

J. PEREIRA CARDOSO

CLEMENTE PEDRO NUNES

JOÃO DE DEUS S. PINHEIRO

M. MANUELA P. S. PINHEIRO

Chemical Engineering Department  
The University of Birmingham  
Edgbaston, Birmingham B15 2TT  
U. K.



# CONTRIBUIÇÃO PARA A REFORMA DO ENSINO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM PORTUGAL <sup>(1)</sup>

*Discutem-se os objectivos a atingir na formação do engenheiro químico por uma análise dos campos de actividade e funções que definem a profissão. Procura-se, seguidamente, avaliar a importância de certos aspectos relevantes na formação, como o treino profissional, educação permanente e especialização, perspectivando-os em contexto universitário e nacional. Propõe-se um currículo detalhado para um curso universitário de 4 anos, prevendo-se a instituição de cursos de pós-graduação eventualmente conducentes a um grau académico. Para cada disciplina proposta, para além da enunciação dos principais tópicos envolvidos, indica-se, também, a ordem de grandeza do número de horas de contacto docente-discente. Pontos salientes do currículo ora sugerido são também a introdução de matérias de engenharia química no 1.º ano do curso, a aplicação mais dirigida das ciências básicas, a larga utilização da matemática e métodos computacionais e a ênfase destacada no trabalho experimental e de projecto. Ao longo do presente trabalho põe-se, também, em evidência a necessidade de se instituírem mecanismos de consulta e grupos de coordenação envolvendo a Universidade, a Indústria, o Governo e, muito em especial, a Associação Profissional de Classe.*

## I — INTRODUÇÃO

Resulta o presente trabalho da reflexão conjunta de um grupo de engenheiros químicos, bolseiros em Inglaterra, sobre o ensino (e a aprendizagem) de engenharia química em Portugal, suas metas e constrangimentos, seus dados e variáveis.

O tópico é imenso. Basta retirar sucessivamente uma palavra ao tema do trabalho, obtendo-se «ensino de engenharia química», «ensino de engenharia» e «ensino» para se verificar que a problemática em questão ultrapassa largamente o âmbito mais restrito de uma forma curricular ou de uma reestruturação departamental, embora necessariamente as implique.

A generalização pode ser levada mais longe e chegar à relação biunívoca ensino-sociedade que envolvendo um número de dimensões tendente para infinito fornece, contudo, em última instância, o enquadramento primário para um trabalho deste género: «o ensino (de engenharia química) como qualquer outra actividade deve estar ao serviço da sociedade».

Esta noção de serviço, no caso de uma actividade como a engenharia química, é frequentemente traduzida pela afirmação de que «o engenheiro químico deve ser apto e eficiente. Só assim serve a sociedade». Como tal a afirmação não oferece contestação mas, infelizmente, nem sempre é indicado o que se deve entender por aptidão ou eficiência e, mais raramente ainda, quais os meios a usar no sentido de melhorar a formação dos profissionais em causa.

Com o presente trabalho pretende-se exactamente contribuir para a explicitação dos objectivos a

(<sup>1</sup>) Presented at CHEMPOR' 75 held in Lisbon, 7-12 September 1975 at the Calouste Gulbenkian Foundation Center.

Papers presented at this International Chemical Engineering Conference can be purchased directly from Revista Portuguesa de Química (Instituto Superior Técnico, Lisboa 1, Portugal) at the following prices per volume sent by surface mail, postage included (in Portuguese Escudos):

Whole set	500
Transport processes	200
Reaction engineering	150
Environmental engineering	150
Management studies	150

This paper was presented at the Management studies section.

atingir na formação de engenheiros químicos e dos meios para atingir esses objectivos em Portugal, em especial (mas não só) no que respeita ao currículo universitário.

