



**ABEQ** Associação Brasileira  
de Engenharia Química

**Revista Brasileira de  
Engenharia Química**

Vol. 31 - nº 3 / 2016 / ISSN 0102-9843

***Tecnologia em equipamentos  
favorecendo a sustentabilidade  
e a confiabilidade.***

**ARTIGOS**

- *Destilação em torres de parede dividida*

**ARTIGOS**

- *Eficiência energética de evaporação*
- *Patentes*

**EQ NA PALMA DA MÃO**

- *Simulação de um processo passo a passo*

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:** COBEQ - Congresso Brasileiro de Engenharia Química.

ENBEQ - Encontro Brasileiro sobre o Ensino de Engenharia Química.

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

SINAFERM - SHEB - Simpósio Nacional de Bioprocessos e Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassa.

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

## Publicações

**BJchE**



**Brazilian Journal of Chemical Engineering:** periódico trimestral que publica artigos científicos em inglês.

**BIM**



**Boletim Informativo:** é uma edição mensal, buscando transmitir notícias relevantes sobre Engenharia Química no Brasil e Exterior.

**REBEQ**



**Revista Brasileira de Engenharia Química:** a publicação quadrimestral promove o debate sobre questões relacionadas à engenharia química e suas relações com a sociedade.

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

**REGIONAL BAHIA**  
regionalba@abeq.org.br

**REGIONAL PARÁ**  
regionalpa@abeq.org.br

**REGIONAL PERNAMBUCO**  
regionalpe@abeq.org.br

**REGIONAL RIO DE JANEIRO**  
regionalrj@abeq.org.br

**REGIONAL RIO GRANDE DO NORTE**  
regionalrn@abeq.org.br

**REGIONAL RIO GRANDE DO SUL**  
regionalrs@abeq.org.br

**REGIONAL SÃO PAULO**  
regionalsp@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 Livrarias, Escolas de Idiomas, entre outros descontos que chegam até 20% na apresentação da carteirinha.

### SÓCIOS COOPERADORES



### SÓCIOS COLETIVOS



## MENSAGEM DA PRESIDENTE

Prezados,



Maria Cristina Silveira Nascimento  
Presidente da ABEQ

Seguindo a tendência global, estamos inaugurando através deste volume a edição em mídia digital da REBEQ – Revista Brasileira de Engenharia Química. Esta edição foi construída acerca de um importante seguimento da indústria brasileira: a indústria de equipamentos.

O setor de equipamentos está intimamente relacionado a outros setores da indústria. Portanto, é um setor fortemente impactado pelo desempenho de seus clientes. Por outro lado, também sua capacidade de desenvolvimento de soluções e tecnologias pressupõem impacto na viabilidade de projetos da indústria e até reduções de custos advindas de confiabilidade ou aumento de eficiência operacional ou produtividade.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, em janeiro de 2016 o

setor registrou queda de 24,2% na receita em relação ao mês anterior e de 35,0% em relação ao mesmo período em 2015. A combinação do cenário político conturbado com a economia em recessão tem afugentado os investimentos no país.

O foco central desta edição versa sobre os avanços na área de equipamentos para a indústria química, principalmente no que tange a confiabilidade e sustentabilidade. Encontre ainda nessa edição nossa homenagem aos inesquecíveis Marcos Giulietti e Odete Vieira Gonçalves de Souza. Mais que colegas de profissão, foram profissionais de relevante e inestimável papel para o desenvolvimento e engrandecimento da Engenharia Química no Brasil.

Desejamos que tenham uma boa leitura e que curtam este novo formato da REBEQ ●

## SOBRE A ABEQ

### Publique na REBEQ

A ABEQ o convida para participar da Revista Brasileira de Engenharia Química, com artigos técnicos de divulgação que sejam de interesse de amplos segmentos da comunidade de engenharia química. Consulte os editores da revista sobre sua idéia.

### 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 com a gente!

Contribua com opiniões, ideias, depoimentos e dúvidas.

Tel. 11 3107-8747

Fax 11 3104-4649

2ª a 6ª feira das 9 às 17 horas

E-mail: [abeq@abeq.org.br](mailto:abeq@abeq.org.br) ou [secretaria@abeq.org.br](mailto:secretaria@abeq.org.br)



Informações e Novidades sobre a ABEQ em:  
[www.abeq.org.br](http://www.abeq.org.br)

Editor  
Galo Carrillo Le Roux

Secretaria Executiva  
Bernadete Aguilar Perez

Produção Editorial  
Always Propaganda  
(19) 3583-7921 - www.always.com.br

Redação, Correspondência  
e Publicidade  
Rua Líbero Badaró, 152 - 11º andar  
01008-903 - São Paulo - SP  
Tel.: (11) 3107-8747 - fax: (11) 3104-4649  
www.abeq.org.br - e-mail: abeq@abeq.org.br

**ABEQ – GESTÃO 2014 - 2016**

**CONSELHO SUPERIOR**

Argimiro Resende Secchi, Edson Bouer, Fernando Baratelli Júnior,  
Flávio Faria de Moraes, Gorete Ribeiro de Macedo, Hely de Andrade  
Júnior, Marcelo Martins Seckler, Pedro Wongtschowski, Raquel de  
Lima Camargo Giordano, Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de  
Souza, Suzana Borschiver

**DIRETORIA**

Maria Cristina Silveira Nascimento - Diretora Presidente  
Galo Antonio Carrillo Le Roux - Diretor Vice-Presidente  
Luiz Carlos Surnin Vieira - Diretor Vice-Presidente  
Ricardo da Silva Seabra - Diretor Vice-Presidente  
Moisés Teles dos Santos - Diretor Secretário  
Paulo Takakura - Diretor Tesoureiro

**REGIONAIS**

**Bahia**

Luciano Sergio Hocevar - Diretor Presidente  
Elaine Christine de Magalhães Cabral Albuquerque - Diretora Vice-  
Presidente

**Pará**

Pedro Ubiratan Oliveira Sabaa Srur - Diretor Presidente  
Fernando Alberto Sousa Jatene - Diretor Vice-Presidente

**Pernambuco**

Laise Carvalho de Albuquerque Maranhão - Diretora Presidente  
Maurício Alves Motta Sobrinho - Diretor Vice-Presidente

**Rio de Janeiro**

Ricardo de Andrade Medronho - Diretor Presidente  
Maria Alice Zarur Coelho - Diretora Vice-Presidente

**Rio Grande do Norte**

Ana Lúcia de Medeiros Lula da Mata - Diretora Presidente  
Everaldo Silvino dos Santos - Diretor Vice-Presidente

**Rio Grande do Sul**

Heitor Luiz Rossetti - Diretor Presidente  
Jorge Otávio Trierweiler - Diretor Vice-Presidente

**São Paulo**

Denise Mazzaro Naranjo - Diretora Presidente  
Mariana Rubim Accioli Dori - Diretora Vice-Presidente

**DIRETORIA CONVIDADA**

Henrique José Brum da Costa - Mario José Montini - Mayra Costa  
Matsumoto - Reinaldo Giudici - Danniell Luiz Panza - Maria Elizabeth  
Brotto - Carlos Calvo Sanz

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.

## ÍNDICE

### Matéria de Capa

Tecnologia em equipamentos  
favorecendo confiabilidade e sustentabilidade..... 6

### Artigos

Processos de destilação..... 10

Propriedade Industrial – A proteção por  
Patentes..... 15

Aplicação de Metodologia de Engenharia de Processos na  
Melhoria da Eficiência Energética em Unidade  
Industrial de Evaporação ..... 19

### Agenda

Grade de Cursos ABEQ para 2016..... 28

### In Memoriam

Especial Marco Giulietti ..... 29

Professora Odette Vieira Gonçalves de Souza ..... 33

### EQ na palma da mão

Simulação de um processo passo a passo ..... 38

www.oxiteno.com



greenformance™  
beyond green



## INVESTIR EM INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. ESSA É A FÓRMULA DA EVOLUÇÃO.

A Oxiteno oferece soluções que contribuem para a qualidade de vida e para a evolução sustentável das pessoas e do planeta, desenvolvendo tensoativos e especialidades químicas para os mercados de Agroquímicos, Cuidados Pessoais, Limpeza Doméstica e Institucional, Petróleo e Gás, Produtos de Performance e Tintas e Revestimentos.



Informações e Novidades sobre a ABEQ em:

[www.abeq.org.br](http://www.abeq.org.br)

# Tecnologia em equipamentos favorecendo a sustentabilidade e a confiabilidade.



O processo de constante evolução dos equipamentos para a indústria química e petroquímica vem se intensificando cada vez mais à medida em que a tecnologia em diversas áreas se aprimora e contribui para a melhora na performance, confiabilidade de equipamentos, e por consequência na sustentabilidade da indústria como um todo.

Se partimos para uma análise dos equipamentos estáticos, percebemos a evolução das ligas metálicas, onde ao longo de décadas de pesquisas resultaram ganhos significativos na resistência mecânica e na resistência a corrosão nos materiais, permitindo a construção de equipamentos cada vez mais adaptados para aplicações específicas, com redução expressiva de espessura, e em consequência, redução da matéria-prima necessária.

A pesquisa e o desenvolvimento de polímeros e elastômeros permitiram à indústria de equipamentos e acessórios a utilização de matérias que tornam seus produtos mais resistentes no aspecto químico. Se no passado havia limitações para a fabricação e aplicação, hoje, encontramos no mercado uma grande variedade de itens cujos materiais e processos de fabricação até bem pouco tempo não eram sequer considerados.

O sucesso na aplicação é alcançado pelo adequado desenvolvimento do projeto técnico (escolha e desenvolvimento de materiais) e a garantia da execução industrial (processos de fabricação). A seleção de materiais deve levar em consideração as propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais. O material escolhido deve adequar-se perfeitamente ao conjunto de atributos esperados pelo equipa-

mento. Neste sentido os centros de pesquisa e desenvolvimento dos fabricantes de equipamentos e fornecedores de materiais especiais abrem o caminho para novos produtos e métodos. O que é quase impossível para a fabricação de hoje pode estar pronto para a produção em massa amanhã.

## Sustentabilidade

Uma parte da definição de sustentabilidade na indústria passa pelo bom funcionamento de equipamentos e na capacidade produtiva: equipamentos resistentes favorecem a disponibilidade e sustentabilidade da operação. Em outras palavras, o equipamento deve estar sempre pronto para produzir a quantidade com a qualidade proposta de determinado produto.

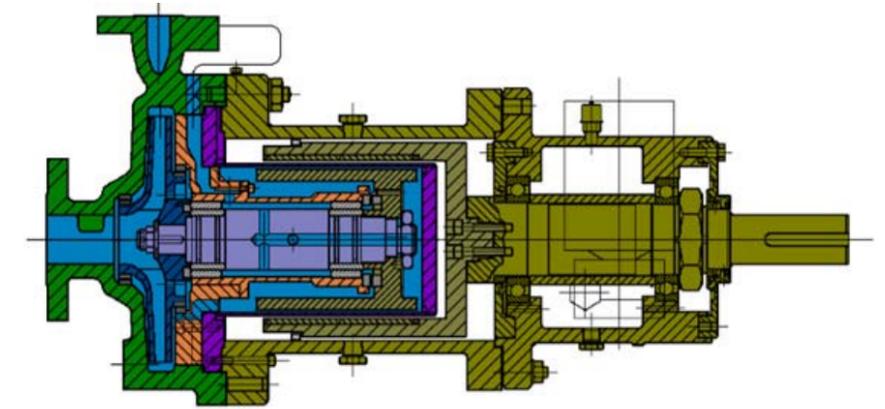
Indo além, é comum no meio

de engenharia de manutenção a correlação do termo sustentabilidade com a produção enxuta, na qual se pensa no sistema produtivo como suporte à preservação dos materiais naturais. Por meio da redução do uso da matéria prima ou do menor gasto energético, aliado ao menor desgaste dos ativos, é possível preservar o ambiente.

Um exemplo da inovação de materiais a serviço direto da sustentabilidade, no seu sentido mais amplo, é o desenvolvimento de tubo de caldeira austenítico para caldeiras à base de carvão. Porque ele permite o aumento da temperatura e pressão em caldeiras e melhora a eficiência de conversão do carvão. Isso não só economiza dinheiro ao longo do ciclo de vida da caldeira, mas também reduz significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> devido ao menor consumo de carvão.



Quando avaliamos as melhorias que tivemos em equipamentos rotativos do início da indústria química até os dias de hoje vemos que os ganhos foram ainda maiores. Melhorias nos sistemas de fabricação, permitindo maiores precisões de usinagem, ganhos na qualidade dos materiais reduzindo falhas por fadiga ou por deficiên-



cia do material, tudo isso gerou um ganho de confiabilidade dos equipamentos reduzindo o número de paradas e intervenções para manutenção, preditiva ou corretiva e consequentemente ganho para a indústria pelo aumento da disponibilidade do equipamento.

Toda vez que se fala em aumento de confiabilidade de equipamentos, há uma série de benefícios que vem atrelados: o ambiente de trabalho se torna mais seguro, há uma melhoria da qualidade nos processos e produtos pela diminuição do tempo de parada de equipamentos e diminuição de custos. Consequentemente a capacidade produtiva aumenta possibilitando maior lucratividade dos ativos.

Adicionalmente, a confiabilidade de equipamentos está diretamente relacionada aos aspectos ambientais, como redução de desperdícios de recursos produtivos, redução de emissões fugitivas, aumento da vida útil de equipamentos - evitando, desta forma, descartes antecipados.

Os sistemas de selagem em bombas também tiveram enorme evolução ao longo dos anos. A busca pela redução da perda de produto durante o bombeamento, fator de grande impacto econômico e também ambiental,

possibilitaram o desenvolvimento vertiginoso dos sistemas de selagem, desde o desenvolvimento e melhorias dos materiais empregados nas gaxetas, passando pelo desenvolvimento tecnológico, e consequente redução nos custos de fabricação, que tem tornado o emprego de selos mecânicos cada vez mais comum, até o avanço na utilização de bombas sem sistema de selagem, como é o caso das bombas de acoplamento magnéticas que através de melhoramentos tecnológicos estão ganhando maior confiabilidade, reduzindo as perdas devido ao acoplamento magnético e consequentemente ganhando maior emprego na indústria.

Novamente verificamos o impacto da tecnologia e desenvolvimento na confiabilidade dos equipamentos e na sustentabilidade. O projeto do equipamento pode minimizar a possibilidade do tempo de inatividade inesperado, aliado obviamente a um plano de manutenção estratégica. A evolução nos sistemas de selagem de rotativos tem minimizado custos operacionais e minimizado a geração de resíduos, aumentando a qualidade produtiva da na indústria.

O que se tem visto como

tendência recente na indústria é a integração cada vez maior entre plataformas tecnológicas, buscando cada vez mais a obtenção de informações on-line sobre a operação de um equipamento.

Equipamentos de medição on-line com transmissão wireless e imediata das leituras até para tablets e celulares permitem hoje o acompanhamento contínuo do funcionamento do equipamento. Desta forma é possível eleger o melhor momento para manutenções preventivas obtendo-se ganhos enormes em confiabilidade e disponibilização dos equipamentos.

Em algumas bombas, por exemplo, é possível monitorar vibração, temperatura e tempo de

operação com a tecnologia wireless e sincronizar estes dados de forma a ter acesso por celular ou tablete. Os aplicativos alertam quando há parâmetros operando fora do normal e fazem diagnósticos de falhas.

Toda esta tecnologia trabalha a favor da confiabilidade e sustentabilidade dos sistemas.

É difícil falar de avanços de equipamentos sem citar a importância da manutenção na garantia ou efetividade dos benefícios que vem sendo desenvolvidos. A verdade é que as áreas de manutenção são ao mesmo tempo beneficiárias dos ganhos de confiabilidade e responsáveis pela garantia na sustentabilidade. E neste contexto estratégias e ferramentas



de gestão da manutenção tem papel fundamental. A TPM (Total Productive Maintenance) tem se tornado cada vez mais uma ferramenta de grande importância

para as empresas no direcionamento das áreas de manutenção. Quando bem aplicada gera resultados significativos de melhoria, reduzindo os desperdícios, diminuindo os custos e aumentando a qualidade dos produtos e serviços oferecidos pelas empresas, tornando-se um diferencial das mesmas para sobreviver no mercado.

