)

Como muitos, estou passando por dilemas profissionais ao falar de digital. Não há como não discutir o tema e, como líderes, como não fazer realidade nas nossas organizações. Tenho estudado, pensado, discutido o tema e tenho analisado o horizonte digital de uma maneira pragmática.

Antes de podermos falar de desenvolver nossas organizações, penso que o desenvolvimento da liderança nas questões digitais é o começo para esta transformação. É a liderança que vai guiar, educar, preparar e desenhar a estratégia de sua organização.

Engenheira química de formação, atuo por 25 anos em indústrias e em funções de manufatura e *supplychain*. Há algum tempo os siste-

mas de controle, instrumentação, computadores e softwares modernos, análise de dados fazem parte da minha rotina. Aprendi ao longo desta jornada que processo decisório, no meu entendimento, é baseado em dados e em experiência, vivências e conhecimentos que se complementam em um cenário de conclusões.

O que gostaria de compartilhar neste texto é o processo pelo qual passei e tenho passado na transformação digital da minha cadeira de engenheira de processos à líder de processos e de pessoas, parte integrante de um time multifuncional e que quer se adaptar continuamente às mudanças organizacionais e tecnológicas.

Durante os últimos dois anos, tenho liderado a transformação digital na

organização a qual pertenço. Meus *stakeholders* neste processo são outros líderes localizados em países diferentes, com perfis profissionais variados em manufatura, aos quais eu tenho que incluir e engajar nesta mudança digital. Pretendo aqui recrutar uma sequência de fatos, situações e falas que fizeram parte desta recém jornada, sequência essa de fundamental importância para eu entender o que fazer, como fazer e, especialmente, por quê.

Vale lembrar que este processo teve como foco o desenvolvimento da liderança. Claramente existe a necessidade de se envolver e engajar a organização com um todo, especialmente a equipe a qual você lidera e que vai, junto com você, implementar essa jornada de transformação.

Inicialmente, foquei em identificar traços culturais através do mapeamento dos meus *stakeholders*, em uma sequência de entrevistas com líderes de operação, líderes de negócio e áreas correlatas, como Qualidade, HSE (saúde, segurança e meio-ambiente), RH e Finanças, e consegui mapear a percepção destes grupos sobre as seguintes questões. A intenção aqui era capturar *insights* básicos de cultura, pensamentos e ideias que representassem o momento de leitura da liderança sobre o tema digital.

- O que é digital para você?
- Quais são as prioridades nas suas organizações
- que ferramentas digitais poderiam ser uma solução?
- O que você, como líder desta organização, tem feito e precisa fazer para mover a organização na direção digital?

Um compilado de respostas trouxe a diversidade de entendimento e perspectiva do que é o mundo digital no pensamento da liderança. Uma das coisas que mais me chamou atenção é o entendimento que digital vai resolver a maioria os problemas, ou seja, se implementarmos ferramentas digitais, os indicadores melhorarão e tudo se resolve pois seremos mais “modernos” e ágeis. Leda enganação. Enquanto pensarmos que ferramentas digitais são a solução, continuaremos tendo o problema.

Aqui vai então minha primeira conclusão: defina seu planejamento estratégico prioritariamente. Saber quais as prioridades da organização, onde a organização quer chegar, ter visão definida e detalhada no plano estratégico é o guia para que tudo se direcione para os resultados que a organização quer atingir, tanto em processos, produtos e pessoas. Saber onde quer ir é tão importante quanto saber como chegar lá. E desta forma as ferramentas digitais serão o meio para se atingir essa visão estratégica, o como.

Entendo que exista uma certa pressão corporativa e mercadológica para que as organizações sejam digitais, como indústria 4.0, nuvem, realidade alimentada, inteligência artificial, IoT e tantas outras palavras novas e até mesmo o próprio time cheio de talentos que já vivem essa nova realidade. Os líderes acabam invertendo a ordem dos processos colocando digital a priori do desenho estratégico da organização, desconectando o “porquê” do “como”. Este ponto, para mim, é o mais importante e crucial para

que a implementação de metodologia e processos digitais seja assertiva e eficiente.