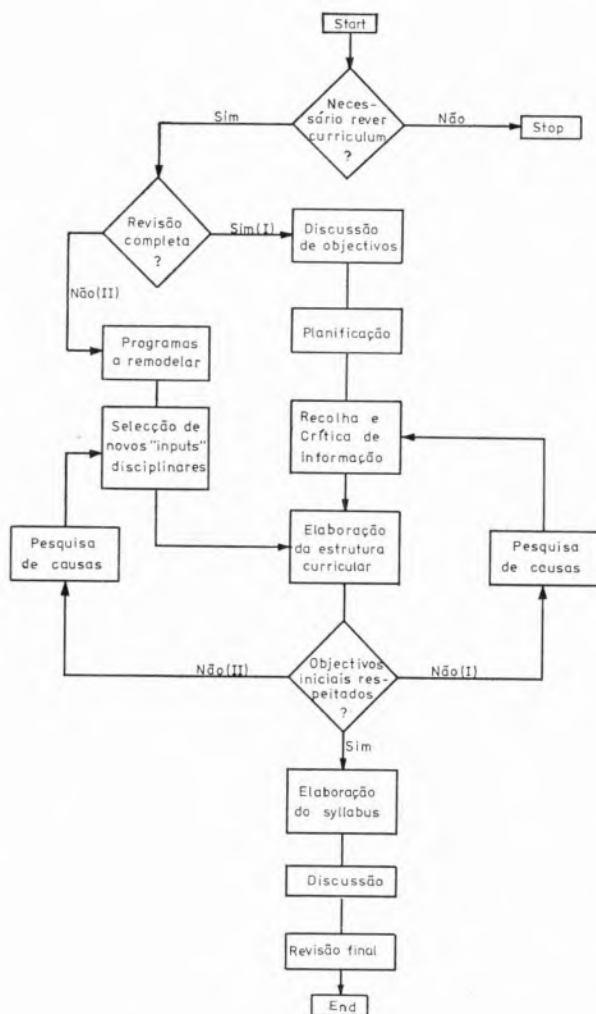


Fig. 1  
Diagrama da revisão curricular

É, contudo, importante que desde já fique claro que uma definição correcta de objectivos e meios envolve necessariamente a contribuição de todos os interesses afins — Indústria, Governo e Associação Profissional de Classe — que não somente o corpo universitário.

A metodologia que presidiu à elaboração deste trabalho está sumarizada no diagrama da fig. 1.

## 2 — O QUE É UM ENGENHEIRO QUÍMICO

«Que é um engenheiro químico?» — é sem dúvida a primeira questão que se põe a quem pretenda analisar a formação de engenheiros químicos. A resposta contudo não é linear como o atestam as actas de inúmeras reuniões internacionais em que se tem debatido o espaço de engenharia química, i.e., as actividades e atitude que têm uma correspondência biunívoca com a profissão [1-7]. E mesmo as definições propostas são tão diversas e genéricas que virtualmente não definem, de facto, a essência da profissão.

Torna-se pois necessário fazer uma excursão, ainda que necessariamente breve, pelo tópico.

### 2.1 — EVOLUÇÃO DA ENGENHARIA QUÍMICA

Embora se argumente que a profissão remonta à idade do bronze, o nascimento, como ramo de engenharia, com o nome que hoje tem, situa-se por alturas do princípio deste século. O curso era dado a nível de pós-graduação e visava cobrir o vácuo entre a química pura e a engenharia mecânica numa base interdisciplinar, sem contudo implicar qualquer disciplina própria [7,8]. As matérias curriculares foram entretanto evoluindo, como evoluindo foi o campo de acção — e o perfil — do engenheiro químico.

Porém, só por alturas da II Guerra Mundial com o aparecimento das grandes indústrias químicas e petroquímicas, e principalmente com o desenvolvimento concomitante de um corpo de conceitos próprios — operações unitárias, «flowsheet» —, o curso de engenharia química ganhou a sua personalidade própria e o reconhecimento como ramo de engenharia independente [7,8].

Nas duas décadas seguintes o desenvolvimento da profissão e do ensino centrou-se em torno do conceito de operação unitária, quer pelo aprofundamento de cada operação, quer pela síntese de processo químico conseguida com base no «flowsheet» via balanços mássicos e energéticos, tudo orientado para a optimização do processo.

Na última década — que hoje vivemos — as «ferramentas» do engenheiro químico sofreram nova mutação devido à expansão de técnicas e equipamento computacional que não só permitem um grau

apreciável de standardização no projecto (englobando mesmo termos de perturbação) como facilitam a utilização crescente de «bancos de informação» ou o emprego de sistemas de controle altamente sofisticados, bem como a solução de problemas primitivamente intratáveis [7-10].

Uma das consequências da aplicação de novas técnicas e ciências à engenharia, bem como o desenvolvimento que as próprias disciplinas de engenharia têm tido, foi a eventual «especialização» em zonas de interesse diversas como «ciências de engenharia química», «desenvolvimento do processo», «sistemas», «controle», etc., cada um já com um apreciável corpo de conceitos e áreas de aplicação.