O Sr Lincoln Neves, Business Manager da GEA Equipamentos e Soluções S/A, falou com a REBEQ sobre as revoluções que vive o setor de equipamentos.

Lincoln Neves ressaltou o exemplo das centrífugas, equipamentos que industrialmente são usadas há mais de cem anos, tendo sua origem no setor de laticínios. Evidentemente o avanço obtido de lá para cá foi enorme, mas nos últimos 10 anos, e mais especificamente nos últimos 5 anos, a evolução foi realmente incrível. Hoje a tecnologia alcança pelo menos 2.500 diferentes aplicações consolidadas em quase todos os tipos de segmentos industriais. Desde simples separações óleo/água, passando por todo o espectro da biotecnologia GMP, fermentação branca, indústria química e mineração, etc.

Alguns destaques que permitiram esse desenvolvimento foram a evolução de novos materiais construtivos (por exemplo da base forjada do tambor que possui o maior estresse mecânico do equipamento) de alta resistência, aprimoramento dos sistemas de descarga de sólidos tanto nas máquinas verticais quanto nas horizontais e também a nova evolução da transmissão sendo hoje possível a integração direta entre o tambor e o motor reduzindo muito o número de peças

e aumentando muito a eficiência energética do equipamento, para patamares nunca antes observados. No aspecto da eletrônica vale destacar a integração total das operações unitárias e também a evolução dos inversores de frequência.

Os programas de simulação e modelagem de fluidos tem se tornado fundamentais para o desenvolvimento das máquinas deste tipo e posterior utilização destes dados no desenvolvimento de equipamentos físicos de alto desempenho.

Com relação ao desempenho mecânico, Lincoln Neves ainda afirma que como as centrífugas são equipamentos rotativos, há desgastes inerentes e a relação com a inteligência de manutenção preventiva é importante. Os equipamentos contam com um sistema de manutenção por etapas envolvendo simples trocas de vedações em um primeiro estágio até uma sinterização de metal duro em uma parte do sistema rotativo por exemplo. O controle é feito por medições de parâmetros como temperaturas, vibração, ruído ou mesmo por câmeras em vários graus de automação. Existe ainda a possibilidade do próprio painel da centrífuga encaminhar uma mensagem de celular para um responsável avisando que uma intervenção deve ser feita.

Lincoln Neves ainda nos conta que a GEA inaugurou faz pouco tempo uma nova fábrica dedicada à construção de centrífugas em que o nível de automação e robotização é altíssimo, sendo que grande parte do processo de usinagem é feito de forma contínua. Centrífugas podem possuir peças com mais de uma

tonelada girando em rotações muitas vezes superiores a 5000 rpm. Alguns gramas ou milímetros fora de especificação são suficientes para causar desbalanceamento, sendo assim os processos de produção (e testes de qualificação posteriores) são absolutamente bem controlados e precisos.

A evolução das ferramentas de projeto está permitindo desenvolver e testar produtos em modelos virtuais reduzindo tempos, erros e desperdícios de materiais. Isso permite desenvolver projetos de maneira mais eficiente, obtendo equipamentos mais evoluídos. A evolução das máquinas operatrizes possibilita a fabricação dos produtos com maior qualidade e precisão, e produtividade pré-estabelecida em vários lugares ao mesmo tempo. Essa interação permite desenvolver projetos em um país e executá-los em outros, permitindo fabricar componentes em países com melhores preços e qualidade. O resultado é que uma fatia maior do mercado pode ter acesso a essas mercadorias.

"A impressão 3D também poderá tornar a fabricação ainda mais simples, em um primeiro momento, para alguns componentes descartáveis, que tenham que ser utilizados em uma campanha em algum local remoto, como por exemplo para a produção de vacinas", comenta Lincoln Neves.

Existem condições técnicas para a produção de excelentes equipamentos no Brasil, mas precisamos de melhorias no cenário econômico no curto/médio prazo para que este tipo de investimento seja favorecido. ●

## Globaltek® AUTOMAÇÃO ANALÍTICA

O analisador SOLA II utiliza detector de Fluorescência UV Pulsante (PUVF) com sistema de pirólise para medir Enxofre Total (TS) em gasolina, diesel, querosene e combustível de aviação



ESPECTRÔMETRO DE MASSAS PRIMA PRO

Aplicável quando a inserção do sensor diretamente na tubovia não é viável e a alimentação não se faz por loop, o XDT da COSA-Xentaur vem com unidade de leitura de visor digital para o dew point (°C) e de concentração em ppm de H<sub>2</sub>O, ajustada para a pressão da amostra. Além do XDT, existem outros modelos como o LPTD (compacto) e o XPDM (portátil), que também são eficazes em suas medições.



FOTOMETRO CLEAR VIEW



ENXOFRE EM COMBUSTÍVEIS SOLA II

O fotômetro ClearView db (dual bean) da Guided Wave é o primeiro fotômetro de filtro com duplo feixe disponível no mercado



DEW POINT SÉRIE XDT

O Espectrômetro de Massas Prima Pro da Thermo Scientific utiliza filtro de massas por setor magnético de varredura. Executa análises rápidas, em menos de 1 segundo por componente de misturas gasosas complexas. O setor magnético de varredura, o seletor para múltiplas correntes RMS e o software GasWorks, tornam o Prima Pro rápido, preciso e robusto.



RUA ILHÉUS, Nº268 - RIO VERMELHO - SALVADOR - BA | tel/fax (71) 3334.5556 / (71) 3334.6494  
globaltek@globaltek.com.br - [www.globaltek.com.br](http://www.globaltek.com.br)

# Processos de destilação

## TORRES DE PAREDE DIVIDIDA: UMA ALTERNATIVA PARA PROCESSOS DE DESTILAÇÃO COM REDUÇÃO NO CUSTO DE INSTALAÇÃO E NO CONSUMO ENERGÉTICO.

Vera Lúcia de Araújo Barreto Kneip Pereira (1)  
Silas Derenzo (1)  
(1) IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

**D**estilação é a operação unitária mais consolidada entre os processos de separação de misturas líquidas na indústria química. Abrange aplicações nas mais diversas áreas, como separação de petróleo, destilação de produtos da fermentação ou na produção de bebidas destiladas com alto teor alcoólico (Forbes apud Kiss, 2013). O intenso gasto energético é intrínseco ao processo. Como alternativa, o desenvolvimento de projetos com foco em redução do consumo energético é um dos principais escopos abordados pela engenharia de processos. Nesse aspecto, a Coluna de Parede Dividida (Divided Wall Column - DWC), oferece vantagens na otimização de processos em diversos aspectos, como custo de projeto, área de instalação, redução do custo de operação em função de um menor consumo energético, além de alcançar alta pureza dos componentes, prover menor degradação térmica de produtos termosensíveis, a redução nos controles e manutenção de equipamentos, e sustentabilidade do ponto de vista de meio ambiente.

### Histórico

A DWC tem sua origem em 1949 (Wright apud Kiss, 2013).

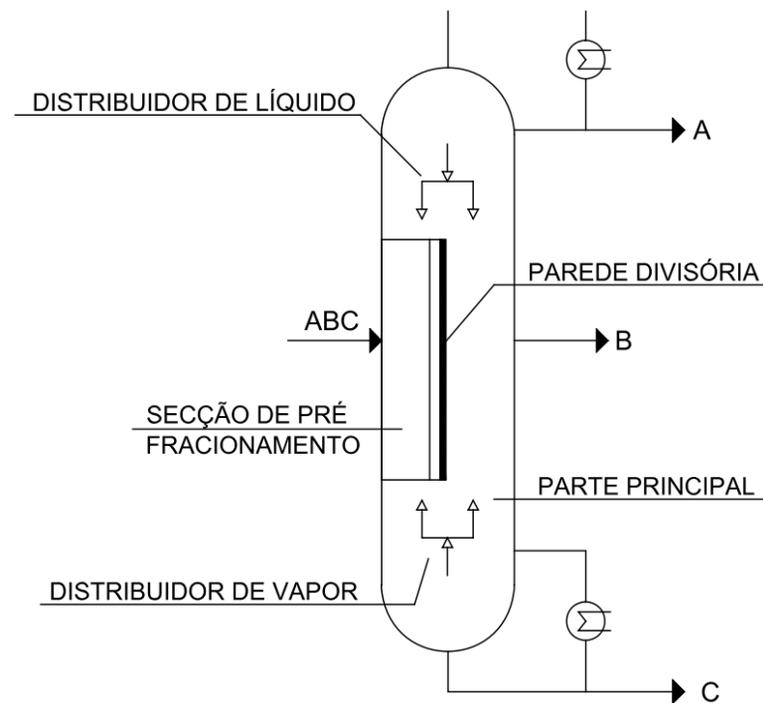


Figura 1: Coluna de parede dividida (DWC). Baseado em: Kiss, 2013

Ao longo dos anos, houve o desenvolvimento tecnológico para comprovar a redução de energia (Petlyuk apud Staak et al, 2013), até que houvesse sua primeira implantação na indústria: em 1985, na planta da BASF em Ludwigshafen, na Alemanha (Dejanovic et al, 2010). Desde então, mais de 100 colunas operam no mundo todo. (Yildirim et al, 2011). A BASF é a empresa que mais investiu nesta tecnologia, com mais de 70 DWCs em seus diversos sites. Outros usuários incluem companhias como Sasol, Saudi Chevron Petrochemical, Exxon-Mobil (Yildirim et al, 2011). No

total, são mais de 116 aplicações industriais para separação de sistemas de misturas ternárias, 2 sistemas de mistura com mais de 3 componentes (pela BASF, para recuperação de químicos finos intermediários, e construído pela UOP, para processo de hidrocrackeamento), 1 sistema de mistura azeotrópica (sem detalhes do processo), 2 sistemas extrativos (processo Morphylane® para recuperação de tolueno e não aromáticos, na Arsol Aromatics GmbH; processo de produção de butadieno na BASF) e 4 modificações em instalações existentes (Revamps em diversas refinarias

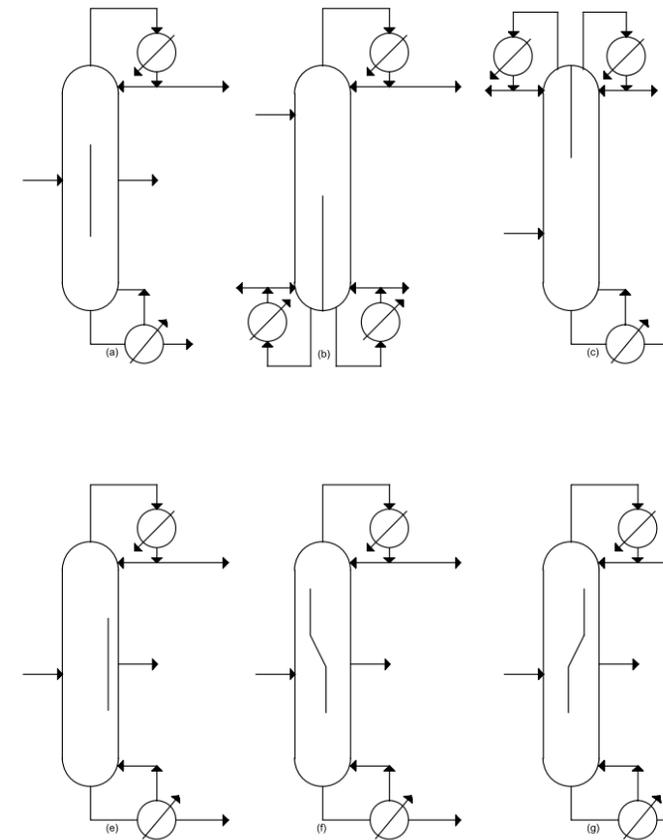


Figura 2: Diferentes configurações da DWC. Baseado em: Kiss, 2013.

com redução de custos operacionais de 40% (Exxon Mobil na França) e 53% (Exxon Mobil da Inglaterra), com aplicações diversas em hidrocarbonetos aromáticos (como sistemas de fracionamento de benzeno, tolueno e xileno), álcoois (como separação de hexanol, octanol e decanol), aldeídos, cetonas, acetals, aminas etc. (Parkinson, Niggemann et al, Dejanovic et al, Long & Lee, Yildirim et al apud Kiss, 2013). Outras aplicações emergentes são em destilação reativa com a DWC para hidrólise de acetato de metila, produção de biodiesel usando 15% de excesso de metanol para converter completamente ácidos graxos (Yildirim et al, 2011; Kaibel et al, Sun et al; Kiss et al apud Kiss, 2013).

### Conceito

A DWC é uma coluna de destilação com uma parede divisória (Kiss, 2013; Staak et al, 2014), conforme apresenta a Figura 1. O conceito inicial previa a localização dessa parede na parte central da coluna em relação ao diâmetro e à altura, dividindo a coluna em parte principal e pré-fracionador (ou pós fracionador, ou retificador ou esgotador - Luyben, 2013). O pré fracionador pode ter um refervedor ou condensador separado, ou pode apenas separar as correntes de líquido e/ou vapor entre as duas colunas utilizando um único refervedor e um condensador. Essa é a configuração de Petlyuk (Figura 2), sendo que a DWC, ao invés de usar 2 colunas,

usa apenas uma coluna com a parede divisória, separando a alimentação de um lado e a corrente de saída lateral do outro lado do vaso (Luyben, 2013).

### Características

A parede divisória tem a função de evitar a mistura das correntes de líquido e vapor. São formadas por laminas verticais de material metálico, que no passado eram soldadas à estrutura da coluna (Kiss, 2013) e que atualmente são instaladas sem solda. Esta tecnologia foi desenvolvida pelo fabricante Montz em meados da década de 90, tornando o ajuste mais preciso e flexível, permitindo alterações na configuração do equipamento e a adaptação de colunas convencionais para DWC (revamps). A BASF foi a primeira a instalar a DWC com parede não soldada, e desde então, o número de colunas instaladas cresceu significativamente (Kiss, 2013).

A posição da parede geralmente é centralizada, mas o arranjo também pode ser descentralizado, ou ainda, a coluna pode contar com mais de uma parede para separação de mais de 3 produtos, apresentado na Figura 3. A localização da parede em relação aos estágios de equilíbrio pode ser central, na parte superior, na parte inferior, ou em níveis diferentes, conforme apresenta a Figura 2 (Asprion & Kaibel, 2010; Kaibel et al apud Kiss, 2013).

A escolha dos internos é similar ao critério utilizado para uma coluna convencional (Kiss, 2013). Pode-se utilizar tanto pratos quanto recheios, embora

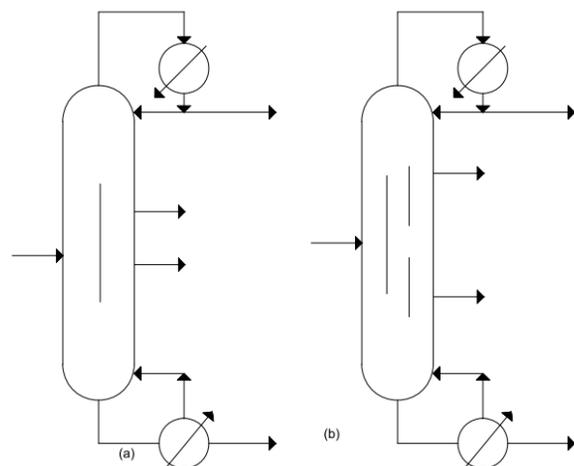


Figura 3: Configurações da DWC para separação de 4 componentes. Baseado em: Kiss, 2013

tradicionalmente sejam recheios (Pilling & Summers, 2012; Kiss, 2013). A BASF utiliza apenas DWCs com recheios, enquanto outras companhias (como a Kock-Glitsch e Refinaria CEPISA) têm utilizado também pratos (Jobson apud Kiss, 2013).

Um distribuidor de líquido que vem do refluxo faz a separação entre as vazões internas para ambos os lados da parede. Da mesma forma, na parte inferior, ocorre com as vazões de vapor, cuja ascensão do fluxo requer uma perda de carga equivalente

em ambos os lados da parede. O ajuste preciso dessas vazões é essencial no desempenho do processo (Kiss, 2013).