Tenho exemplo de pessoas que entendem que ser digital é não mais manipular papel. Simples assim. E até entendo que seja um fator importante. Porém, sem conectar esse meio digital a um indicador estratégico ou processo de decisão, não tem sentido digitalizar papeis. Pelo contrário, será um esforço extra sem resultado. Da mesma forma que tenho exemplo de ter a intenção de usar métodos digitais para unificar processos e simplificar soluções, diminuindo, por exemplo, tempo de resposta de uma solicitação de cliente. Ou seja, o objetivo é melhorar a resposta para cliente através da simplificação de processos. O objetivo foi desenhado antes da definição da ferramenta digital.

No meio deste processo, cheguei a minha segunda conclusão: existe um nível de entendimento diverso dentro da organização sobre ferramentas e cultura digitais. Alguns fatores podem influenciar o nível de conhecimento e compreensão do que se espera numa jornada digital: desde educação formal até habilidades com *softwares* e *hardwares*, por exemplo. Neste ponto, posso cogitar que as pessoas formadas em engenharia e que puderam vivenciar as disciplinas da engenharia em suas experiências profissionais podem ter tido acesso à conhecimento e vivências mais voltadas às ferramentas e cultura digital, simplesmente pelo fato de haver uma conexão acadêmica e prática como tema. Pela minha própria experiência, tive matérias como “Controles Digitais” e “Reatores”, em que fazíamos ensaios e simulações de algumas operações unitárias, cálculos e dimensionamento de equipamentos nas aulas práticas, usando as ferramentas disponíveis naquela ocasião, como instrumentação piloto, softwares e simuladores. Com sorte, tive a oportunidade de vivenciar essas e outras matérias na minha experiência profissional como engenheira de processo. Com esta análise, não podemos usar a mesma pílula para todos, devemos respeitar as diferenças e prover um ambiente inclusivo e educacional para todos. Entender necessidades individuais em um processo de aculturamento digital é fundamental para nivelar conhecimentos e, principalmente, expectativas.

Como terceira a última colocação, quero compartilhar minhas conclusões sobre o mapeamento mais substancial das atividades e processos e que a organização deve focar para se preparar para o mundo digital. Entendo que é uma complementação do diagnóstico cultural e uma maneira de envolver diversas disciplinas dentro da organização de forma estruturada e garantindo engajamento de áreas que não são exclusivamente ligadas às ferramentas digitais, como recursos humanos, finanças e gestão de conhecimento.

cimento, por exemplo. Também, é um mapeamento estratégico de uma transformação brangente da organização como um todo. Como engenheiros, acabamos tendendo a pensar que digital é uma matéria técnica, lá das matérias de controle, modelamento ou instrumentação. Existe a real necessidade de se expandir a análise para englobar técnica e cultura, métodos e pessoas, equipamentos e capacidades.

Abaixo compilei as informações e percepções coletadas neste processo, divididas em cinco categorias:

1 **Projetos:** neste pilar, conceitos de gestão de projetos, estruturação de governança, captura e gestão de ideias e investimento.

2 **Cultura organizacional:** a organização deve definir o que deseja em termos estratégicos e culturais, e definir o modo de pensamento, sua marca. Um exemplo bem simples é pensar na empresa Tesla, nos Estados Unidos. O nome da empresa está associado à uma organização futurista e que desafia a realidade. Isso é definir o que a organização representa, muito mais do que os produtos e serviços que ela provê.

3 **Captura de valor:** toda organização existe para gerar lucros e valorizar seus investidores.

Definir como capturar valor e recompensas financeiras desta jornada digital é importante para retroalimentar investimentos e valorizar a organização no mercado.

4 **Conectividade:** estar presente em comunidades internas e externas, ser visível e contribuir para estas comunidades.

5 **Pessoas:** capacidades e *mindset*. São duas palavras simples e cheias de complexidade. Mais ainda, ambas relacionadas a uma jornada, a uma construção.

Combinar o indivíduo, a organização e o mercado em conjunto trazem a visão holística completa de como poder mapear, definir e implementar uma jornada de mudança digital, respeitando as particularidades e associando as diferenças. A liderança tem papel fundamental nesta jornada e precisa aprender e renovar conhecimentos desta matéria mais recente e complementar às matérias técnicas que aprendemos nos cursos de engenharia. Dali sairá a base cognitiva fundamental que, associada à cultura organizacional e desenvolvimento de capacidades individuais e corporativas, levarão as organizações a um futuro que já se instaurou no nosso presente.