## 2.2 — ÁREAS DE ACTIVIDADE

Da mesma forma que é corrente a distinção entre ciências fundamentais e ciências da especialidade, é conveniente distinguir no campo tecnológico dois tipos de tecnologias: Tecnologias Primárias, que fornecem uma disciplina mental e um tipo de conhe-

cimentos profissionais que servem um grupo numeroso de áreas de actividade, e Tecnologias Secundárias, próprias de uma determinada indústria ou sector (borracha, vidro, cerâmica, alimentação...) e cujo número — com interesse para o engenheiro químico — tem vindo a aumentar incessantemente.

A análise dos quadros I e II mostra, aliás claramente, que as áreas de actividade do engenheiro químico e as Tecnologias Secundárias que utiliza são de tal forma diversificadas que não é possível caracterizar a profissão de engenheiro químico através delas.

Convirá, por outro lado, referir que a disseminação dos campos de interesse do engenheiro químico encontra a sua justificação na formação básica não especializada em Tecnologias Secundárias e na proveitosa aplicação dos conceitos de optimização e «flowsheet» a processos não convencionais, frequentemente de índole interdisciplinar [5,8,11-13].

Parece pois desaconselhável retirar a ênfase nas Tecnologias Primárias que tem caracterizado o currículo universitário e que se associem mais directamente ao tipo de actividade funcional do engenheiro químico.

Quadro 1

*Áreas de emprego após a formatura, no Reino Unido [12, 13]*

Sector	Distribuição (%)				
	1953	1963	1969	1971	1972
— Indústria Química Pesada (Orgânica e Inorgânica)	18,0	23,7	21,1	6,4	7,0
— Indústria Química Fina (Perfumarias, Farmácia...)	9,0	9,7	7,3	4,6	2,1
— Resinas, Sintéticos, Plásticos	5,7	4,9	4,5	2,0	1,4
— Alimentação, Tabaco, Bebidas	3,7	2,5	1,9	4,6	3,9
— Têxteis	2,2	3,5	3,1	3,1	3,9
— Cimento, Vidro, Refractários, Mineração (não carbonífera)	3,5	4,4	0,4	2,1	2,1
— Papel, Pasta, Aglomerados	1,5	0,6	1,7	0,4	0,1
— Petróleo, Carvão	13,6	16,6	7,1	7,6	3,4
— Gás, Energia, Águas	10,9	6,7	5,4	6,8	1,0
— Instrumentação, Controle, Construção de Equipamento, Consultor Técnico	20,8	15,5	15,3	10,3	4,3
— Ensino e Investigação	10*	10*	25,9	30,2	19,9
— Outros	1,1*	1,9*	6,3	21,9	50,9

\* Valor estimado.

*Quadro II*

*Áreas não tradicionais de crescente interesse para o engenheiro químico [6, 12, 39, 40]*

ENERGIA	Produção Transmissão Consumo
ALIMENTAÇÃO	Produção de alimentos sintéticos Conservação de alimentos Processamento (fermentação, refinação, secagem, embalagem, etc.)
AMBIENTE/POLUIÇÃO	Controle de poluição industrial Tratamento e reciclagem de efluentes
ÁGUAS	Reciclagem e reaproveitamento Tratamentos Dessalinização Oceanografia
AGRICULTURA	«Spraying» «Composting» Armazenamento e secagem de cereais

## 2.3 — FUNÇÕES DO ENGENHEIRO QUÍMICO

A mais simples e mais vulgarizada classificação de funções do engenheiro químico baseia-se nas chamadas quatro fases do processo químico:

- 1) Desenvolvimento do Processo e Investigação.
- 2) Projecto e Cálculo do Equipamento.
- 3) Construção e Arranque.
- 4) Operação, Manutenção e Optimização.

Convirá aqui enunciar, ainda que genericamente, o que cada uma destas divisões comporta para que se possa compreender melhor as bases de formação propostas.

Assim o Desenvolvimento do Processo e Investigação compreende o estudo de processos novos ou o melhoramento de processos já existentes. Procura-se obter informação acerca das diferentes reacções ou operações através das quais um determinado produto pode ser obtido, do rendimento das várias etapas do processo, de prováveis processos de corrosão e ainda uma avaliação de custos e forne-

cimentos de matérias-primas e outros «inputs» do processo.

A fase seguinte — Projecto e Cálculo — respeita ao estabelecimento do «flowsheet» com indicação da capacidade e outras características fundamentais das diversas partes do equipamento. Esta fase assume foros de zona crítica, na medida em que dela depende em grande parte o êxito (eficiência, facilidade de controle, etc.) da instalação e é por vezes confundida com a designação mais lata do projecto. A parte final desta fase compreende o cálculo detalhado das diversas peças do equipamento ou a selecção no caso de peças standardizadas (ex. bombas centrífugas...).