### Aplicação

Nas separações de 3 produtos, para se obter especificação de alta pureza dos componentes, em um processo convencional, são necessárias ao

menos 2 colunas de destilação, na qual o produto A (componente mais leve) é obtido na primeira coluna (no topo), e os produtos B (componente intermediário) e C (componente mais pesado) seguem para a segunda coluna. O produto B é obtido no topo da 2ª coluna e o produto C, na base, conforme ilustra a figura 4a. Em uma sequência indireta, o produto C é obtido na base da 1ª coluna, o produto A no topo da 2ª coluna e o produto B na base (Yildirim et al, 2011). A DWC é uma alterna-

tiva para a separação desses 3 produtos, conforme ilustra a Figura 4c, obtendo-se todos os produtos com especificação de alta pureza, reduzindo o consumo de energia e os custos de instalação em cerca de 30% (Yildirim et al, 2011; Kaibel et al apud Staak et al, 2014). Outros estudos indicam uma redução do consumo de energia entre 20 e 45%, e redução no investimento em torno de 30% (Parkinson, 2005), o que está diretamente relacionada à redução na instalação do refeedor, condensador e da 2ª coluna. Estudos recentes indicam a aplicação da DWC para até 4 produtos com alta pureza na BASF, para produtos com pontos de ebulição próximos de forma a obter temperaturas próximas no condensador e refeedor (Parkinson, 2005). Conforme Asprion & Kaibel (2010), as aplicações industriais da DWC vão de pressões de 2 mbar a 10 bar, para produtos com alto grau de impureza em termos de ppb. Os diâmetros variam de 0,6 m a 4 m para as colunas instaladas na BASF a 4,5 m de diâme-

tro em uma coluna instalada pela Linde na Sasol (Becker et al apud Asprion & Kaibel, 2010). Em outra planta a coluna chega a 5,2 m de diâmetro (Schultz et al, 2002).

### Projeto

Até os anos 2000, as informações disponíveis sobre projeto, construção e desempenho das DWCs eram escassas. Porém, nos últimos anos, diversas publicações têm provido maior entendimento da tecnologia (Kiss, 2013). O projeto de separação de qualquer número de componentes requer:

- Em cada seção da coluna, somente componentes com volatilidades extremas (isto é, o mais leve e o mais pesado) são tidos como componentes chave. Isso resulta em  $n(n-1)$  seções requeridas para separação de  $n$ -componentes misturados, ao invés de  $2(n-1)$  da configuração convencional.

- Um refeedor e um condensador são suficientes, independentemente do número de produtos.

- Todos os produtos ( $n$ ) podem ser obtidos em alta pureza.

O projeto da DWC requer a escolha adequada do modelo e do simulador de processos. Os simuladores comerciais não contêm modelos para simulação da DWC, contudo, a literatura contém estratégias para o dimensionamento do modelo rigoroso, seja usando apenas uma coluna com interligação das correntes nas seções da coluna, 2 colunas convencionais representando cada lado da parede

da DWC e através de 4 colunas representando as seções da DWC (Dejanovic et al, 2010). A quantidade de parâmetros para a DWC é maior que a quantidade requerida para 2 colunas convencionais, sendo eles: número de estágios para as 6 diferentes seções (exemplo: o topo e a base (quando esses são comuns às 2 seções que a parede divide), seções acima e abaixo do estágio de alimentação e do lado da retirada de produto lateral, respectivamente), taxa de separação de vapor, taxa de separação de líquido, taxa de refluxo, carga térmica alimentada no refeedor e vazão de retirada de produto lateral (Kiss, 2013).

As etapas iniciais são similares às utilizadas em uma coluna convencional: selecionar a pressão de projeto e de operação da coluna e selecionar o modelo de equilíbrio líquido-vapor adequado. As etapas seguintes diferem um pouco e apresentam-se mais complexas: estabelecer a configuração inicial, projeto aproximado ou detalhado, estágios e refluxos requeridos, otimização, dimensionamento do equipamento e sistema de controle de processo (Kiss, 2013).

### Estudo de caso: Destilação azeotrópica de Etanol Anidro.

O etanol é um produto estratégico para o Brasil, que tem a segunda maior produção mundial (RFA, 2015). A produção de etanol anidro tem como etapa final de processo a destilação do vinho para etanol hidratado e do

etanol hidratado a etanol anidro. Por usar destilação azeotrópica em cerca de 60% das usinas (Barreto & Coelho, 2009), cujo consumo energético é intrínseco ao processo, e em função dos volumes de produção, despertou-se o interesse em estudar o processo aplicando a DWC.

Segundo Yildirim (2011), estima-se que as futuras implementações da tecnologia da DWC serão realizadas em países em desenvolvimento com mercados emergentes, como os chamados países da zona BRIC, no qual se inclui o Brasil, do que em países com instalações na área de destilação já estabelecidas, o que confirma o potencial do Brasil para futuras instalações da DWC.

A aplicação da DWC na destilação azeotrópica heterogênea tem algumas referências na literatura para o etanol e o isopropanol (Mahdi et al, 2015). A DWC contempla a parte principal, que é equivalente à coluna azeotrópica, em que ocorre a alimentação de etanol hidratado e solvente, estando presentes o condensador e o decantador no topo para separação da mistura ternária heterogênea e o refeedor na base, para retirada de etanol anidro. No pós-fracionador da DWC, que equivale à coluna de recuperação, são alimentadas parte a corrente de líquido que vem do refluxo da coluna, e a fase aquosa que deixa o decantador. Na base do pós-fracionador, há um refeedor no qual é retirada a água. O solvente é recuperado na fase orgânica do decantador, que é misturada a uma pequena

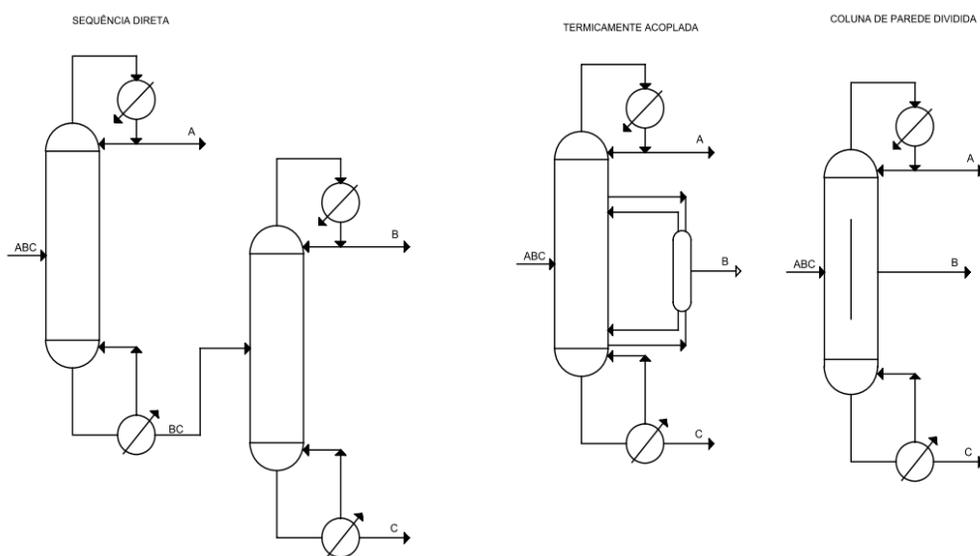


Figura 4: Sequências para separação de 3 componentes

vazão de make-up de solvente e alimenta o 1º estágio da DWC. A presença de apenas um condensador e a eficiência termodinâmica do processo são diretamente responsáveis pela redução no consumo de energia em relação ao processo convencional.

Pereira (2015) estudou o processo de destilação azeotrópica na DWC, para comparar o consumo de energia entre o processo convencional com 2 colunas (coluna azeotrópica e coluna de recuperação de solvente) e o processo na DWC para vazões de produção de etanol anidro em escala industrial. Foram modelados os sistemas de referência convencional, a coluna DWC padrão e otimização da DWC através do simulador de processos Aspen Plus. A otimização de processo deu-se variando o número de estágios e a razão de refluxo. Os consumos de energia foram comparados, de modo a demonstrar a viabilidade técnica da aplicação da DWC. A variação do número de estágios teóricos não teve efeito no consumo de energia, porém em todos os casos em que a razão de refluxo foi menor ou igual ao processo de referência, foi obtido menor consumo de energia. Nas mesmas condições do processo de referência (número de estágios teóricos e razão de refluxo), obteve-se 37,5% de redução de energia e, dentre as otimizações de processo realizadas foi possível identificar uma redução de 68,2% de energia utilizando uma razão de refluxo 50% menor. Não houve efeito na pureza ou na recuperação do etanol anidro. Por-

tanto, considerando o potencial da DWC para projetos de instalações novas e modificações nas instalações existentes, verificam-se oportunidades de otimização de recursos e instalações, além de redução nos custos de operação com energia (Pereira, 2015).

## Conclusão

A DWC é uma tecnologia que, apesar de já existir há algum tempo, tem sua aplicação industrial recente e tem mostrado ser relevante na busca por projetos na área de destilação que apresentem excelente relação custo-benefício e alta produtividade, em função das suas vantagens em relação ao uso de duas colunas convencionais: menor custo de implantação, menor área de ocupação, redução nos custos de manutenção, alta pureza dos componentes, sem degradação térmica de produtos sensíveis e redução no consumo de energia. Novos processos ou adequações de instalações existentes podem ser consideradas para aplicação da DWC em projetos com otimização energética para diferentes produtos, como o etanol anidro. Portanto, verifica-se um grande potencial na utilização dessa tecnologia, especialmente no Brasil, seja em projetos novos ou adaptação em equipamentos existentes. ●

## Referências:

ASPRION, N., KAIBEL, G. *Dividing wall Columns: Fundamentals and recent advances*. *Chemical Engineering and Processing* 49, Elsevier, p. 139-146, [SI] 2010.

BARRETO, T.V., COELHO, A.C.D. *Destilação*. In: Santos, Borême Caldas (Org.). *Cana-de-Açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol – Tecnologia e Perspectivas*. 2ª Ed., Viçosa/MG, Editora UFV, 2009, p.489-514.

DEJANOVIC, I, MATIJASEVIC, Z., OLUJIC, Z. *Dividing wall column – A breakthrough towards sustainable distilling*. In: *Chemical Engineering and Processing* 49, p.559-580, abril 2010.

KISS, A.A., *Advanced Distillation Technologies: Design, Control and Applications*. John Wiley and Sons: 1a.Ed., 2013.

LUYBEN, William L. *Distillations Design and control using Aspen Simulation*. John Wiley & Sons: 2a. Ed., New Jersey, 2013.

PARKINSON, G. *Distillation: New Wrinkles for an Age-Old Technology*. *Chemical Engineering Progress*, [SI], p. 10-19, julho, 2005.

MAHDI, T; AHMAD, A.; NASEF, M.M.; RIPIN, A. *State-of-the-Art Technologies for Separation of Azeotropic Mixtures*. *Separation & Purification Reviews*, 44:4, 308-330, 2015.

B.K. *Estudo de Otimização Energética na Separação de Mistura Azeotrópica*. São Paulo, 2015 (Tese de Mestrado em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo/SP, 2015).

PILLING, M., SUMMERS, D.R. *Be Smart About Column Design*. *American Institute of Chemical Engineers (AIChE)*, [SI], p.32-38, novembro, 2012.

RFA – Renewable Fuels Association. Disponível online em < <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-Ethanol-Production> > em 04 nov 2015.

SHULTZ, M. A. et al. *Reduce Costs with Dividing-Wall Column*. *CEP magazine*, [SI], p.64-71, maio 2002.

STAAK, D. et al. *Divided-wall column for industrial multi-purpose use*. *Chemical Engineering and Processing* 75, p.48-57, 2014.

YILDIRIM, O., KISS, A.A., KENIG, E.Y. *Dividing Wall Columns in Chemical Process industry: A review on current activities*. In: *Separation and Purification Technology* 80, 2011, p. 403–417.

# Propriedade Industrial – A proteção por Patentes

Em um passado não muito distante, era agosto de 2001, por um impasse entre o Governo e uma grande empresa farmacêutica, o Brasil foi tomado por notícias sobre patentes, quebra de patente e licença compulsória. Manchetes nos jornais anunciavam: “Brasil quebra patente de remédio contra Aids”.

A exposição na mídia sobre a importância da medida, principalmente para aqueles que precisavam do medicamento – objeto de patente e da disputa entre o Governo e a empresa, chamou a atenção para o assunto da Propriedade Industrial, mas ainda hoje o que fica patente, necessário pedir desculpas pelo trocadilho, é que o conhecimento sobre o sistema de patentes e seu uso no Brasil, assim como de outros países, é muito pequeno.

No momento em que a inovação e o desenvolvimento de tecnologias e produtos são imprescindíveis em um mercado cada vez mais competitivo, e com o olhar voltado tanto para o mercado nacional como internacional, empresas brasileiras, Instituições de pesquisas, ciência e tecnologia devem estar cada vez mais atentas para o fato de terem a devida proteção e reconhecida apropriação de suas ideias e desenvolvimentos.

Empresas inovadoras sabem que a importância em proteger o ativo intelectual está em: comprovar que tem tecnologia própria; excluir terceiros do mercado (patente); controlar a concorrência, assegurar investimentos; ter maior poder de negociação na comercialização de seus produtos, marketing...

## Propriedade Industrial

Propriedade Industrial de terceiros podem ser barreiras na exploração comercial de um processo/produto.

Importante notar que que propriedade industrial não se confunde com propriedade intelectual.

Propriedade Intelectual (Propriedade Industrial + Direito Autoral) - quaisquer **Criações da mente/intelecto**: invenções, trabalhos literários, musicais e artísticos, símbolos, nomes, ima-

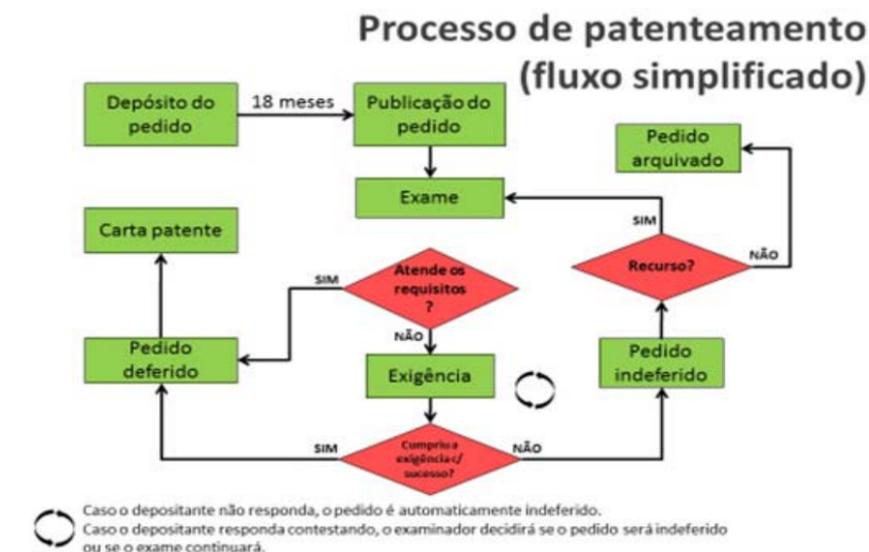
gens e desenhos usados no comércio/mercado

Propriedade Industrial – quaisquer **Criações da mente/intelecto**, exploradas pela indústria: Patentes, Desenho Industrial, Marcas, Indicação Geográfica, Repressão a Concorrência Desleal

