

## AS ENGENHARIAS DE PROCESSO, PROJETO E PROCESSOS QUÍMICOS INDUSTRIAIS

**Abraham Zakon** – zakon@h2o.eq.ufrj.br

Prof. Adjunto, Eng. Químico, Dr. Eng.

Laboratório de Compostos Cerâmicos, Departamento de Processos Inorgânicos,  
Escola de Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ

Telefones: 0XX-21-562-7643 Fax: 562-7567

**Fernando Luiz Pellegrini Pessoa** - pessoa@eq.ufrj.br

Prof. Adjunto, Eng. Químico, D. Sc.

Departamento de Engenharia Química, Escola de Química,  
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ

Telefones: 0XX-21-562-7643 Fax: 562-7567

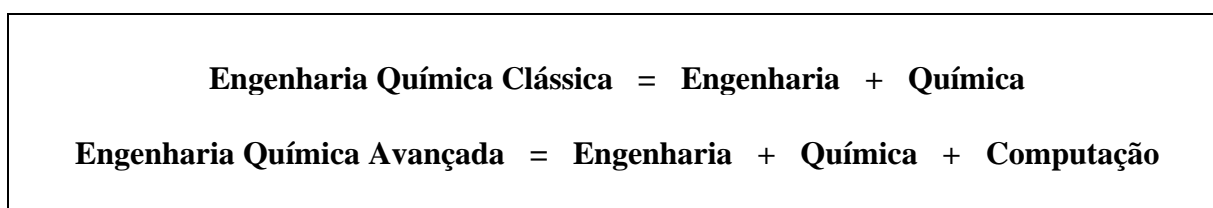
***Resumo.** A engenharia química é oriunda da química industrial. Suas grandes especialidades foram no Século XX a **engenharia de processo** e a **engenharia de projeto**, aplicáveis a todos os segmentos tecnológicos químicos. A **engenharia de processo** é responsável pelo projeto básico (projeto de processo e engenharia básica (instruções de compra)), que é o conjunto de conhecimentos técnico-científicos determinados pela experiência e pela investigação, e trata de equipamentos, rendimentos, novos reagentes, sistemas de controle físico e químico. A **engenharia de projeto** é o conjunto do projeto básico e do projeto de detalhamento, sendo responsável pelo projeto global da unidade industrial. A **engenharia de processos químicos** começou a se esboçar no final da década de 60, pela necessidade de se aprimorar os processos fabris a partir da sua própria concepção estrutural, e não mais apenas pelo aprimoramento dos equipamentos. Cada unidade industrial de processo químico produzida pela tradicional **engenharia de processo** representa um estratagema preliminar para a **engenharia de processos químicos**, que está embasada na pesquisa e projeto por computador. A **síntese do sistema** e a **análise do sistema** compõem um **projeto de processos**. A **síntese de um processo** consiste na seleção dos equipamentos e na definição do fluxograma, e corresponde à versão avançada da **engenharia de processo** para grandes instalações.*

**Palavras-chave:** Engenharia de processo, Engenharia de projeto. Engenharia de Processo.

### 1. ORIGENS E EVOLUÇÃO GLOBAL DA ENGENHARIA QUÍMICA

A engenharia química é oriunda da química industrial. As atividades dos engenheiros químicos dividiram-se, durante o Século XX, em tarefas de estudo de mercado para processos e produtos químicos, engenharia de processo, projeto, sistemas de controle físico e químico, vendas técnicas, perícia, gerenciamento e desenvolvimento de novas tecnologias químicas, novos materiais e produtos. Os métodos disponíveis para cálculos industriais partiram de raciocínios estequiométricos químicos e do emprego extenso da “regra de três”. Com base nos

princípios e leis termodinâmicas geradores dos balanços materiais e de energia e, também, nos conceitos e metodologias desenvolvidas para as *operações unitárias*, foi possível dimensionar, projetar e selecionar equipamentos com auxílio da régua de cálculo enfrentando grandes limitações matemáticas - frequentemente adotavam-se simplificações em diversos níveis e empregavam-se expressões empíricas. Posteriormente, houve uma notável evolução dos métodos matemáticos adotados na engenharia química, decorrentes do estudo aprofundado e experimental da *termodinâmica*, dos *fenômenos de transporte* e da *teoria de controle de processos* (atualmente denominada de *dinâmica de processos*). As grandes especialidades genéricas dos engenheiros químicos foram no Século XX a *engenharia de processo* e a *engenharia de projeto*, aplicáveis a todos os segmentos tecnológicos químicos. A engenharia química evoluiu muito com o aporte de recursos da informática e das telecomunicações. Foi possível otimizar a operação de sistemas de pequeno, médio, grande porte ou escala industrial, usinas e terminais de abastecimento à distância, empregando-se equipamentos e instrumentos de sensoramento e controle remoto. Os recursos da informática associados às habilidades geradas pelos métodos numéricos provocaram uma evolução na formação dos engenheiros químicos (Fig. 1) e produziu uma *engenharia química avançada*.