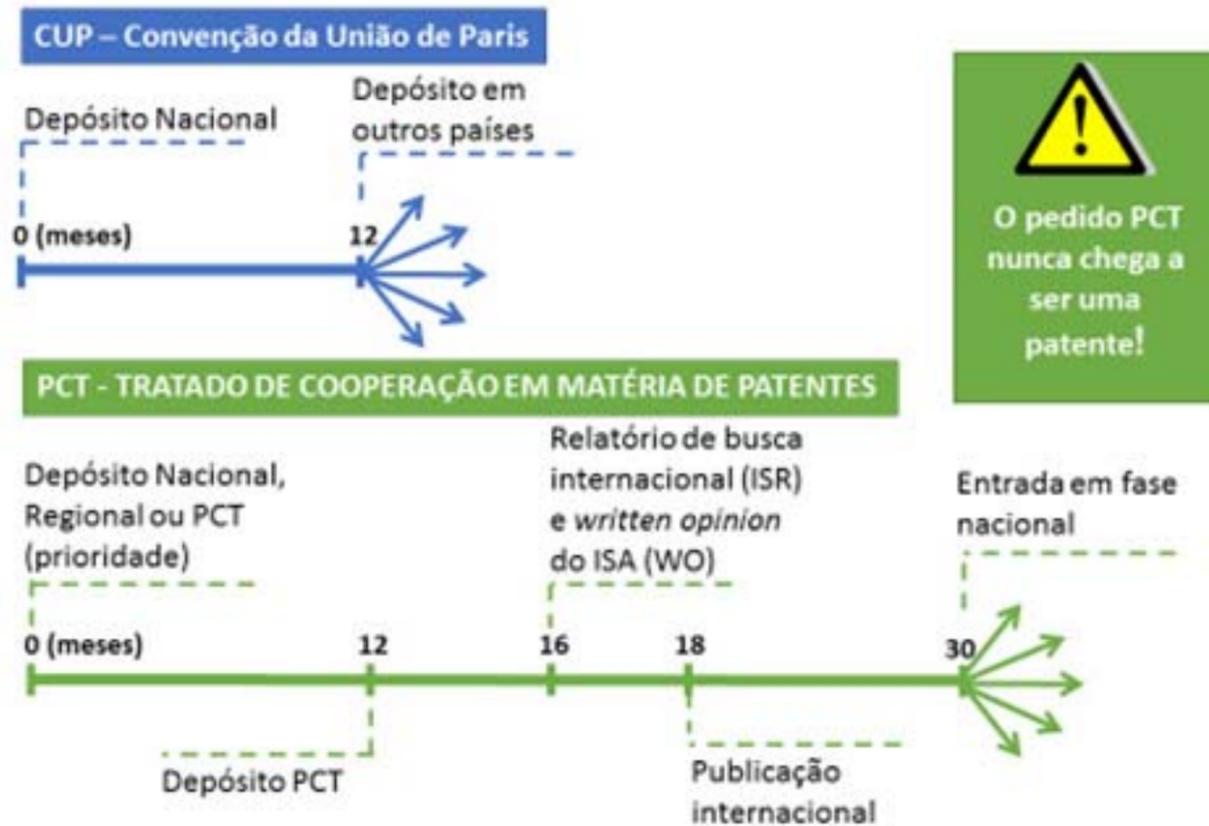
No Brasil, a Propriedade Industrial é regulamentada pela Lei 9279/96 de 14 de maio de 1996.

Este texto será focado em patentes e, quando falamos em patentes, devemos ter em mente a importância da proteção do ativo intelectual e, mais do que isto o fato de que podemos mitigar os riscos de infração de patentes terceiros.

Ainda, a proteção através de patentes se torna necessária para garantir o retorno do investimento feito em pesquisa e desenvolvimento.



## Sistemas de depósito de patentes CUP e PCT



Assim, o sistema de patente deve ser utilizado de forma eficaz como instrumento de competitividade e, principalmente, como forma de proteção e exploração de uma tecnologia desenvolvida.

O que é patente?

A patente é um título de propriedade temporário concedido pelo Estado que confere ao seu titular o direito de impedir terceiros de produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar produto ou processo objeto de sua patente. (Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI 2008).

As patentes podem ser de dois tipos:

Invenção (PI) - Uma nova solução para um problema téc-

nico específico, dentro de um determinado campo tecnológico. Fonte: DL 101P BR - Módulo 7 – Patentes –OMPI/INPI, 2014

Modelo de Utilidade (MU) - Uma nova forma ou disposição em um objeto de uso prático visando melhoria funcional no seu uso ou em sua fabricação. Fonte: DL 101P BR - Módulo 7 – Patentes –OMPI/INPI, 2014

São três os requisitos de patenteabilidade quando falamos de uma invenção ou modelo de utilidade: Novidade, Atividade Inventiva/Ato Inventivo (MU) e Aplicabilidade Industrial.

Novidade - Ser novo significa não estar compreendido no estado da técnica<sup>(1)</sup>

Atividade Inventiva - Ter ativi-

dade inventiva significa que a invenção não decorre de maneira evidente ou óbvia para um técnico no assunto.

Aplicabilidade Industrial - Ter aplicação industrial significa que o objeto da patente deve ser passível ou capaz de ser fabricado ou utilizado em qualquer tipo/gênero de indústria. (Art. 15 da LPI)

A patente é válida apenas nos países onde foi requerida e concedida a sua proteção. No Brasil, patente de invenção vigora por 20 anos, o modelo de utilidade tem uma vigência de 15 anos a partir da data de depósito<sup>(2)</sup>. Ao final desse período, o conteúdo tecnológico revelado na patente torna-se de domínio

público e pode ser explorado por qualquer terceiro independente de autorização.

A proteção aos direitos da propriedade é solicitada junto ao INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial (3), autarquia federal vinculada ao Ministério do desenvolvimento da Indústria e do Comércio Exterior e importante dizer que quando o interessado deposita um pedido de patente ele passa a usufruir de uma expectativa de direito, pois o direito exclusivo do titular nasce apenas com a concessão da patente.

Importante lembrar que antes da elaboração de um pedido de patente é recomendável realizar uma pesquisa em bases de dados de documentos de patentes para se determinar o estado da técnica e verificar a existência de anterioridades que possam impedir a concessão da patente.

As pesquisas podem ser realizadas em bases de artigos e publicações acadêmicas e em base de patentes com acesso gratuito como as que são disponibilizadas pelos principais Escritórios de Patentes como do INPI e dos Escritórios Americano (USPTO), Japonês (JPO) e Europeu (EPO).

### Proteção de patente no exterior

A proteção por patente, como já mencionada, é territorial, ou seja, só é válida no país em que for depositada e concedida e assim quando existir o interesse na proteção do desenvolvimento em patente no exterior, há duas

formas de se requerer proteção em outros países de interesse, seja diretamente no país onde se deseja proteger através da Convenção da União de Paris (CUP), que instituiu as primeiras diretrizes para a uniformização internacional do tema, ou através do Tratado de Cooperação em Matérias de Patentes (PCT), que é um tratado multilateral que permite requerer a proteção de uma invenção em um grande número de países, por meio do depósito de um único pedido internacional de patente.

O PCT, tratado administrado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual, tem como principal objetivo simplificar e tornar mais econômica a proteção das invenções.

Patentes Como Fonte de Informação

Patentes são rica fonte de informação tecnológica e podem ser utilizadas na prospecção de parceiros, especialistas, ideias para novos desenvolvimentos e novos negócios.

Com um crescimento anual aproximado de 1.000.000 de documentos de patentes no mundo, segundo a OMPI, cerca de 70% da informação tecnológica tem divulgação exclusiva nos documentos de patentes

Estudos mostram que os custos de P&D poderiam ser reduzidos cerca de 25% caso a informação disponível fosse utilizada, além de evitar desperdício de recursos humanos e financeiros devido a invenções duplicadas.

Nos documentos de patentes, quer sejam pedidos de patentes

ou patentes concedidas, é possível verificar se a tecnologia está disponível no Brasil, identificar tecnologias alternativas e tecnologias emergentes e definir potenciais rotas para o aperfeiçoamento em produtos e processos existentes, além de ainda monitorar concorrentes, fundamentar decisões de investimentos e condições para compra ou licença de tecnologias. ●

### Referências:

(1) – O estado da técnica é constituído por tudo aquilo tornado acessível ao público antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por uso ou qualquer outro meio, no Brasil ou no exterior” (Art 11, § 1º da LPI).

(2) – Segundo a legislação em vigor, a proteção conferida a uma patente de invenção e a um modelo de utilidade, no Brasil, não será inferior a 10 anos e 7 anos, respectivamente.

(3) – INPI – [www.inpi.gov.br](http://www.inpi.gov.br)

(4) – OMPI – [www.wipo.int](http://www.wipo.int)

(5) – USPTO – [www.uspo.gov](http://www.uspo.gov)

(6) – EPO – [worldwide.espacenet.com](http://worldwide.espacenet.com)

(7) – JPO – [www.jpo.go.jp](http://www.jpo.go.jp)

# Aplicação de Metodologia de Engenharia de Processos na Melhoria da Eficiência Energética em Unidade Industrial de Evaporação

Autores: Antonio Esio Bresciani<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Keutenedjian Mady<sup>2</sup>, José Luis Paiva<sup>1</sup>, Silvio de Oliveira Filho<sup>1</sup>, Roberto Nicolas De Jardim Junior<sup>3</sup> e Roberto Guardani<sup>1</sup>, \*

1. Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da USP

2. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP

3. Unipar Carbochloro

\* Av. Luciano Gualberto 380 Tv 3; 05508-000 São Paulo – SP; guardani@usp.br

## Resumo

Este artigo mostra a aplicação de metodologia de análise de processo, envolvendo a modelagem matemática e a simulação de processos e a sua aplicação no estudo de otimização energética de uma unidade industrial de evaporação, em uma planta de soda cáustica. Foram desenvolvidos e validados os balanços de massa e de energia que representam o processo de evaporação em múltiplos estágios, e foram simuladas diversas variáveis operacionais. Foi possível identificar as principais causas de perdas energéticas e buscar as condições ótimas de operação, especialmente quanto à pressão de operação, concentração de soda na entrada dos evaporadores e possibilidade de recompressão mecânica de vapor para recuperação de energia. O modelo fenomenológico também possibilitou a simulação de uma alteração no processo (uma retirada de corrente intermediária) e suas consequências na configuração e no consumo energético da planta.

1. Introdução
2. Análise de Processo em planta de evaporação de Indústria de cloro e soda
  - 2.1 Processos de produção de cloro e soda
  - 2.2. Usos de energia na Indústria de cloro e soda
  - 2.3 Etapas do estudo
  - 2.4. Modelo matemático fenomenológico
3. Resultados das simulações
4. Conclusões

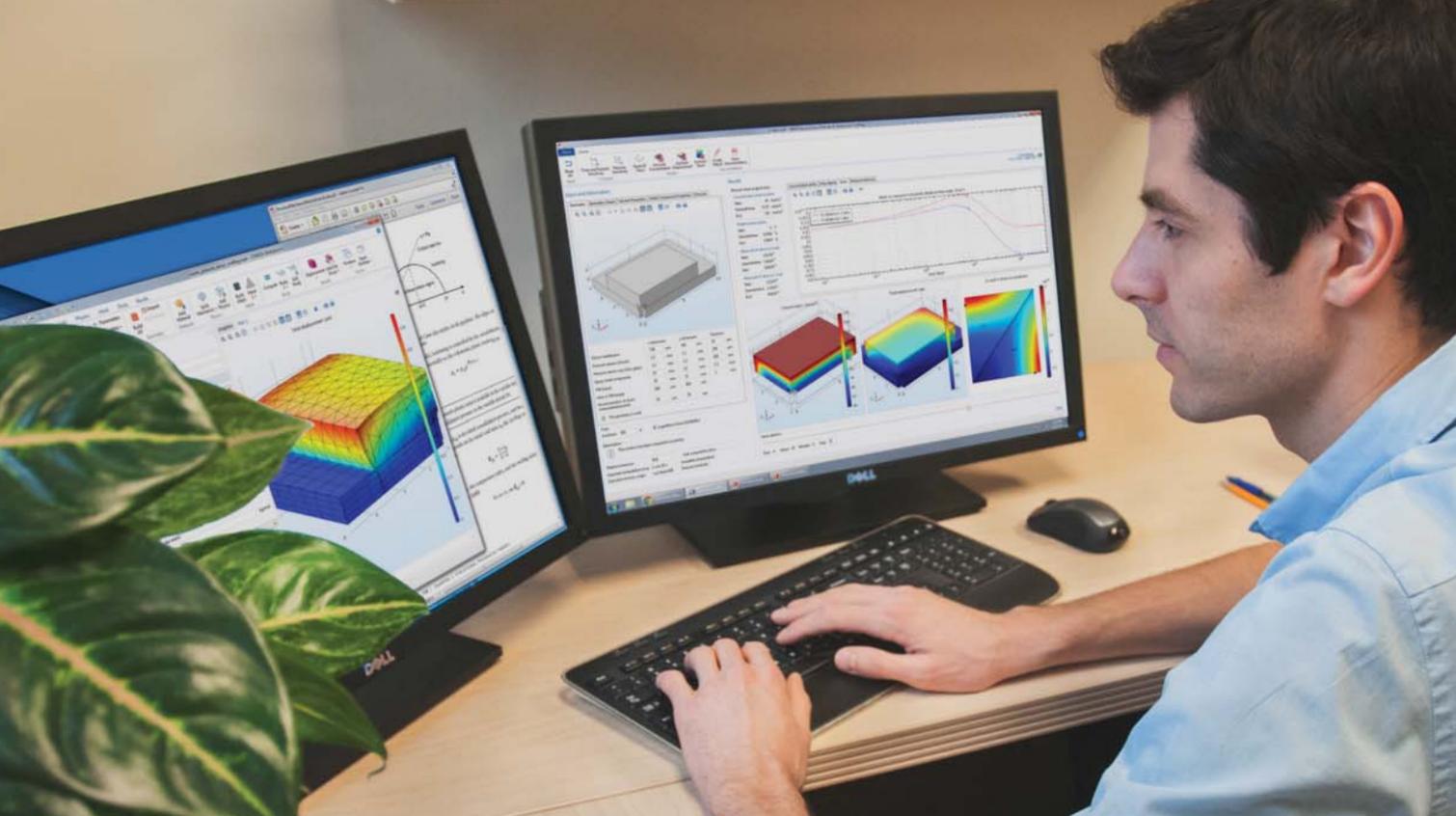
## 1. Introdução

Em muitas indústrias químicas, a alteração do cenário econômico tem motivado a aplicação de metodologias de análise de processos, visando o ajuste das condições de operação para aumento de eficiência. Nesses casos, é feita uma avaliação das variáveis operacionais de processo, buscando o seu ajuste para a otimização das condições de operação. Os objetivos podem ser o aumento da produção, a redução de custos de produção, a redução de consumo de energia, redução de emissões de efluentes, ou a

melhoria da qualidade de produtos.

Um procedimento usual em unidades industriais é a realização de testes de operação para avaliar alguma proposta de mudança nas variáveis operacionais. Esses testes de operação, além de custosos, trazem perturbações na produção e, na maior parte das situações, conduzem a resultados não conclusivos, pois não é possível ajustar todas as variáveis que afetam o resultado final.

Ferramentas de engenharia, como a Análise de Processos, que é baseada no estabelecimento de modelos matemáticos que representam o processo completo a ser estudado, possibilitam a simulação de diferentes situações operacionais sem a necessidade de perturbar a operação da planta. Esses modelos, quando baseados em propriedades físico químicas precisas, se aproximam muito da realidade operacional da planta e possibilitam prever como a alteração em uma variável afeta todas as outras e, assim, também o desem-



# MULTIFÍSICA PARA TODOS

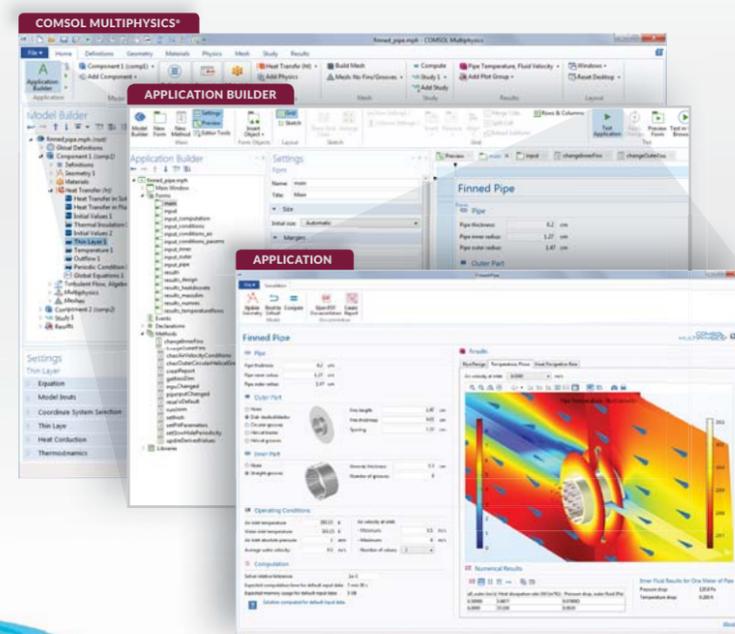
A evolução das ferramentas computacionais para simulação numérica de sistemas físicos atingiu um marco importante.

Agora, especialistas em simulação multifísica estão usando o Application Builder no COMSOL Multiphysics® para desenvolver seus aplicativos customizados.

Com uma instalação local do COMSOL Server™, os aplicativos podem ser distribuídos para toda a organização e acessados em todo o mundo.

Faça com que sua empresa se beneficie do poder da simulação multifísica.

[br.comsol.com/application-builder](http://br.comsol.com/application-builder)



penho do processo.

Os modelos matemáticos podem ser fenomenológicos ou empíricos. Os modelos fenomenológicos são desenvolvidos com base nos balanços de massa e de energia, nas propriedades físico químicas e nas equações que descrevem os fenômenos envolvidos em cada etapa do processo. Geralmente o sistema de equações é grande e se usam softwares especializadas para facilitar a sua solução. O modelo deve ser validado para condições conhecidas do processo e pode ser aplicado para faixas definidas das variáveis. Os modelos fenomenológicos permitem que sejam incorporadas alterações virtuais, ou “fictícias”, no processo e que sejam simulados os resultados dessas propostas de alteração.

Os modelos empíricos são desenvolvidos com base no conjunto de dados relativos às variáveis operacionais coletados e armazenados por sistemas como, por exemplo, PI, normalmente disponíveis nas unidades industriais. A grande quantidade de dados disponíveis, após remoção de dados errados e anômalos (tais como erros de leitura de instrumentos, períodos fora de estado estacionário etc), pode ser utilizada no ajuste de modelos estatísticos multivariados, como, por exemplo, redes neurais, que associam de forma não linear um conjunto de variáveis de processo selecionadas (normalmente pressões, temperaturas, composições e vazões na entrada do processo), que constituem as entradas do modelo, com as

variáveis de saída (por exemplo, vazões e composições de produtos, consumo de energia etc). Os modelos matemáticos empíricos são adequados quando o processo é muito complexo e há dificuldade para a obtenção de todas as propriedades físico químicas ou para estabelecer as equações que descrevem os fenômenos em todas as etapas do processo.

Os modelos possibilitam a simulação de diferentes condições operacionais e a busca da otimização dos resultados da planta. A confirmação da condição ótima pode ser obtida com a realização de testes de validação para o conjunto de valores das variáveis de processo identificado nas simulações.

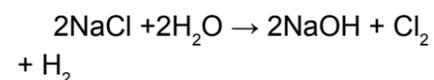
Este artigo descreve a aplicação de ferramentas de análise de processos em uma unidade industrial de evaporação que integra um complexo industrial de produção de cloro e soda, atualmente em operação, considerando-se a modelagem e simulação fenomenológica. O estudo teve o objetivo geral de melhorar a eficiência energética da unidade, motivado pelo cenário atual de aumento gradual e sistemático dos custos de energia.

## 2. Análise de Processo em uma Unidade Industrial de Evaporação na Produção de Cloro e Soda

### 2.1 Processos de Produção de Cloro e Soda

A indústria de cloro e soda apresenta um setor de importância básica para a economia do país. No primeiro bimestre de 2015 a sua produção mensal foi de 113,8 mil toneladas de soda e 103,1 mil toneladas de cloro segundo a Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados (ABICLOR, 2015). Houve ainda importação mensal de 85,7 mil toneladas. Os produtos diretos do processo são normalmente a soda cáustica, cloro e hidrogênio, sendo este normalmente consumido por outras unidades no mesmo complexo industrial. Além dos produtos diretos, a ABICLOR mostra mais de uma centena de produtos derivados de cloro e soda, entre os quais estão o ácido clorídrico, hipoclorito de sódio e dicloroetano, que são usados como produto de consumo final ou como insumo em outras linhas de produção.

O processo de produção baseia-se na reação química entre cloreto de sódio e água, via eletrólise, com  $\Delta H$  da reação de + 224 kJ/mol, sendo essa energia fornecida na forma de energia elétrica:



Os processos de produção utilizados em escala industrial consistem das seguintes etapas:

- 1) preparação da salmoura, pela dissolução de NaCl em água;
- 2) eletrólise, envolvendo as reações principais do processo;
- 3) processamento dos produtos: o cloro e o hidrogênio, separados na forma gasosa, são utilizados em outros processos; a

solução contendo soda e NaCl é concentrada para atingir as especificações para uso em diferentes aplicações.

Para a etapa de eletrólise, há três alternativas de processo utilizadas pelas indústrias de cloro e soda em todo o mundo. O primeiro processo utilizado em escala industrial baseia-se no uso de mercúrio. O cloreto de sódio, ionizado em solução aquosa, gera gás cloro na reação do anodo em um primeiro tanque. O íon  $\text{Na}^+$  forma o amálgama NaHg que escoar por gravidade para um segundo tanque onde está o catodo. No catodo ocorre a eletrólise da água. O íon  $\text{OH}^-$  reage com o NaHg formando NaOH, e o  $\text{H}^+$  forma o gás hidrogênio. O Hg é reciclado para a região do anodo e a soda é produzida na concentração de 50%, adequada para as demais etapas de produção, controlando-se a adição de água. Esse processo está sendo gradativamente descontinuado no mundo devido a restrições relacionadas ao uso do mercúrio.

No processo de diafragma, o anodo e o catodo são separados por um diafragma que envolve o catodo. Esse diafragma funciona como uma membrana que permite a passagem do íon  $\text{Na}^+$  para o catodo. No entanto, como a seletividade do diafragma é baixa, são permeados também água e o íon  $\text{Cl}^-$ . Dessa forma, a geração do NaOH é acompanhada da geração de NaCl. Além disso, ocorrem reações secundárias, resultando na produção de uma solução

Energia kWh/t de soda	Mercúrio	Diafragma	Membrana
Eletricidade	2800-3200	2500-2600	2300-2500
Vapor	0	700-900	90-180
Total	2800-3200	3200-3500	2390-2680

Tabela 1. Consumo energético dos processos. (Fonte: Ullmann's, 1993).

Consumo específico relativo de energia	Mercúrio	Diafragma	Membrana
Eletricidade	1,19	1	0,90
Vapor	0	1	0,14
Total	0,62	1	0,54

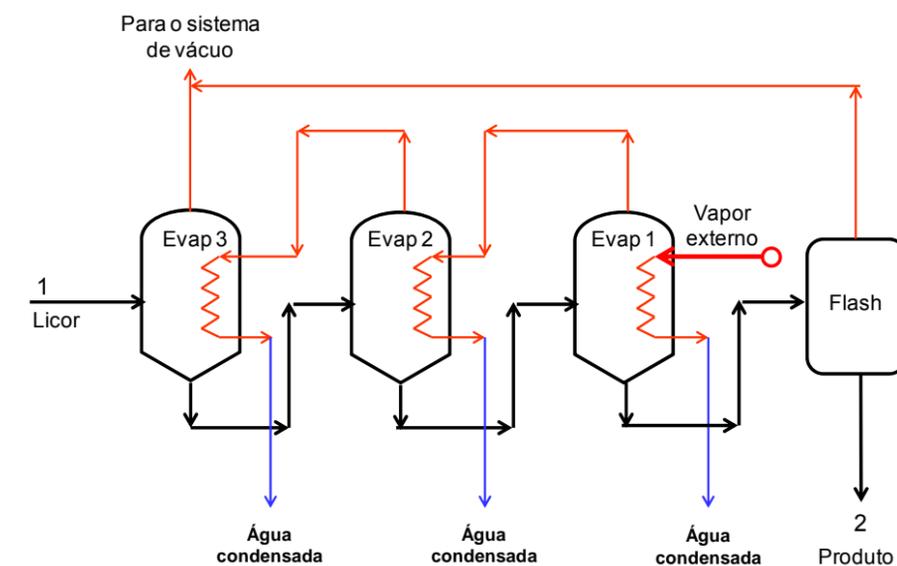


Figura 1. Fluxograma simplificado do processo de evaporação para concentração de soda, abordado no estudo.

com baixa concentração de soda (valor típico de 10 a 12% em massa) e alta concentração de NaCl, além de outros contaminantes como o clorato de sódio. Por isso, é necessário concentrar essa solução até o valor especificado de 50% em massa de NaOH. Isso é realizado em um sistema de evaporação em múltiplos estágios, incluindo sistemas de hidro ciclones e centrífugas para a remoção de cristais de NaCl, cuja concentração limite especificada no produto é de 1% em massa.

No processo de membrana, há uma membrana seletiva que separa as regiões do anodo e do catodo, e que permite a permeação seletiva somente do íon Na<sup>+</sup> para o catodo. Dessa forma, não há presença de NaCl no licor e a concentração de NaOH na solução produzida é da ordem de 32 a 36% em massa. Ainda assim, é necessário ter um sistema de evaporação para elevar a concentração da soda para 50%.

A utilização de energia na indústria de cloro e soda é muito intensa, atingindo até 45% dos custos totais de produção. Grande parte da energia consumida no processo é inerente às transformações químicas envolvidas, especialmente a eletrólise da água e corresponde à variação de entalpia do sistema reacional. No entanto, outros itens de consumo de energia, como a energia térmica para a vaporização da água e ajuste da concentração da soda, podem ser otimizados, justificando estudos para a redução de seu consumo.

## 2.2. Usos de Energia na Indústria de Cloro e Soda

Além da energia para as reações eletrolíticas principais, é necessário fornecer mais energia para o aquecimento da massa reacional, para reações secundárias (que também são endotérmicas), e para suprir perdas elétricas e outras perdas. Também é necessário fornecer energia térmica na etapa de evaporação para ajuste da concentração da soda para a sua comercialização.

Como mostrado na Tabela 1, os processos de produção de cloro e soda são consumidores intensivos de energia, principalmente energia elétrica. O consumo efetivo por processo depende de detalhes de cada tecnologia e do estado de conservação de cada planta.

O processo de membrana é o mais eficiente do ponto de vista de consumo específico de energia, pois não há consumo de energia para reações eletroquímicas secundárias e a solução gerada nas células tem concentração entre 32 e 36% em soda, o que implica menor consumo de vapor na etapa de concentração. O processo de diafragma é o que apresenta maior consumo específico de vapor, utilizado na etapa de concentração da solução de produto. Por essa razão, é o foco deste estudo.

A Tabela 2 mostra consumos específicos típicos para as tecnologias existentes, adotando-se como base o processo de diafragma. O maior consumo de energia na forma de vapor no processo de diafragma

deve-se à menor concentração da soda na solução alimentada aos evaporadores, embora dependa do número de estágios de evaporadores em cada unidade industrial. O maior consumo de energia elétrica no processo com mercúrio deve-se à reação de formação do amálgama de mercúrio.

Devido a essa situação, em relatório recente a organização europeia das indústrias de cloro e soda "Euro Chlor" estabeleceu a meta de reduzir o consumo total de energia em 5% no período 2001 a 2010 e obteve a redução de 8%, atingindo o consumo médio de 3358 kWh/t de cloro (2980 kWh/t de soda) (Euro Chlor, 2012). Esse programa continua destacando a importância de redução do consumo energético nessas plantas, ressaltando a contribuição para a redução do consumo de recursos naturais e da emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o custo da energia elétrica consumida representa grande parte do custo total do produto, uma vez que, na média mundial, a energia elétrica representa cerca de 40 a 50% do custo total de produção de soda.

As inovações tecnológicas mencionadas em trabalhos científicos recentes (Andrade, 2006 e Moraes, 2011) referem-se à modificação na reação no catodo, empregando catodo de difusão gasosa (de oxigênio), que reduz o potencial eletroquímico necessário, consumindo menor quantidade de energia elétrica. A reação eletrolítica no catodo é alterada com a presença de oxigênio dissolvido.

$$\sum (m_{licor,i} c_{sal,i})_{entrada} = \sum (m_{licor,i} c_{sal,i})_{saida} \quad (8)$$

$$\sum (m_{licor,i} c_{soda,i})_{entrada} = \sum (m_{licor,i} c_{soda,i})_{saida} \quad (9)$$

$$\sum m_{licor,entrada} + \sum m_{cristal,entrada} = \sum m_{licor,saida} + \sum m_{cristal,saida} + m_{vapor} \quad (10)$$

$$\sum H_{licor,entrada} + \sum H_{cristal,entrada} + \dot{Q} = \sum H_{licor,saida} + \sum H_{cristal,saida} + H_{vapor} \quad (11)$$

## 2.3 Etapas do Estudo

O estudo aqui descrito foi realizado em uma planta industrial da Unipar Carbocloro, envolvendo a unidade de evaporação de um processo de produção de soda utilizando tecnologia de diafragma, com o objetivo de gerar propostas para melhoria da eficiência energética da unidade.

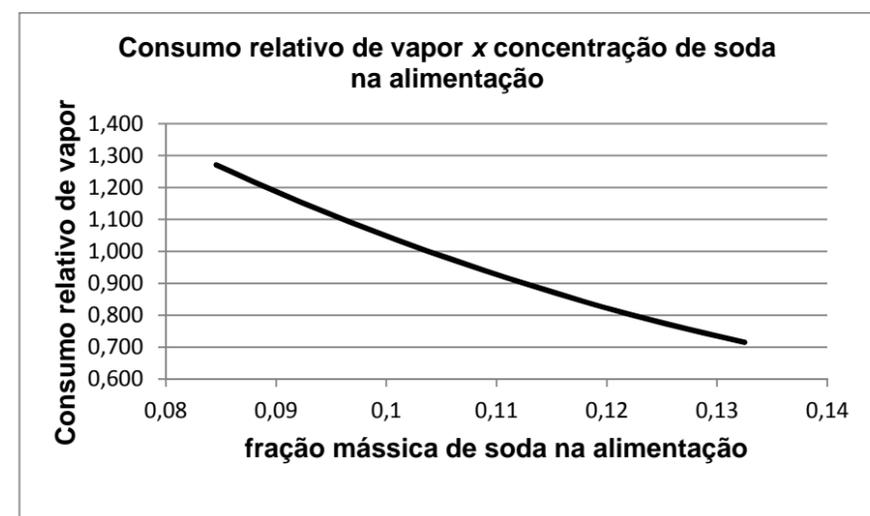


Figura 2. Consumo específico de vapor em relação ao valor nominal, em função da concentração de soda na solução de alimentação à unidade de evaporação.

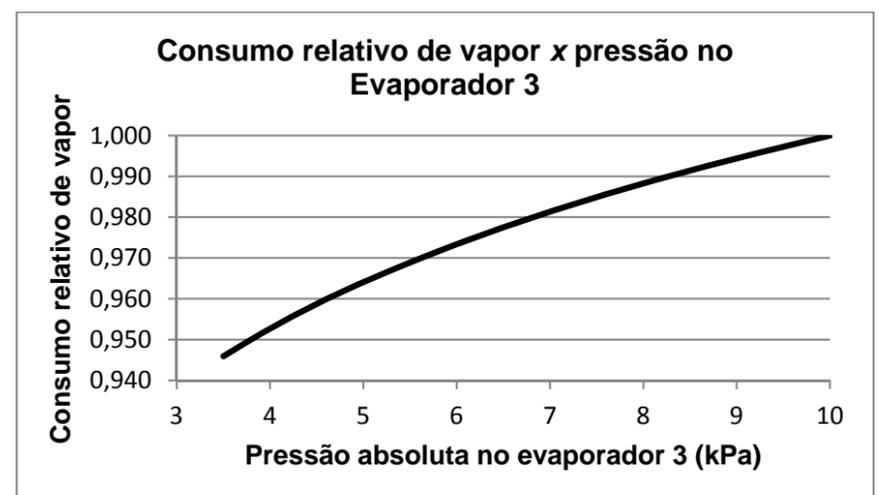


Figura 3. Consumo específico de vapor em relação ao valor nominal, em função da pressão no efeito 3 da unidade de evaporação.