**Figura 1 - Os componentes fundamentais das Engenharias Químicas Clássica e Avançada**

A principal consequência dessa evolução foi o desenvolvimento de uma nova especialidade: a *engenharia de processos químicos*, a qual, segundo Perlingeiro (2000), começou a se esboçar no final da década de 60, pela necessidade de se aprimorar os processos fabris a partir da sua própria concepção estrutural, e não mais apenas pelo aprimoramento dos equipamentos. Passaram a receber um tratamento sistemático as seguintes questões, antes tratadas de forma intuitiva (ou empírica): 1<sup>a</sup> - a interdependência dos equipamentos; 2<sup>a</sup> - a seleção de arranjos alternativos para uma mesma operação; e, 3<sup>a</sup> - os diferentes arranjos possíveis de equipamentos num mesmo processo global. A engenharia química sempre esteve intrinsecamente ligada aos processos químicos industriais, pois cabia-lhe, por natureza, projetar e desenvolver instalações fabris, no seu conjunto e nos seus componentes. Admitindo que os conceitos e princípios da *engenharia de processos químicos* sejam aplicáveis às demais especialidades da Engenharia e da Química, cabe-nos delinear suas premissas, objetivos, ferramentas e recursos para que outros profissionais da Química possam estabelecer pontes de raciocínio e absorver os conhecimentos desejáveis.

## **2. CONCEITOS DE ENGENHARIA QUÍMICA ADOTADOS NO BRASIL E EUA**

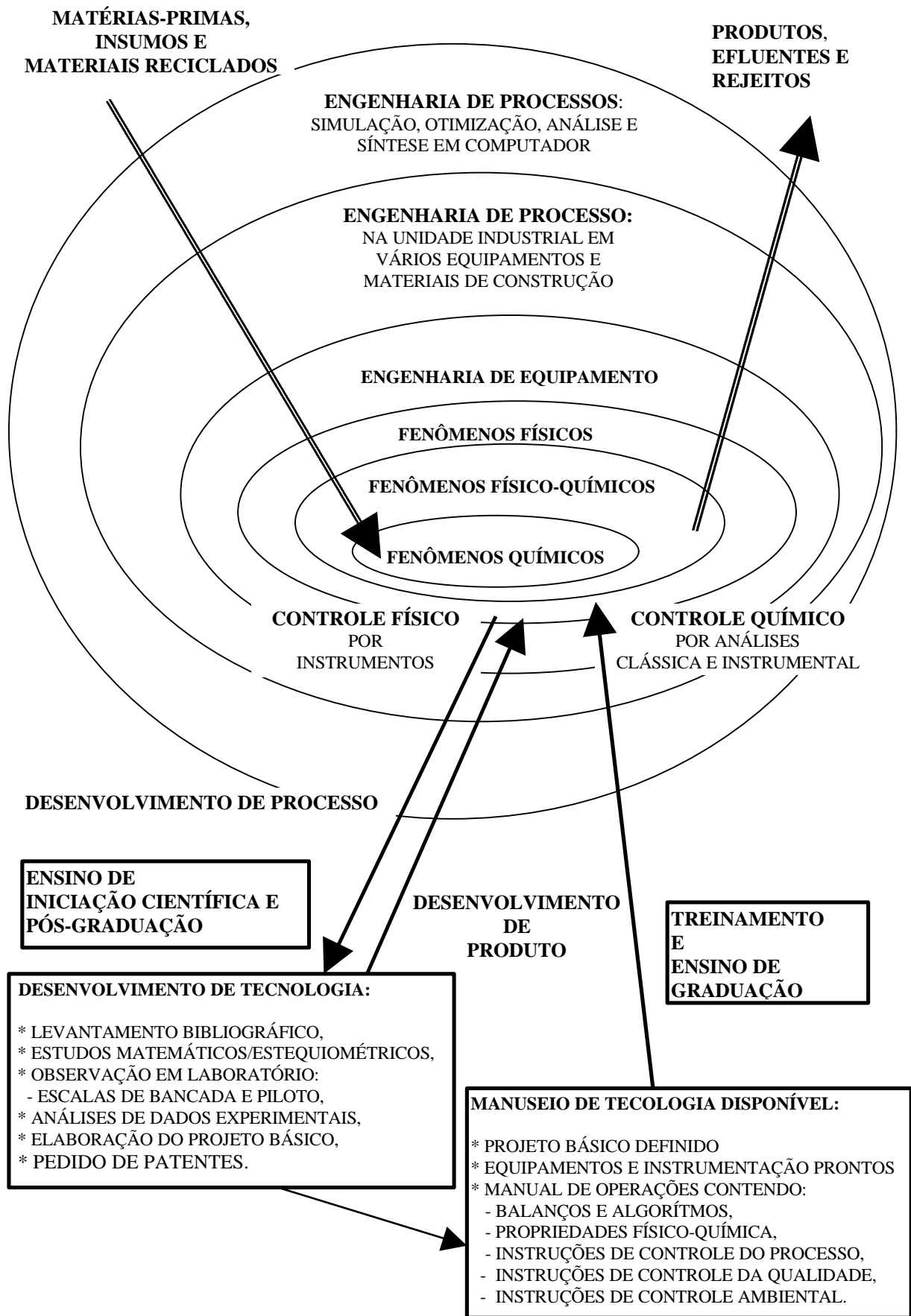
O Código de Ética do Conselho Federal de Química, com adaptações de Arcuri, adotou a definição: “ a Engenharia Química é a soma de conhecimentos que permite a promoção e o domínio dos fenômenos que regem as leis naturais, com a ajuda das ciências matemáticas, físicas, químicas e físico-químicas, visando a transformação da matéria, aplicados em conjunto com os da ergonomia, para sistemático usufruto e benefício do homem, favorecendo o progresso da humanidade” (Kachan, Tobinaga e Nascimento, 1988).