O presente texto descreve a abordagem sistemática adotada no estudo, a qual pode ser aplicada a um grande número de instalações industriais existentes, as quais atualmente convivem com o aumento do custo das fontes de energia, aumento esse que já vem sendo observado desde o fim do século passado. O estudo foi desenvolvido em três etapas descritas a seguir.

Na primeira etapa do estudo, foram verificadas as condições físicas da instalação quanto à integridade, isolamentos térmicos, sistema de geração de vácuo etc, com base em inspeções na planta industrial e estudo da documentação técnica, tendo sido gerados relatórios com as recomendações pertinentes.

Na segunda etapa, foram verificadas as características de projeto da instalação que usa o processo de diafragma. A planta possui um sistema de evaporação de múltiplo efeito, constituído de 3 evaporadores mais um flash, que operam em contracorrente, com uso de vapor externo para aquecimento no último evaporador (Efeito 1) e com uso da energia do vapor gerado nos efeitos anteriores, como mostra o fluxograma simplificado, na Figura 1. O vapor externo aquece o licor no Efeito 1, evaporando água. As correntes de vapor geradas nos Efeitos 1 e 2 são utilizadas como fluido de aquecimento dos Efeitos 2 e 3 respectivamente. Nos trocadores de calor ocorre a condensação de vapor, gerando água, que é utilizada em outras partes da unidade industrial. Após os Efeitos

tos 3 e 2 as correntes de saída de licor são encaminhadas para hidrociclones e centrífugas para a remoção de NaCl cristalizado (não mostrados no diagrama). O licor que sai do Efeito 1 é alimentado ao flash, último estágio de concentração. O vapor retirado deste estágio é encaminhado ao sistema de vácuo, junto com o vapor retirado do Efeito 3.

Para sistemas com essa configuração, a demanda por vapor externo é aproximadamente inversamente proporcional ao número de estágios de evaporação dispostos em sequência e pode ser calculada como:

(1)

$$m_{\text{vext}} = (m_{\text{evt}} \Delta H_{\text{ev}} / \Delta H_{\text{vext}}) / n$$

Em que  $m_{\text{vext}}$  é a vazão de vapor externo necessária,  $m_{\text{evt}}$  é a vazão de água a ser evaporada para elevar a concentração mássica da soda de 12% até 50%,  $\Delta H_{\text{ev}}$  é a entalpia de evaporação da água da solução nas condições de pressão e temperatura do processo,  $\Delta H_{\text{vext}}$  é a entalpia de condensação do vapor externo utilizado e  $n$  é o número de estágios de evaporação. Numa abordagem inicial, a razão  $\Delta H_{\text{ev}} / \Delta H_{\text{vext}}$  pode ser considerada aproximadamente igual a 1 e, dessa forma, se a planta em estudo tivesse 4 evaporadores em vez dos 3 existentes, seu consumo de vapor seria reduzido em cerca de 25%.

Na terceira etapa do estudo foi elaborado o modelo matemático fenomenológico da planta, o qual possibilita simular e selecionar

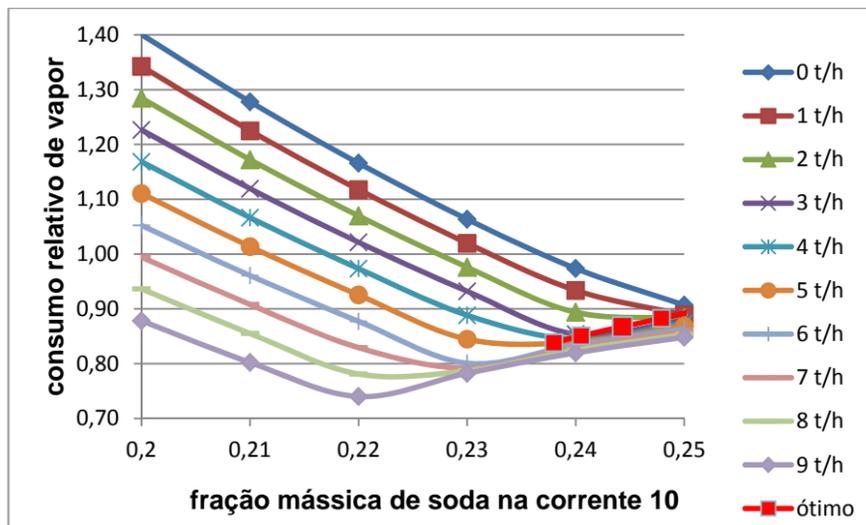


Figura 4. Consumo específico de vapor em relação ao valor nominal, em função da concentração de soda na corrente de retirada intermediária da solução de soda (corrente 10).

as condições operacionais nas quais se obtém menor consumo de vapor externo.

Ainda na terceira etapa, foi verificado que a maior perda de energia na unidade corresponde à entalpia da corrente de vapor efluente do estágio 3, que é condensado com uso de água de resfriamento. Foi estudada a possibilidade de recompressão deste vapor da pressão de saída do estágio 3, de 9,9 kPa, até 98,1 kPa, de modo a poder ser utilizado como vapor de aquecimento no estágio 1, substituindo parte do vapor externo utilizado. Este estudo mostrou ser possível reduzir o consumo de vapor para até 2% daquele original, sendo que o consumo de energia para o compressor seria de cerca de 45% em relação ao total consumido no processo. Assim, seria possível reduzir o consumo total de energia da planta em 53%.

#### 2.4. Modelo matemático fenomenológico

No modelo matemático fenomenológico são escritas as equações de conservação de massa e de energia, de transporte e de equilíbrio que representam cada etapa do processo. Neste caso, foram escritas as equações de balanços de massa e de energia para cada evaporador e para os sistemas auxiliares na condição de regime permanente. Foram também estabelecidas correlações para as propriedades físico químicas e de equilíbrio líquido-vapor e líquido-sólido, a partir de dados tabelados contidos na documentação do processo.

##### 2.4.1 Propriedades termodinâmicas e físico químicas da solução

A literatura apresenta tabelas de propriedades termodinâmicas e físico químicas da solução aquosa de soda (NaOH) e sal (NaCl) em condições de equilíbrio. A entalpia da solução é apresentada como função da temperatura, da concentração de soda e da concentração de

sal. A concentração de sal de equilíbrio é apresentada como função da temperatura e da concentração de soda, como mostram as equações 2 e 3.

(2)

$$H_{\text{licor}} = f_1(T, c_{\text{soda}}, c_{\text{sal}})$$

(3)

$$c_{\text{sal}} = f_2(T, c_{\text{soda}})$$

Assim, a partir do ajuste aos dados tabelados por regressão, pode-se estabelecer uma equação para a entalpia da solução em função somente da temperatura e da concentração de soda na forma da equação 4.

(4)

$$H_{\text{licor}} = f_3(T, c_{\text{soda}})$$

A equação 5 representa o melhor ajuste obtido. Trata-se de uma forma polinomial, em que os termos  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  e  $d_i$  são constantes e  $S$  é o produto  $100c_{\text{soda}}$ , sendo  $c_{\text{soda}}$  a fração em massa de soda na solução.

(5)

$$H_{\text{licor}}(c_{\text{soda}}, T) = (a_1 S^3 + b_1 S^2 + c_1 S + d_1) T^2 + (a_2 S^3 + b_2 S^2 + c_2 S + d_2) T + (a_3 S^3 + b_3 S^2 + c_3 S + d_3)$$

As equações 6 e 7, obtidas pelo mesmo procedimento, relacionam outras propriedades necessárias para o desenvolvimento dos balanços. O EPE (elevação do ponto de ebulição) é o aumento de temperatura de ebulição causado pela presença da soda e do sal na água;  $H_{\text{crist}}$  é a entalpia do sal cristalizado separado nos hidrociclones e centrífugas.

(6)

$$EPE = f_4(T, c_{\text{soda}}) = (k_1 S^5 + k_2 S^4 + k_3 S^3 + k_4 S^2 + k_5 S + k_6) (T - 30) + (k_7 S^2 + k_8 S + k_9)$$

(7)

$$H_{\text{crist}} = f_5(T)$$

##### 2.4.2 Equações de balanços

Para cada evaporador e para cada etapa de separação de sal foram desenvolvidas as equações para o balanço de massa do sal (NaCl), de soda (NaOH), além dos balanços de massa total e de energia, apresentados nas equações 8 a 11, na página a seguir.

Em que as somas se aplicam a todas as correntes de entrada ou de saída em cada unidade de processamento. O termo corresponde

à taxa de troca de calor no condensador de cada estágio de evaporação.

Aplicando as equações acima para cada evaporador, para cada sistema de remoção de sal e para o aquecedor com vapor externo obteve-se o modelo completo com 153 equações não lineares. O sistema foi implementado em uma plataforma computacional (EES®, Klein, 2015) para a sua solução e para as simulações.

### 3. Resultados das simulações

O modelo fenomenológico foi validado em relação a condições reais de operação da planta, resultando em desvios médios de cerca de 1%. Foi então verificado, por simulações, o efeito das principais variáveis que afetam o consumo de vapor da unidade de evaporação. Dentre estas, têm importância especial a concentração de NaOH na corrente de entrada da unidade e a pressão de operação do Evaporador 3, a qual depende do ajuste do sistema de vácuo.

A figura 2 mostra os resultados da simulação para o consumo específico de vapor em relação valor nominal, especificado no projeto, em função da concentração de soda na corrente de alimentação. Observa-se que a redução de 13 para 10% na concentração de NaOH na solução alimentada à planta de evaporação leva a um aumento no consumo de vapor de cerca de 50%. A redução na concentração da solução alimentada à planta pode ser causada pela

operação inadequada das células de eletrólise a diafragma ou por injeções inadequadas de água no sistema, devidas a lavagens periódicas de bombas ou centrífugas.

A figura 3 mostra o consumo de vapor em relação ao valor nominal de projeto, em função da pressão no Evaporador 3, a qual depende das condições de operação do sistema de vácuo. Os resultados mostram que é possível obter redução de consumo específico de vapor da ordem de 4% quando se reduz a pressão absoluta de 10 para 5 kPa.

O modelo fenomenológico também possibilitou simular os efeitos de uma alteração na configuração da unidade de evaporação, a qual consiste em uma retirada intermediária de solução de soda com concentração de 22%, instalando-se um divisor na corrente que conecta os Evaporadores 2 e 1, na entrada do Evaporador 1.

Os resultados dessa simulação mostram que há um limite superior para a vazão dessa corrente intermediária, denominada corrente 10, acima do qual a taxa de evaporação no Evaporador 1 não é suficiente para suprir energia para aquecimento nos Evaporadores 2 e 3. Essa limitação é expressa por limites de vazão máxima e de concentração mínima da corrente a ser retirada. As simulações mostraram que a concentração mínima de soda na corrente 10 a ser retirada é de 23,8%. Para valores menores da concentração de soda nessa corrente, passa a ser necessário

instalar um trocador de calor com vapor externo no Evaporador 2 para complementar a necessidade de calor para a vaporização nos Evaporadores 2 e 3. Em algumas situações as simulações mostraram a necessidade de remoção de calor neste trocador, o que evidencia uma condição inadequada em termos de consumo de energia.

Foram calculadas as condições de mínimo consumo de vapor para cada vazão de retirada, obtendo-se a concentração ótima de soda em termos de consumo específico de vapor. A figura 4 mostra o consumo específico de vapor em relação ao valor nominal, de projeto, em função da concentração de soda na corrente 10, para diferentes valores da vazão de retirada dessa corrente. Há uma região considerada inadequada energeticamente, que apresenta consumos específicos teóricos de vapor menores, em que há necessidade de remoção de calor no efeito 2, o que foi considerado não aplicável na realidade da planta. As condições ótimas de retirada da corrente 10 são indicadas na figura 4, respeitando-se a restrição de concentração mínima de 23,8% de soda na corrente 10. Essas condições representam consumo de vapor abaixo do valor de projeto. Isto ocorre porque, na configuração do projeto, toda a soda deixa a unidade na concentração de 50%. Porém, na situação de retirada da corrente 10, parte da soda deixa a unidade em concentração menor que 50%.

#### 4. Conclusões

A partir dos resultados apresentados, as principais conclusões do estudo são:

O consumo energético é muito dependente da concentração da soda na corrente de alimentação da planta de evaporação. Portanto, o desempenho operacional das células eletrolíticas do processo de diafragma deve ser o foco de estudos específicos.

A pressão de operação do Efeito 3 tem significativa influência no consumo energético da planta. Portanto, devem ser direcionados investimentos visando a redução da pressão, com a instalação de sistemas de vácuo adequados a essa meta.

O modelo fenomenológico possibilitou estabelecer as restrições e a condição ótima para a retirada de uma corrente de soda com concentração intermediária de soda, adequada ao uso em outras unidades do complexo industrial.

Além desses resultados, o estudo indicou também que a maior perda de energia ocorre no vapor efluente do Efeito 3. O aproveitamento da energia contida nessa corrente pode ser feito pela instalação de sistema de recompressão desse vapor para uso como fluido de aquecimento no Efeito 1. As simulações indicaram que essa alteração possibilita a redução de 53% no consumo total de energia na planta de evaporação.

A metodologia adotada no presente estudo tem grande potencial de ser aplicada a muitas unidades industriais que operam atualmente no mercado, como forma de melhorar a eficiência energética. A abordagem aqui proposta é baseada nas três etapas mencionadas: Etapa 1: verificação das condições físicas da instalação; etapa 2: verificação das condições de projeto da unidade, para estimativas de itens que representam maiores perdas de energia; Etapa 3: estudo do comportamento da planta em diversas condições, baseada em simulações usando um modelo matemático da unidade. Essa abordagem mostrou-se altamente eficiente na identificação e proposição de alterações que representam ganhos significativos de eficiência na planta.

A aplicação da abordagem proposta possibilita realizar os estudos de forma sistemática e abrangente, sem a necessidade de testes de operação, os quais trazem dificuldades operacionais, têm altos custos e não possibilitam variar todas as condições de interesse para o estudo.

O atual cenário de aumento dos custos das fontes de energia para as indústrias químicas certamente é um motivo forte para a realização de estudos como o aqui descrito, em muitas unidades industriais operando no país. ●

#### 5. Referências bibliográficas

Abiclor - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÁLCALIS, CLORO E DERIVADOS, [www.abiclor.com.br](http://www.abiclor.com.br), consulta em 22/06/2015.

Andrade, M.H.S., Estudo e otimização da fluidodinâmica do anólito de celas de cloro – soda com tecnologia de diafragma. Tese de Doutorado, UFCG, 2006.

Euro Chlor. “The Euro Chlor Sustainability Programme”, Euro Chlor, Bruxelas, 2012.

Klein, S. A. Engineering Equation Solver (EES). F-Chart Software, 2015.

Moraes, J.P., Eletrólise de Salmoura para a Geração de Cloro Empregando Catodos de Difusão Gasosa de Oxigênio Modificados com Ferro, Dissertação de Mestrado, Unicamp, 2011.

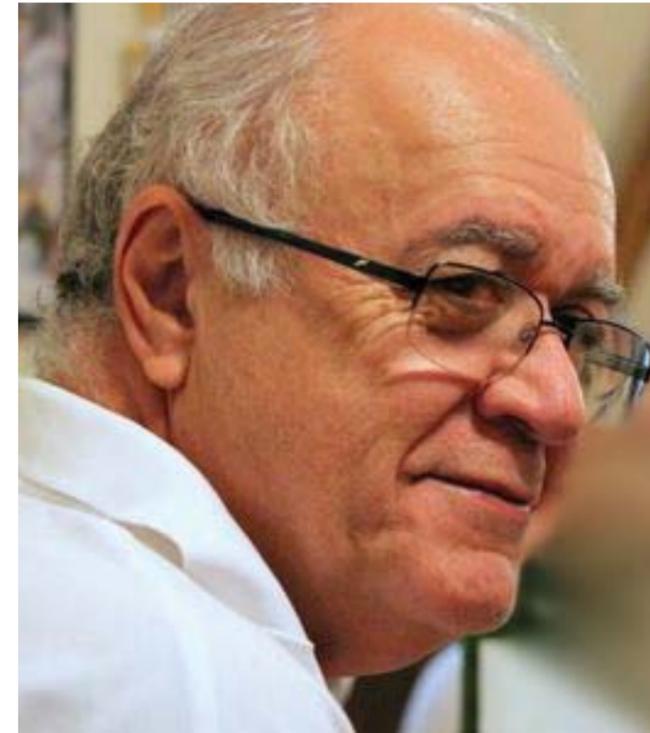
Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sodium Hydroxide, VCH Publishers Inc, VolA24, 1993.