A *Engenharia Química* é definida nos EUA " ... a aplicação dos princípios das ciências físicas, juntamente com os princípios da economia e das relações humanas, aos campos que são diretamente pertinentes aos processos e aos equipamentos de processos nos quais se tratam substâncias, visando a provocar modificações de estado, de energia ou de composição..." (Constitution of the American Institute of Chemical Engineers - citado por Foust, Wenzel, Clump, Maus, Andersen, 1980). Esses autores declararam que "tal definição, é bastante vaga e intencionalmente ampla e indefinida, e realça o processo e os equipamentos de processo e, conseqüentemente, o trabalho de muitos engenheiros químicos seria denominado, com maior propriedade, de *engenharia de processo*". Neste sentido, *a atuação de engenheiros de processo poderia corresponder a de químicos industriais avançados* possuidores de conhecimentos amplos de fenômenos de transporte, operações unitárias, modelagem e simulação computacional de processos, graduados em cinco anos - isto é, com formação equivalente à dos engenheiros químicos plenos.

Segundo Perlingeiro (2000), "*a Engenharia Química trata das instalações cuja finalidade é transformar substâncias em outras de interesse industrial*. Essa transformação é normalmente complexa e pode exigir várias etapas. O conjunto das etapas constitui o **processo**, cujos projeto e operação são de atribuição do engenheiro químico. Cada **etapa** é conduzida em um ou mais equipamentos em cujo interior são provocados fenômenos tais como reação química, absorção, adsorção, evaporação, condensação, compressão, expansão, aquecimento, resfriamento e muitos outros." Ele considera, ainda, que "os conhecimentos pertinentes à Engenharia Química podem ser reunidos em quatro níveis interdependentes: 1º - as **ciências básicas** - (Física, Química, Bioquímica, Físico-Química), que tratam da descrição e da quantificação dos fenômenos naturais através da Matemática; 2º - os **fundamentos**, ligados à compreensão e à representação dos fenômenos que se passam nos equipamentos; 3º - a **engenharia de equipamentos**, que trata da concepção, do dimensionamento e da análise dos equipamentos da indústria química, e 4º - a **engenharia de processos**, que compreende a concepção, o dimensionamento e a análise dos processos industriais. Esta visão foi incorporada na Fig. 2, que inclui os níveis de envolvimento teórico e prático de uma planta ou unidade industrial de processo e das especialidades de engenharia química relacionadas com uma tecnologia química. A Fig. 3 apresenta uma visão integrada das etapas de geração, desenvolvimento e implantação de uma tecnologia química a nível de planta industrial. É importante notar que *um processo químico fabril ou de interesse público (tratamentos de resíduos ou despejos) nasce de idéias ou necessidades, que se concretiza através da realização de ensaios ou experimentos laboratoriais, que irão resultar num fluxograma de processo que irá sofrer ampliação para a escala piloto ou industrial*.

### 3. AS ENGENHARIAS DE PROCESSO E DE PROJETO E SEUS COMPONENTES

Um *pacote tecnológico* é o conjunto de informações e documentação emitidos por uma empresa detentora da tecnologia (licenciador) de uma unidade de processo, preferencialmente, restrito ao que se denomina "projeto de processo". O *projeto básico* é o conjunto de dados, informações técnicas e documentos que compõem o *projeto de processo*, o qual inclui os conhecimentos tecnológicos, e a *engenharia básica*, a qual instrue a execução do projeto de detalhamento e a operação das instalações (Fig. 4). O *projeto de detalhamento* é o conjunto de documentos de engenharia que regem a fase executiva do empreendimento, elaborados a partir do projeto básico, para possibilitar a compra de equipamentos e materiais e a instruir a construção e montagem eletromecânica do complexo industrial (Simas e Legey, 1983).



**Figura 2 - Integração das engenharias de equipamento, processo e processos químicos**  
(adaptado de Zakon (1992) e Perlingeiro (1997/1998))

<b>ETAPAS PARA GERAR E IMPLANTAR UMA UNIDADE QUÍMICA INDUSTRIAL</b>	<b>QUANTIDADES ENVOLVIDAS</b>	<b>TIPOS DE APARELHOS OU EQUIPAMENTOS</b>	<b>ESPAÇO FÍSICO CABÍVEL</b>	<b>OBJETIVOS VISADOS EM CADA ETAPA</b>	<b>DISCIPLINAS E/OU ESPECIALIDADES PREDOMINANTES</b>
<i>idéia/objetivo e concepção inicial</i> ↓				transformar matérias-primas em produtos	químicas teórica, aplicada e analítica, termodinâmica química, cinética química
<i>pesquisa de laboratório</i> ↓	gramas, mililitros	multipropósito convencional: vidrarias, cadinhos	uma bancada	executar as reações químicas, analisar reagentes e produtos	químicas teórica, aplicada e analítica, termodinâmica química, cinética química
<i>desenvolvimento em unidade de bancada</i>	gramas, mililitros	multipropósito convencional: vidrarias, cadinhos	uma bancada	executar as reações químicas, analisar reagentes e produtos	químicas teórica, aplicada e analítica, termodinâmica química, cinética química
<i>desenvolvimento numa planta piloto</i> ↓	quilogramas, litros	reator ou forno, ou fermentador ou modelo ou protótipo	um salão ou galpão	simular uma planta, definir tratamentos de matérias-primas, produtos e rejeitos, otimizar processos, avaliar propriedades de desempenho dos reagentes e produtos,	químicas teórica, aplicada e analítica, termodinâmica química, cinética química, operações unitárias, fenômenos de transporte, instrumentação
<b>tecnologia química</b>	<i>(as etapas seguintes referem-se à escala industrial)</i>				
<i>engenharia básica</i> ↓	toneladas, metros cúbicos	equipamentos projetados ou de linha	terreno amplo, edifícios	gerar instruções para execução do projeto de detalhamento e para a operação das instalações	química aplicada termodinâmica química, cinética química, operações unitárias, cálculo de reatores, instrumentação
<i>engenharia (ou projeto) de detalhamento</i> ↓				gerar documentos para compra de equipamentos e materiais e para instruir a execução das obras	gerência de obras, engenharia mecânica, projeto de tubulações, instrumentação, engenharia elétrica, engenharia civil
<i>a obra</i> ↓				construção-montagem, e pré-operação	
<i>operação e produção</i> ↓				produzir para vender	
<i>sistema de garantia da qualidade</i>				criar ou atualizar especificações de matérias-primas, produtos e embalagens	químicas teórica, aplicada e analítica

**Figura 3 – Geração e desenvolvimento de uma tecnologia química até a sua implementação (Zakon e Milfont, 1992)**

**PROJETO DE UMA UNIDADE QUÍMICA INDUSTRIAL** = projeto + projeto de  
básico detalhamento

**Projeto básico** \* = projeto de processo + engenharia básica  
(tecnologia química) (instruções de compra)

**Projeto de detalhamento** \*\* = reatores, + construção + montagem + pré-operação  
equipamentos civil elétrica e e testes  
e materiais mecânica

\* é executado pelo licenciador

\*\* é executado no local pelos licenciados ou compradores

**Engenharia de processo** = responsável pelo projeto básico

**Engenharia de projeto** = responsável pelo projeto global da unidade industrial

**Figura 4 - Tipos de projetos para uma planta química** (adaptado de Simas e Legey, 1983)

A fase de **engenharia básica** é aquela na qual as dimensões principais dos equipamentos, bem como os fluxogramas, *lay-out*, materiais de construção e equipamentos de reserva são determinados. Implica, ainda, na descrição dos processos, comportamento físico-químico dos reagentes, rendimentos, especificações das matérias-primas, produtos e sub-produtos, detalhes sobre as condições do processo (temperaturas, pressões, tempos de reação, etc), balanço de massa e de energia, sistemas de segurança e problemas de poluição, sistemas de controle de processos. Como se vê, o **projeto básico** é o conjunto de conhecimentos técnico-científicos determinados pela experiência e pela investigação. Esta pode abordar aspectos diversos relacionados com a engenharia básica: novos usos de materiais de construção e novos tipos de solda ou técnicas de soldagem, proteção à corrosão e seus aspectos científicos, novos desenhos de equipamentos; catalisadores; novas alternativas de matérias-primas; modificações na **engenharia de processo** (rendimentos, novos reagentes, sistemas de controle, etc) (adaptado de Wasserman, Mansur, Weinberg, Trindade e França, 1976). Na implantação de unidades ou complexos industriais, as profissões de engenharia envolvidas no projeto de detalhamento envolvem as especialidades mecânica, civil, tubulações, elétrica e manutenção. No caso específico das indústrias químicas, uma especialidade adicional completa o mosaico da engenharia de projeto: a **engenharia de processo**, responsável pelo projeto básico das diversas unidades (ou diversas etapas de operações unitárias e conversões químicas) que compõem uma unidade ou complexo industrial. A **engenharia de detalhamento** realiza os dimensionamentos, cálculos e desenhos nos detalhes mínimos para a fabricação e para especificações de compras e serviços de montagem. Inclui determinação de flanges, portas de visita, suportes, soldas, estruturas, tubulações, projetos de fundações, drenagem, projeto de eletricidade, sistemas de segurança, etc (adaptado de Simas e Legey, 1983). A implantação de um pacote tecnológico é atribuída, geralmente, a uma firma de engenharia. Neste caso, todas as responsabilidades pela execução do empreendimento recaem sobre a firma de engenharia, compreendendo planejamento global, seleção de “know-how”, orçamento e controle de custos, projeto, contratação e coordenação de fornecedores e firmas de construção e assistência na partida e operação inicial. A firma de engenharia age como representante de um cliente industrial e conduz o empreendimento desde as definições iniciais até a entrega da unidade ou complexo industrial em operação normal (adaptado de Queiroz, Cezimbra e Siffert, 1966).