CURSO	Mês	DURAÇÃO (DIAS)	DATA CONFIRMADA	LOCAL
1 Métodos Estatísticos de Controle de Processo na Indústria Química	Julho	5	25 a 28/07	SINQUISP
2 Simulação de Processos	Julho	2	21 e 22/07	CRQ
3 Scale-up de Processos	Agosto	2	22 e 23/08	CRQ
4 Sistemas de Alívio de Pressão	Agosto	5	29/08 a 02/09	SINQUISP
5 Inteligência Regulatória na Exportação de Substâncias Químicas	Setembro	1	09/set	CRQ
6 Processos de Aglomeração de Sólidos	Setembro	2	05 e 06/09	CRQ
7 Agitação e Misturas	Novembro	1	01/nov	CRQ
8 Gestão de Riscos Industriais	Novembro	1	21/nov	CRQ

## Especial Marco Giuliatti

In Memoriam

Um engenheiro químico até a alma<sup>1</sup>



Marco Giuliatti

*Já fiz filhos (aliás lindos)  
e fiz um livro.  
Já fiz tudo? Não.*

O professor Marco foi aluno e docente da Poli-USP no início de sua carreira, mas passou grande parte dela no IPT, onde foi pesquisador, docente e diretor, e também na UFSCar, onde era professor titular e Pró-Reitor Adjunto de Pesquisa. Sua atuação em pesquisa era na área de cristalização industrial, onde desfrutava de reconhecimento internacional. Tinha atuação junto à indústria, tendo, por exemplo, projetado e implantado a fábrica da Sal Cisne em Cabo Frio. Também era ativo na área de ensino, onde aplicava sua experiência de projeto de processos na sala de aula. Ele formou 26 mestres e 13 doutores, muitos dos quais ocupam hoje cargos importantes em empresas e universidades.

Sua personalidade aberta e agregadora o tornou muitíssimo querido da comunidade. Prova disso são os 150 amigos que prestaram homenagem a ele participando do “Workshop Marco Giuliatti em Ensino e Pesquisa em EQ”, organizado pela Poli com apoio da ABEQ logo após seu falecimento. O termo “amigos” é proposital, pois qual outro nome daríamos aos colegas do tempo da graduação que conviveram com ele por mais de



Regina, esposa de Marco, faz doação simbólica de biblioteca em EQ com 2000 livros para a Escola Politécnica da USP, na pessoa do Prof. Cláudio Oller do Nascimento.

**Centro Universitário Franciscano**

*Uma universidade para suas aspirações*

CURSO CONECTIVO **4** MEC

ENGENHARIA QUÍMICA

CENTRO UNIVERSITÁRIO FRANCISCANO



Marco e "turma do café" da UFSCar. A partir da esquerda, Moura, Marco, Zezão, Mônica, Cebola, Caliane, André, Everaldo, Mansur, Wu.

40 anos? E aos profissionais das mais variadas áreas de tecnologia do IPT, cujas trajetórias tantas vezes cruzaram a do Marco? E aos colegas da UFSCar que o acolheram em suas residências e laboratórios durante os mais de 20 anos de idas-e-vindas entre São Carlos e São Paulo? E aos admiradores da Poli que abriram as portas da instituição para ele durante sua vida e também depois dela? Fernando Landgraf (IPT) relata que uma funcionária da área de administração e serviços do IPT era grata ao Marco pela modernização da telefonia do instituto, décadas após a sua implementação!

No campo do ensino, André Bernardo (UFSCar) lembra que, na qualidade de excelente engenheiro, Marco ousava propor

aos alunos problemas abertos, e os induzia de forma magistral a encontrar soluções tratáveis para sistemas complexos da vida real. Em muitos casos ele usava casos do cotidiano (melhorar um processo de fabricação de vinho espumante, desenvolver um modelo para o cozimento de ovos de qualquer ave, de colibri a avestruz), ou casos da natureza (dimensionar uma máquina térmica que aproveite a diferença entre as temperaturas do Rio Negro e Solimões), ou simplesmente casos inesperados (reduzir a escala de um processo, ao invés de ampliá-la). A motivação que imputava aos alunos com este método era ímpar, muitos consideravam este tipo de experiência como o diferencial nos cursos da UFSCar e IPT.

No campo da pesquisa, Marco montou com competência o primeiro grupo em cristalização industrial no país. Foi corajoso ao "expulsar" boa parte da sua equipe para fazer doutorados no exterior e bom estrategista ao receber quase uma dezena de autoridades científicas internacionais ao longo dos anos para ajudar na formação do grupo. As competências ali desenvolvidas se espalharam além do IPT e hoje dão frutos na UFSCar, USP, UFMG, EEMauá, Centre Rapsodee (Albi, França) e empresas privadas. Carlos Calmanovici (Odebrecht Agroindustrial) considera que Marco era capaz de desenvolver uma pesquisa de grande qualidade científica e ao mesmo tempo de alto interesse tecnológico, algo que a comu-



Prof. Dr. Fernando Landgraf, presidente do IPT (esquerda), Prof. Dr. Targino de Araújo Filho, Reitor da UFSCar, Universidade Federal de São Carlos (centro) e Profa. Dra. Liedi Legi Bariani Bernucci, Vice-Diretora da Escola Politécnica (direita), na mesa de abertura do Workshop Marco Giulietti de Ensino e Pesquisa em Engenharia Química



Marco e alunos de diversas gerações num momento de descontração em 2014

nidade de pesquisa em engenharia reconhece como muito difícil de atingir.

O prof. Roberto Guardani (USP), que foi subordinado, colega e depois colaborador por muitos anos, fez durante o Workshop um impressionante relato das realizações do Marco: ganhou prêmios Governador do Estado, implementou plantas industriais, foi autor de diversas patentes, autor de inúmeros livros em cristalização e fertilizantes, foi parceiro e amigo dos professores Nyvlt, Ulrich, Rafael Rodrigues, van Rosmalen, Lewis, Laguerrie, Valarelli, e outras personalidades do mundo científico, Pró-Reitor Adjunto de Pesquisa da UFSCar, Diretor do IPT, Diretor do CEFER. Diversos amigos próximos, que acompanharam de perto a trajetória do Marco, se mostraram surpresos com a extensão e qualidade de suas contribuições.

Como disse o Prof. Rafael Rodriguez, Marco teve a capacidade de influenciar toda uma comunidade profissional. Por isso, não será exagero chamar as realizações do Marco como "a sua obra". Uma obra onde a trajetória humana e as realizações profissionais são indissociáveis. Uma



Inspiração em Salvador Dalí

obra que ainda vive e serve para inspirar os engenheiros químicos de agora .

## O Homem por trás do profissional<sup>2</sup>

Marquito era filho legítimo da Segunda Guerra. Seus pais, o italiano Ulderico e a tcheca Anna, se conheceram no campo de trabalhos forçados de Nuremberg, na Alemanha, em 1942. Nasceu na Itália e veio ainda criança para o Brasil com a família. Primeiro foi para Campinas, mas depois se fixou em São Paulo.

Estudioso, entrou na Poli-USP no final da década de 1960, onde cursou engenharia química, área que lhe garantiu um PhD em Nancy, na França. Com o tempo, também se tornou referência internacional em cristalização.

Ainda na faculdade, conheceu a primeira mulher, Laura, com

quem teve os filhos, Fernanda e Frederico.

Além da engenharia, estudou filosofia e matemática. Apaixonado pelas artes, era músico, poeta, desenhista e tinha grande admiração por Salvador Dalí e Miles Davis.

Enfrentou as dificuldades com coragem e força — a morte trágica dos pais, a perda de parte da mão direita, a luta contra o câncer, e até o rebaixamento do Corinthians.

O senso de humor era traço essencial de seu temperamento, assim como a gentileza e a generosidade. Era um indignado perante injustiças, desigualdades, preconceitos e, sobretudo, a fome.

Sua grande companheira foi

Regina, com quem viveu de forma apaixonada por mais de 20 anos, e de quem também ganhou os enteados Thiago e Rafael.

Morreu no dia 16 de outubro de 2015, aos 64, após luta contra o câncer. Deixa a mulher, filhos e irmã. ●

<sup>1</sup> Muito da obra humana e profissional de Marco Giuliatti poderá ser melhor apreciada pelo leitor interessado no seu Memorial, escrito em 2015 por ocasião de seu concurso a professor titular na UFSCar.

<sup>2</sup> TEXTO OBTIDO DA FOLHA DE SÃO PAULO, 22/10/2015 COM ANUÊNCIA DA FAMÍLIA.

## Professora Odette Vieira Gonçalves de Souza

In Memoriam



Faleceu em 19/01/2016, em Belo Horizonte, a Profa. Odette Vieira Gonçalves de Souza, pertencente ao Departamento de Engenharia Química da UFMG (DEQ/UFMG). Foi uma das figuras centrais na formação do Engenheiro Químico na UFMG e no país, participando ativamente das etapas mais críticas da história de consolidação da EQ. Os depoimentos a seguir ilustram a personalidade e o perfil da Odette, como carinhosamente era chamada na comunidade brasileira.

Odette graduou-se em Engenharia Química e Química Industrial na UFRJ no ano de 1963 e em 1968 completou o seu mestrado no PEQ/COPPE/UFRJ, sendo orientada pelo Prof. Affonso Silva Telles. Atuou no ensino da matemática junto ao Prof. Giulio Massarani. Tinha orgulho de

ambos os feitos e dos amigos e mestres desta jornada. Nas idas e vindas à COPPE na Praia Vermelha, encontrou seu companheiro de vida, Prof. José Rubens, um mineiro que seria seu portoseguro. Casada e já professora do Departamento de Engenharia Química da UFMG (DEQ/UFMG) atuou ativamente no DEQ, na

Congregação e no ensino da matemática nos cursos de Pós-graduação da Mecânica e Elétrica. Esta foi a Odette, dinâmica e participante, sempre sincera e sendo ela mesma... Nunca se intimidou com nada e ninguém quando defendia, com sua voz firme, o que acreditava ser o melhor para a comunidade... Para

 **EQUILIBRA** Instituto de Capacitação e Especialização 



### Curso de Especialização *Lato sensu* **Tecnologia de Cosméticos**

**Público Alvo:** Engenheiros químicos, Químicos e Farmacêuticos.  
Curso de Pós-graduação credenciado junto ao MEC, personalizado para o desenvolvimento e avaliação de produtos cosméticos e perfumaria para indústria cosmética.

Consulte Outros Cursos!

- ➔ Ciências Forenses e Perícia Criminal
- ➔ Engenharia Humana



nós que a conhecíamos de perto, sabíamos que por trás daquela voz, havia um coração enorme que abrigava a família, os amigos e a comunidade que a cercava. Coordenadora do Curso de EQ/UFMG em 1974, modernizou o currículo com novas idéias e disciplinas, decorrentes das discussões com o grupo de professores inovadores do DEQ/UFMG, e implantou a base da Pós-graduação EQ/UFMG. Em paralelo, atuava nacionalmente unindo a comunidade de EQ tanto na ABEQ quanto nos ENBEQ's. Sempre acreditou e nos fez acreditar que trabalhando juntos faríamos a diferença na qualidade do ensino... e fizemos! Fomos talvez a primeira e única comunidade a se reunir conjuntamente para discutir perfil, conteúdo e currículo do curso de EQ e novas experiências no ensino... mas com o espírito de colaboração, ajuda mútua entre as IEQ's. "Construir um ensino de qualidade com a ajuda espontânea e mútua da nossa comunidade é o nosso lema nos ENBEQ's" e Odette foi um dos líderes desta união e pensamento. O começo dos ENBEQ's foi bem guardado pela Odette e publicado nos primeiros Anais destes encontros – a memória registrada é a base do nosso compromisso e da sua continuação. Aprendemos com ela. O seu espírito empreendedor e sua confiança na construção e ajuda conjunta enriqueceram sua vida de feitos, na comunidade de EQ, no DEQ e UFMG, como também na família. Seremos sempre gratos a você, Profa. Odette!

**(Profs. aposentados: Maria Laura Passos, Hugo Cãnfora, Maria Luiza F. M. Gonçalves, Solange V. Coelho, Togo Nogueira, Wilfrid Keller, e Profa. Maria das Mercês R. Castro, atual Chefe, Departamento de Engenharia Química – UFMG)**

Conheci a Professora Odette em 1973, quando retornava do Mestrado na COPPE, tornando-me professor da UFMG. Na época ela, com a competência e o entusiasmo característicos, liderava a implantação dos programas de pós-graduação na Escola de Engenharia. Naqueles anos 70-80, a Escola começava a profissionalização de seu corpo docente que, até então, trabalhava essencialmente em tempo parcial. As chefias de departamentos de então, sob a constante animação do Diretor, Prof. Hugo Sepúlveda, tiveram grande importância naquele processo essencial ao desenvolvimento da pesquisa e da pós graduação em engenharia na UFMG. Os jovens formandos mais brilhantes, entravam no mestrado e logo eram contratados como professores, vindo posteriormente a constituir, já nos anos 90, após doutoramento, a maioria no Exterior, um corpo docente de alto nível em todas as áreas da Engenharia. A Professora Odette teve papel absolutamente fundamental no que se refere ao Departamento de Engenharia Química e à pós graduação em Engenharia Térmica, que evoluiu para o PPG em Engenharia Mecânica. Por outro lado, como presidente da FUNDEP, ela realizou grande

expansão de atividades dessa fundação de apoio da UFMG, mostrando também grande capacidade como executiva. Mesmo após sua aposentadoria, Odette continuou liderando e criando convergências no DEQ que, pode-se dizer, ela criou nos anos 70 e 80.

**(Ronaldo Tadêu Pena – Prof. Titular aposentado do Departamento de Engenharia Eletrônica, Diretor da Escola de Engenharia da UFMG (1990-1994), Reitor da UFMG (2006-2010), atual Diretor-Presidente do Parque Tecnológico de Belo Horizonte - BHTEC).**

A Odette deixou uma marca indelével em todos que a conheceram.

Ela foi minha contemporânea na Escola de Química, ainda na Praia Vermelha. Eu ingressara naquele Mestrado de Engenharia Química que o Prof. Coimbra criou e que terminou sendo o embrião da COPPE. Defendendo a minha Tese (a primeira orientada pelo Prof. Coimbra), fui convidado para o Corpo Docente e dei aula para a turma seguinte em que estavam a Odette, o Carlos Russo, o Cirus Hackenberg, o Ralf Gilow e outros. De vez em quando eu pegava carona com ela no seu fusquinha verde. Eu não tinha carro e não dirigia e ficava admirado com a sua destreza ao volante. Ela ria e me mostrava a movimentação sincronizada das marchas e dos pedais. Eu tenho na mente uma cena em que ela e o Zé Rubens conversavam, talvez iniciando o namoro, na varanda do aparta-

mento do nosso frequente visitante Rubens Ramalho, localizado na Rua Tonelero, defronte o colégio Sacré Coeur. Em função da nossa amizade, eu lhe pedi ajuda para escolher a minha aliança de noivado na extinta Joalheria KRAUSE que ficava na esquina de Santa Clara e Av. Copacabana. Isso em 1964. Ela me chamava carinhosamente de "Pepé", apelido inventado por uma colega da Escola (Marilza Guimarães) e que "pegou" entre os meus colegas e se propagou no tempo entre os colegas da COPPE. Hoje, sobrou apenas o Habert com esta lembrança. Em retribuição, eu a chamava de "Dedette". A não ser que o assunto fosse muito sério, ela sempre terminava as suas frases com uma discreta gargalhada...

**(Prof. Carlos Augusto Guimarães Perlingeiro – Emérito e Titular, PEQ/COPPE e EQ – UFRJ).**

Chegando de viagem, banho tomado, ligo o micro para verificar as mensagens da semana. Uma em particular eu não gostaria de ter recebido: Marcos Barrozo me avisando que a querida Odette havia partido. Imediatamente comecei a lembrar da Odette... participamos juntos de muitos eventos, geralmente relacionados com o ensino de Engenharia Química. Em um desses encontros, o ENBEQ, creio que o primeiro realizado em Itatiaia, após dois ou três dias de discussões e o cansaço natural vinculado a este tipo de atividade. Todos já querendo ir dormir, pois na manhã seguinte pegaríamos a es-

trada para a volta ao lar. Odette chega, primeiramente se dirige a alguns colegas, e depois vem direto para nossa mesa: "pessoal, temos que fazer os relatórios para os órgãos de fomento...". Todos concordaram em dividir as tarefas e remeter em até uma semana os resultados à Odette. Do alto dos seus 1,80 m (aproximadamente), com aquela gargalhada típica, ela enfatiza: "meninos, vamos pegar uma mesa maior e só partiremos com os relatórios prontos". As 3:45 h da madrugada, relatórios prontos, Odette feliz e sem demonstrar cansaço. Por outro lado, os "meninos" todos cansadíssimos. Às 6:00 h pego a estrada para São Carlos (SP) pensando que só a Odette conseguia fazer daquela forma. Odette, por essas e muitas outras é que eu a AMO e RESPEITO muito. A Engenharia Química e o seu ensino perdem muito com sua partida. Todos nós que aprendemos a amá-la ficaremos agora sem sua energia, ânimo e coração.

**(Prof. José Teixeira Freire - Emérito e Titular, Departamento de Engenharia Química – UFSCar).**

Conheci Odette nas batalhas pela engenharia química brasileira. Estivemos juntos em diversos fóruns: no PADCT, nos ENBEQs, nas discussões sobre o registro profissional dos engenheiros químicos, e na ABEQ. Nos entendemos rapidamente, descobrimos logo nossas afinidades e nossos pontos-de-vista comuns.

Odette era uma pessoa simples, direta, pragmática. Sempre

foi muito objetiva, prática, sem papas na língua. Tinha uma auto-ridade natural, uma ascendência sobre as pessoas. Conquistava e convencia a todos pela sua argumentação franca, sempre bem construída e muito bem apresentada. Tinha um bom humor permanente, apesar de um ceticismo saudável quanto ao real impacto de nossas ações. Tinha grandeza e humildade; ria mais de si mesma do que dos outros. Perdemos um guia, uma amiga, uma bússola.

**(Dr. Pedro Wongtschowski - Empresário, Pesquisador Associado USP, Presidente IEDI e dos Conselhos de Administração da EMBRAPA e ANPEI. Membro Conselhos CNPEM, CGEE, Abiquim, ABEQ, APLA, FIESP, MEI e de empresas ULTRAPAR, EMBRAER, CTC entre outras).**

Meu primeiro contato com Odette foi em 1966, na pós-graduação da COPPE/UFRJ, eu, aluno iniciante de Mestrado, e Odette, mais adiantada, desenvolvendo sua Tese, mas já enfrentando o desafio, colocado pelo Mestre Coimbra, de ensinar Processos de Separação usando métodos numéricos, inovação na época, com recursos computacionais ainda muito incipientes. Desde então, mantivemos o contato nos congressos de Engenharia Química, nas comissões federais voltadas ao ensino, e notadamente na ABEQ por quase 30 anos, quando Odette contribuía com suas intervenções e ações, sempre pertinentes e produtivas.

Aceitar e ultrapassar desafios foi uma constante na vida profissional de Odette, com destaque para suas realizações na UFMG no ensino de graduação, na viabilização da pós-graduação e nas atividades de interação industrial. Exercendo a função maior do docente, que é a de revelar e abrir caminhos para os jovens, Odette foi exemplar. Gerações de Engenheiros Químicos formados na UFMG tiveram o privilégio de sua orientação, que ultrapassava o ambiente das salas de aula, pois a Professora estava sempre disponível ao contato pessoal.

No âmbito da ABEQ, Odette sempre apoiou ou liderou iniciativas visando modernizar os cursos de Engenharia Química do país. Cabe aqui relembrar sua inestimável participação no II ENBEQ, em 1988, evento que foi crucial para a continuidade do processo de modernização de nossa Engenharia Química, quando propôs e assumiu a responsabilidade de realizar o primeiro levantamento estruturado da situação real dos 39 cursos de graduação na época. Após a aprovação do financiamento indispensável, graças a seu empenho, Odette e seus colegas da comissão que presidia visitaram todas as entidades de ensino de Engenharia Química pelo país afora, coletando os indispensáveis dados que, bem interpretados, serviram de base para as futuras ações modernizadoras propostas, e cobradas nos ENBEQ's seguintes. Este estudo pioneiro vem sendo ininterruptamente aprimorado e atualizado até hoje. No IX ENBEQ de Poços de

Caldas, em 2001, Odette recebeu o merecido reconhecimento e homenagem. Lembro-me de sua satisfação.

Uma comunidade (e por extensão, um país) é moldado e construído, não só por pessoas competentes, mas principalmente por indivíduos de idéias, que não se furtam às agruras da execução, que dizem "Presente!!" quando convocados, dando-se sem esperar receber, no seu espaço e no seu tempo. Pessoas raras. Odette, que nos deixou inesperadamente, é uma delas.

**(Prof. Saul GoNçalves D'Ávila – Emérito e Titular, Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP).**

Discípula dos valores implantados pelo Prof Alberto Coimbra, fundador da COPPE/UFRJ onde a Odette obteve seu mestrado, sempre batalhou pela modernização do ensino e da pesquisa em engenharia química no País. A sua incondicional colaboração nos ENBEQs em sua fase mobilizadora e renovadora dos currículos de EQ foi fundamental, tendo também ajudado em varios programas nacionais de fomento como o PADCT, e em órgãos como a ABEQ, onde exerceu a presidência do Conselho. Perde o País uma liderança. Mas sempre fica a esperança que seu exemplo frutifique.

**(Prof. Claudio Habert – Titular, Programa de Engenharia Química - COPPE/UFRJ). ●**

# Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia. Há 50 anos contribuindo com a indústria em processos de inovação.

## Áreas de atuação

- Motores e Veículos;
- Química, Tintas e Vernizes;
- Sinalização Viária;
- Mecânica, Metalografia e Metrologia;
- PLM & Manufatura Digital;
- Automação e Eletrônica;
- Micro-ondas e Telecomunicações;
- Civil, Certificação de Edificações e Equipamentos;
- Design;
- Alimentos e Bioquímica.

## Serviços

- Pesquisa tecnológica aplicada;
- Desenvolvimento de produto, processos, protótipos, equipamentos, instalações e sistemas;
- Ensaio, testes, calibrações e certificação;
- Análises, pareceres e peritagens;
- Projetos, consultoria e planejamento;
- Treinamento e desenvolvimento de pessoas.

## Qualificações

- Mais de 80 ensaios e calibrações acreditados pelo CGCRE;
- Dezessete linhas de pesquisas credenciadas pela ANP;
- Uma certificação de produto – ABNT;
- Certificação Alliance Partner pela National Instruments.

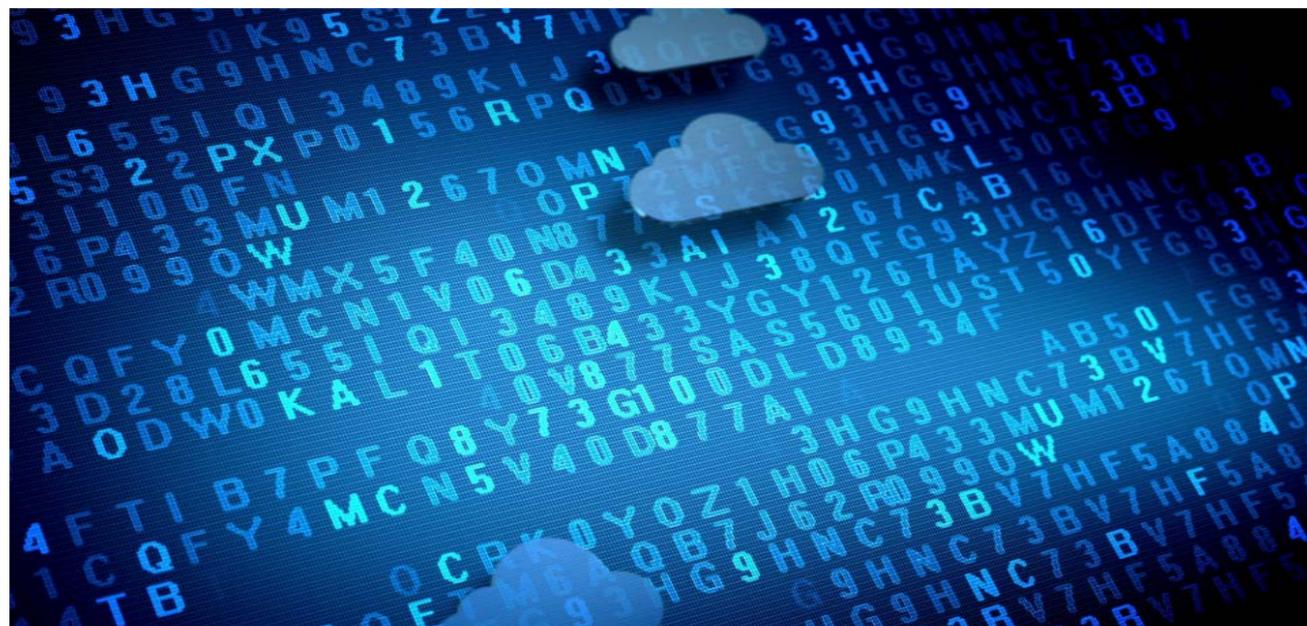
**Atendendo pequenas, médias e grandes empresas nacionais e multinacionais.**

**Contato: 4239-3058 - cp@maua.br**



## Simulação de um processo passo a passo

Construir uma simulação é uma tarefa cada vez mais ao alcance de todo e qualquer engenheiro químico pois os simuladores são ferramentas bastante amigáveis. No entanto vários cuidados são muito importantes. Neste texto damos uma coleção de conselhos que podem ser decisivos para esta tarefa.



### Antes de pensar em começar

Lembre-se: faça sempre da maneira mais simples.

### Antes de começar:

Procurar todas as informações disponíveis do processo. Seja em termos de variáveis de operação (temperaturas, vazões, pressões, composições de correntes ...) e de equipamentos (dimensões, carga de catalisador ...). Não há problema se houver informações redundantes. O importante é que elas sejam abundantes.

Procurar informações na literatura que possam servir para validar o modelo termodinâmico.

### Validação do Modelo Termodinâmico

É importante escolher corretamente o modelo, mas isso não basta. O modelo, além de correto, deve ter os parâmetros adequados. Isto somente pode ser verificado através da validação.

Caso necessário ajuste parâmetros do modelo termodinâmico. Alguns simuladores permitem isso.

Cuidado: não tente modelar aquilo que não é necessário. Caso haja algum inerte no sistema ou algum contaminante cuja quantidade seja muito pequena e não tenha uma importância muito significativa, não perca tempo tentando modelar a sua

interação com todas as espécies presentes.

Algumas espécies estão presentes apenas em algumas partes do processo. Às vezes é necessário utilizar modelos termodinâmicos diferentes em partes diferentes do processo.

### Passando à simulação

Nunca construa o fluxograma completo, com todas as unidades e ciclos. As chances que a simulação convirja para uma solução correta são quase nulas.

Siga sempre a abordagem do mais simples para o mais complexo.

Comece simulando as unidades individualmente:

- se houver reciclo use uma corrente fictícia;

- se houver integração energética use uma entrada ou uma saída de energia;

Valide a simulação das suas unidades usando a informação que você colheu antes de começar.

Uma vez que as suas unidades estiverem validadas comece a juntá-las.

Guarde sempre as simulações intermediárias. Não vá salvando as que funcionam, em cima das mais simples. Às vezes você vai precisar voltar alguns passos para trás; se esses passos estiverem apagados, você vai ter que refazer tudo de novo.

Documente as suas simulações. Apesar de que isto parece uma perda de tempo, e que é praxe sempre deixar em branco os campos para comentários, tente se policiar. Documente o passo a passo nem que seja em um caderno.

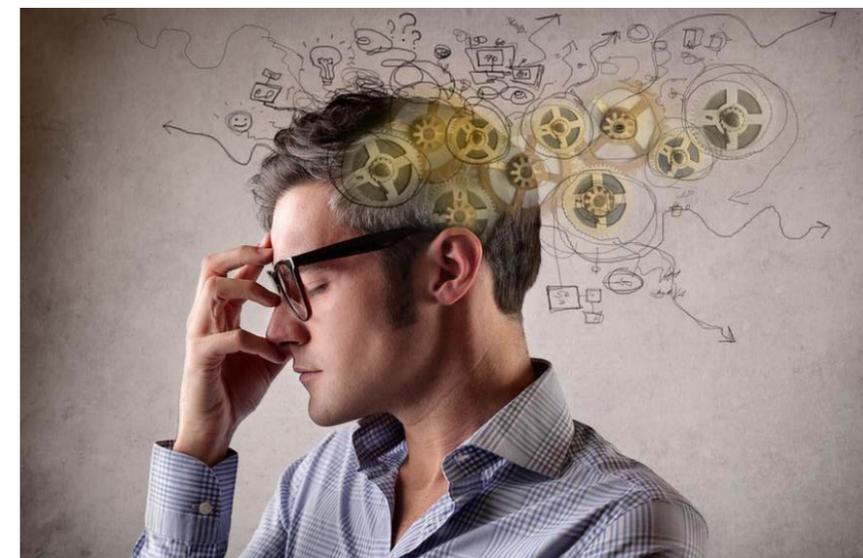
#### Ajuda externa

99,9 % dos problemas que ocorrem durante a construção de uma simulação tem origem no "acessório" que se encontra na frente do teclado e da tela: você.

Caso você se encontre diante de um problema que não consegue resolver, não adianta refazer a simulação do zero. Você simplesmente vai reproduzir o problema. Um computador é uma máquina bem determinística e, via de regra, dá os mesmos resultados para as mesmas entradas.

Pare e pense.

Pense mais um pouquinho.



Caso ainda não funcione, não recorra nem a Santo Expedito, nem a São Judas. Não que eu seja um homem de pouca fé, só que até agora não achei o Santo certo a quem recorrer.

Discutir o problema com uma terceira pessoa, apesar dessa pessoa muitas vezes não estar diretamente envolvida no seu problema, pode trazer uma luz.

Por fim, caso nada funcione, procure um especialista. Há excelentes profissionais em várias universidades e empresas, dispostos a lhe ajudar por módica recompensa.

### Explorando a sua simulação

Uma vez que a sua simulação funcione para um determinado caso base, passe a explorá-la; mas CUIDADO, nenhum programa resolve todo e qualquer problema, ou seja, há algumas situações em que o simulador pode não convergir.

Por outro lado, é sempre bom analisar bem a situação para ver se, por exemplo, não está se ten-

tado resolver problemas que não tem solução, como por exemplo, colunas com razões de refluxo abaixo da mínima, trocadores com cruzamento de temperatura, condensadores acima da temperatura crítica ... essas coisas que um engenheiro químico deve saber, pelas quais ele é o ser mais capacitado a utilizar um simulador de processos, e pelas quais ele se acha a quintessência da criação.

Pode ser também um problema de inicialização. Neste caso, existe um procedimento simples que corresponde a mudar as especificações do problema que tem solução, gradativamente, até chegar às especificações do problema que se quer resolver. Isto é, se você quer simular um reator a 600 K sendo que ele convergiu a 400 K, então simule a 420, 440, 460 ... se ele convergir a 600 K ótimo. Senão, você tem uma ideia da temperatura a partir da qual ele deixou de convergir.

Por fim, olhe sempre as mensagens de diagnóstico do seu simulador. ●

O maior evento  
brasileiro em  
Engenharia Química  
aguarda por você!

Venha inovar  
com a gente no:

**XXI Congresso  
Brasileiro de  
Engenharia  
Química**

25 a 29 de setembro  
Fortaleza/CE

**COBEQ  
2016**

Mais informações:  
[www.cobeq2016.com.br](http://www.cobeq2016.com.br)