Uma fábrica pode ser de pequeno, médio e grande porte. Três ordens de grandeza das instalações fabris químicas são apresentados na Tabela 1:

**Tabela 1 - Níveis de complexidade das plantas de processo químico**

<p><b><i>PLANTA OU UNIDADE INDUSTRIAL DE PROCESSO</i></b></p>	<p>É o conjunto de equipamentos e instrumentos de controle de processo que visa tratar ou produzir um ou mais produtos químicos. Pode ser uma unidade industrial de processo para tratamento físico, químico ou de fabricação de algum produto químico.</p>
<p><b><i>FÁBRICA OU INDÚSTRIA</i></b></p>	<p>É o conjunto de equipamentos e instrumentos de controle de processo que visam produzir um ou mais produtos químicos ou artefatos. Pode conter uma ou mais plantas de processo e laboratórios de controle químico da qualidade e unidades auxiliares.</p>
<p><b><i>COMPLEXO INDUSTRIAL</i></b></p>	<p>É o conjunto de fábricas cativas ou interligadas que poderiam subsistir independentemente, acrescido de sistemas de utilidades e instalações auxiliares: laboratórios, administração, manutenção, garagens, vestiários e refeitório.</p>

Os projetos acima completam-se com o projeto de um sistema de controle químico da qualidade de matérias-primas, produtos e rejeitos. A interação convencional das engenharias químicas de processo e projeto básico e de detalhamento está representada na Fig. 3. Há alguns anos admitia-se que *a engenharia química (e a química industrial) inicia-se num laboratório de pesquisas e completa-se num laboratório de controle químico da qualidade* (Zakon, Dweck, Mandarin, Mascarenhas, 1983). Hoje, tal premissa complementa-se com a existência da *engenharia de processos químicos*. Assim, entende-se que “cada unidade industrial de processo químico produzido pela *engenharia de processo* (desde a pesquisa até o controle da qualidade de produto(s)) representa um estratagema preliminar que pode constituir um ponto de partida para a *engenharia de processos químicos*”. Ou seja, a *engenharia química de processo* (ou a *química industrial*) fornece subsídios para a “*engenharia de processos químicos*” desenvolver uma otimização das instalações ou selecionar, dentre várias, a melhor rota tecnológica para fabricação de um produto químico.

#### **4. FUNDAMENTOS E RECURSOS DA ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS**

Uma das primeiras definições da “engenharia de processos (químicos)” foi apresentada por d’Ávila (1982): *a Engenharia de Processos pode ser definida, de uma forma ampla, como criação e qualificação (ou análise) de esquemas dos processos constituintes de uma planta química, visando a máxima economicidade, facilidade de operação e segurança. A Engenharia de Processos compreende três áreas principais, a saber: (1) Desenvolvimento de Processos; (2) Projeto de processos; (3) Aperfeiçoamento de Processos. A Engenharia de Processos não é uma mera atividade de manipulação de dados existentes na literatura ou adquiridos de um fornecedor de tecnologia, pois exige de seus profissionais muita criatividade para encontrar a solução ótima de todos os tipos de problemas técnicos. O pessoal envolvido em Engenharia de Processos deve possuir além de um aguçado senso prático, uma boa dose de coragem, pois é sua obrigação propor inovações continuamente. Modernamente, a Engenharia de Processos está embasada em duas grandes atividades: a*

*pesquisa e o projeto por computador. Resultados de pesquisa são particularmente importantes no Desenvolvimento e Aperfeiçoamento de Processos, neste último caso em menor grau. As atividades de pesquisa são realizadas em escalas variadas desde o laboratório até o piloto, envolvendo equipes da indústria, centros de pesquisa associados ou externos, e a universidade. Portanto, a Engenharia de Processos pressupõe a existência, não apenas de centros de P & D industriais, mas também de um verdadeiro sistema (integrado) de ciência e tecnologia a nível nacional, para que seus resultados sejam satisfatórios. O uso do computador, nos dias de hoje, permeia todas as atividades de engenharia de processos. Para se implantar a Engenharia de Processos em bases sólidas no Brasil, é necessário que se tenha massa crítica de pessoal especializado em várias áreas de Engenharia Química, algumas das quais somos extremamente carentes como aquelas indicadas na Tabela 2.*

**Tabela 2 - Aplicações a Engenharia de Processos: Áreas Carentes no Brasil**  
(d'Ávila, 1982)

<b>ÁREAS LABORATORIAIS</b>	<b>ÁREAS DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinação de propriedades físicas</li> <li>- Determinação e predição de propriedades termodinâmicas e de transporte de componentes puros</li> <li>- Equilíbrio de fase (líquido-vapor e líquido-líquido)</li> <li>- Desenvolvimento de catalisadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cinética e análise de reatores químicos</li> <li>- Simulação de componentes de processos</li> <li>- Simulação de processos</li> <li>- Síntese de processos</li> <li>- Controle de processos</li> <li>- Análise energética de sistemas</li> </ul>

*Nas equipes de Engenharia de Processos é fundamental que existam profissionais com vivência profissional. Esses profissionais necessitarão de um treinamento de caráter profissional, para colocá-los em dia com as novas técnicas de pesquisa, projeto e computação, com as quais certamente não pode ter contato enquanto envolvido nas tarefas rotineiras anteriores. Além disso, os engenheiros mais novos, mesmo com mestrado, necessitam se submeter a treinamento adicional, de forma periódica, dentro de um processo que se convencionou chamar de “educação continuada”. As universidades devem modernizar seus currícula, de modo a (1) oferecer um ensino com firme base científica (ensino de fundamentos), a fim de permitir que floresça a criatividade; (2) ministrar uma formação ampla, em contraposição à informação específica de grande parte dos currícula existentes; (3) na medida do possível, incorporando técnicas avançadas de ensino, generalizar o uso do computador e utilizar intensivamente laboratório de Engenharia Química.*

## **5. OS CRITÉRIOS E CONCEITOS DA ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS**

A Figura 4 apresenta a distribuição de enfoques da **engenharia de processos químicos**. As necessidades industriais e as mudanças mundiais (inclusive comportamentais) estão evoluindo movidas pelas seguintes forças motrizes: (a) dinâmica do mercado; (b) competição globalizada; (c) progressos tecnológicos; e (d) aporte de novas restrições na legislação ambiental. Assim, surgem mudanças na pesquisa, desenvolvimento, dimensionamento e produção, nas ferramentas e ambientes que os pesquisadores/engenheiros necessitam para assumir essas novas responsabilidades.

A criação de um sistema fabril (ou unidade de processo químico industrial) pode ser



considerada como um problema de projeto, cuja resolução consiste em: (1<sup>o</sup>) escolher **um elemento operacional para executar cada tarefa**; (2<sup>o</sup>) escolher a **estrutura** do sistema, isto é, a sequência e a forma de interligação entre seus componentes; e (3<sup>o</sup>) prever e avaliar o **desempenho** do sistema. As duas primeiras atividades constituem as etapas de **síntese do sistema** e a terceira a **análise do sistema** (adaptado de Perlingeiro, 2000).

A **síntese** é a etapa criativa do projeto. A **síntese de um processo** consiste na seleção dos equipamentos e na definição do fluxograma (Perlingeiro, 1997/1998). *A síntese do processo significa, semânticamente, o mesmo que engenharia de processo.* A etapa de **avaliação** constitui o ato de determinar um valor e tem como objetivo a tomada de decisão consciente, que, ao decidir realizar um investimento, não se deixa conduzir pelo empirismo mas, sim, se apoia em critérios de estrita racionalidade. Segundo Perlingeiro (2000), a avaliação é realizada calculando-se um índice de mérito, normalmente de natureza econômica, que é função das variáveis principais do sistema. No caso dos processos, o índice de mérito natural é uma função tipo lucro ou custo. Com as dimensões dos equipamentos pode-se estimar os custos do investimento. Com as demais variáveis, obtém-se a receita e os custos de produção. Assim, entende-se a **engenharia de processos químicos** como uma atividade criativa, onde geram-se idéias que são transformadas/concretizadas sob a forma de conjuntos de equipamentos e processos para produzir (antigos) e novos materiais ou para agregar maior valor econômico para produtos existentes. *A engenharia de processos químicos parte dos resultados laboratoriais para gerar várias hipóteses de fluxogramas de processo. Pode também utilizar como estratégia preliminar um fluxograma de processo decorrente da pesquisa laboratorial, mas não depende desta concepção para ser desenvolvida.*

## 6. ASPECTOS DA TRANSIÇÃO DE ESTADOS DA ENGENHARIA QUÍMICA

A mudança de critérios, recursos e hábitos envolve um dispêndio entrópico. Em termos profissionais e institucionais, há que se considerar as seguintes questões:

1<sup>o</sup> - Antigamente, entendia-se a atividade de "projeto de processo," relacionado com "uma unidade de processo químico industrial ou fábrica", concebido dentro de uma coerência experimental (operacional ou laboratorial) que não podia ser inventada, simulada ou sintetizada a partir apenas de simples balanços de massa e energia ou hipóteses de gabinete.

2<sup>o</sup> - A **engenharia de processo** englobava a formulação e resolução numérica de modelos matemáticos dos equipamentos de operações unitárias nas seguintes etapas: 1<sup>a</sup> - **fundamentos** - compreensão dos fenômenos físico-químicos no interior dos equipamentos; 2<sup>a</sup> - **projeto de equipamentos** - concepção de novos equipamentos e aperfeiçoamento de equipamentos existentes para operar no ponto ótimo (mínimo de custo e máximo de eficiência).

3<sup>o</sup> - A atividade global de se "projetar um processo químico industrial ou uma sequência de processos físicos e químicos" envolve, ainda, um conjunto de tarefas menores que não cabem numa só disciplina.

4<sup>o</sup> - O título "projeto de processos" criou uma ilusão de que idéias abstratas e um conjunto de procedimentos matemáticos e computacionais poderiam gerar uma indústria química, devido à inexistência de uma clareza maior quanto a utilização dos estratégias preliminares, razão motivadora da presente abordagem.

## 7. CONCLUSÕES

1<sup>a</sup> - A **engenharia de processos químicos industriais** pode partir de (a) "estratégias preliminares", constituídos por **diagramas ou fluxogramas de processo gerados em escalas de bancada e piloto** (com vistas à elaboração do equivalente fabril); (b) **rotas e instalações**

*industriais implantadas e em operação rotineira*, oriundos da tradicional *engenharia de processo*; e, (c) *dados laboratoriais para gerar diferentes fluxogramas de processo para serem analisados através de recursos computacionais adequados*.

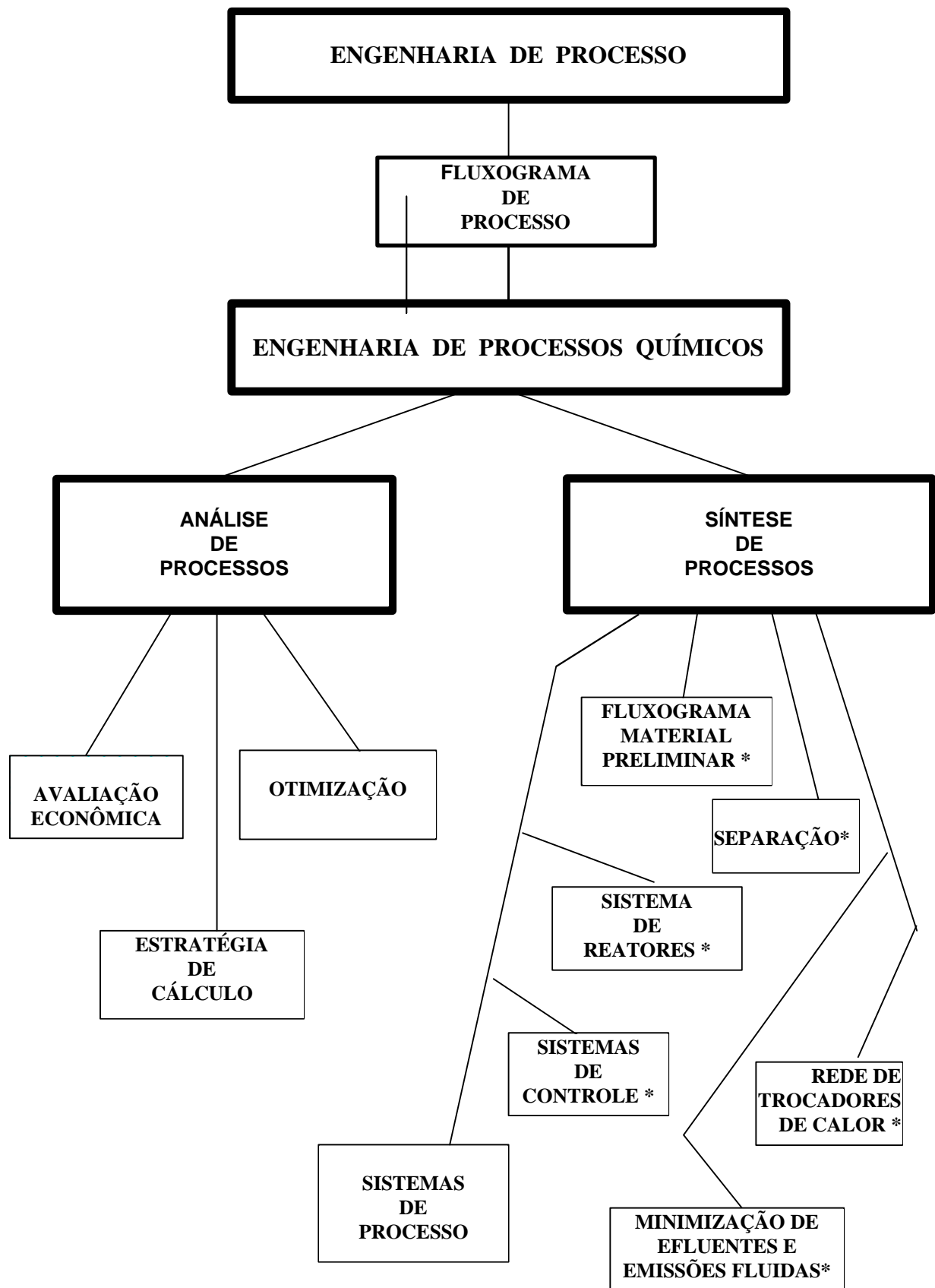
2<sup>a</sup> - A atividade avançada de *projeto de processos* das novas tecnologias químicas engloba os seguintes referenciais: 1<sup>o</sup> - os processos do ponto de vista "sistema"; 2<sup>o</sup> - a engenharia de processo tradicional (item anterior); 3<sup>o</sup> - técnicas de inteligência artificial (IA) de natureza lógica, e 4<sup>o</sup> - técnicas de engenharia de sistemas de natureza computacional.

3<sup>a</sup> - "*O projeto de processos é o conjunto de atividades que incluem a concepção, o dimensionamento e a avaliação do processo para obter um produto desejado embasado pela pesquisa e projeto com o uso de computadores*". As etapas de um *projeto de processos* incluem: (a) definir o objetivo em função da necessidade do mercado; (b) obter dados, reunindo os fatores relevantes; (c) efetuar a síntese de processo; (d) efetuar a análise de processos. É o campo tecnológico e acadêmico relacionado com metodologias para a tomada de decisões na engenharia sobre planejar, dimensionar, operar e controlar processos químicos.

**Agradecimentos:** Prof. Emérito Carlos Augusto Guimarães Perlingeiro, pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

- d'ÁVILA, S.G. - Ensino de Engenharia Química no Brasil: Uma Avaliação Preliminar Quantitativa - e - Ensino de Engenharia Química - Anais do I Encontro Brasileiro Sobre o Ensino de Engenharia Química, 12-13/novembro/1981, Campinas, SP, e do II Enc. Bras. Ens. Eng. Química, 25-27/julho/1988, páginas 1 a 7 e 8-38.
- FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B. - Princípios das Operações Unitárias, Segunda edição - Prefácio à primeira edição, p. 1 até 8, p. 369, Traduzido por Horácio Macedo, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1982, Original em Inglês: Principles of Unit Operations, 1960,1980 by John Wiley & Sons, Inc..
- KACHAN, G.C.; TOBINAGA, S. e NASCIMENTO, C.A.O. - Avaliação do Ensino da Engenharia Química - Anais do I Enc. Bras. Ens. Eng. Química, 12-13/novembro/1981, Campinas, SP, e do II Enc. Bras. Ens. Eng. Química, 25-27/julho/1988, São Paulo, SP, páginas 28-34.
- PERLINGEIRO, C.A.G. - Engenharia de Processos - Apostila, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Março de 2000.
- PERLINGEIRO, C.A.G - Engenharia de Processos: Complemento Indispensável à Formação do Engenheiro Químico - *Rev. Bras. de Engenharia Química*, 17(4):10-15 (1997/1998).
- QUEIROZ, J.C.B.; CEZIMBRA, M.C.P. e SIFFERT, C.M. - Engenharia de Projetos - in: VI Seminário - "A Indústria Nacional e sua Participação na Indústria do Petróleo e Petroquímica", Instituto Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro, 1966.
- SIMAS, A. C. L. e LEGEY, J. C. L. - Tecnologia e Engenharia - Uma Experiência Brasileira - in: Seminário " O desenvolvimento dos Projetos na Indústria Química Brasileira", Instituto de Engenharia, São Paulo, 1983.
- ZAKON, A.; DWECK, J.; MANDARINO, N.D.; MASCARENHAS, B.J.G. - Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico - Ensino de Processos Inorgânicos da Escola de Química da UFRJ - *Revista de Ensino de Engenharia*, 2(2):141-145, 1983.
- ZAKON, A.; MILFONT Jr., W.N. - A essencialidade do ensino tecnológico na formação do Engenheiro Químico - *Rev. de Química Industrial*, Edição Científica, II (2);6-14 (1992).
- ZAKON, A. - Campos de Atuação do Engenheiro Químico e Mercado de Trabalho - I Congr. Regional dos Estudantes de Engenharia Química da II Região - Rio de Janeiro, Espírito Santo e Lorena/SP, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1992.



\* ENVOLVE ETAPAS DE ANÁLISE DE PROCESSOS

**Figura 4 - Distribuição de enfoques da engenharia de processos químicos.**