Na chamada «Operação ou Fabrico» o engenheiro químico ajudará a manter em operação uma dada linha de produção.

Em muitos casos estas funções envolverão muito de gestão — de pessoal, de equipamento, de «stocks»... —, noutros casos a função será mais científica, i.e., mais virada ao controle de qualidade, à eficiência global e de itens parcelares, nomeadamente à redução de custos energéticos ou de poluição ou ainda de manutenção, e envolverá um certo grau de investigação dirigida.

Naturalmente, o engenheiro de fabrico será em alto grau um «solucionador de problemas» não só remediando situações imprevistas mas também eliminando problemas potenciais («trouble-shooter»). É evidente que nesta função deve o engenheiro químico muito à experiência e capacidade pessoal, factores cuja importância não é de mais realçar.

*Quadro III*

*Distribuição funcional dos profissionais de engenharia química no Reino Unido [13, 14]*

Actividade funcional	Distribuição (%)		
	1953	1968	1972
Administração e Gestão	25,6	20,2	25,1
Investigação e Desenvolvimento de Processo	27,1	21,8	24,1
Projecto, Construção e Instalação	20,1	20,4	21,6
Operação, Produção e Manutenção	12,5	22,8	12,9
Vendas e Serviços Técnicos	5,4	2,0	5,4
Ensino (e Investigação), Consultor Técnico e outros	9,3	12,8	10,9



Na optimização, como o próprio nome indica, busca-se o ajustamento da operação às condições supostas óptimas e depende essencialmente do processo em causa. Frequentemente nesta função englobam-se os problemas relacionados com o controle das variáveis do processo.

De um ponto de vista pragmático esta divisão de funções está correcta e pode ser bastante útil na definição de uma estratégia de treino (estágio) profissional ou na elaboração de um currículo tecnológico. Peca, porém, a mesma por se afastar apreciavelmente da realidade e de nada dizer acerca da distribuição de profissionais por aquelas funções ou da ênfase em campos não estritamente tecnológicos que elas envolvem [8,12-IV]. Visões mais realistas são dadas por HOUGEN [7] e NONHEBEL [15], nelas sendo incluído certo tipo de funções não exclusivamente técnicas mas que a experiência demonstra serem desempenhadas — em proporções importantes — por engenheiros químicos (fig. 2).

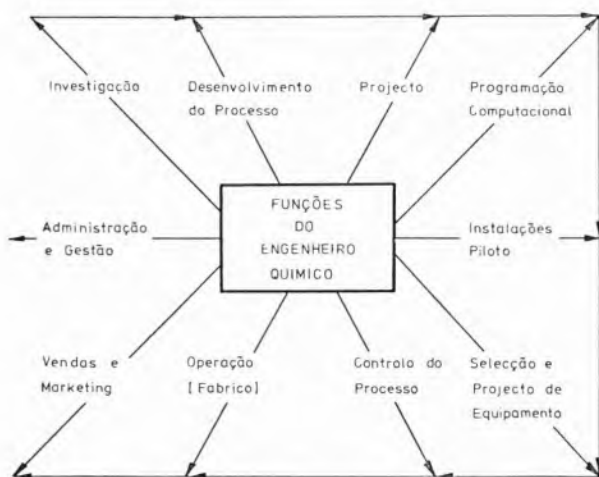


Fig. 2

Actividades funcionais do engenheiro químico segundo Hougen e Nonhebel

A este respeito têm sido publicados alguns dados — quadro III — que mostram a justeza das divisões propostas por Hougen e Nonhebel, sendo ainda de evidenciar a elevada percentagem de engenheiros químicos ligados a actividades de ênfase não tecnológica.

Uma lição a tirar do exposto é a de que a formação do engenheiro químico deve não só ser diversificada

pelas várias funções como aplicada a problemas interdisciplinares fazendo intervir factores de gestão, economia e ambiente que em muitos casos são decisivos em termos de viabilidade de um projecto.

Vê-se também que uma das formas de dar ao engenheiro químico uma formação relativamente completa (em termos de funções) será através da elaboração de projectos tanto quanto possível exaustivos durante o curso universitário (e, naturalmente, fazendo apelo a conceitos de análise económica — custos e viabilidade —, de análise social — poluição, emprego, etc.) [16].

De interesse, em especial serão os chamados «Projectos abertos» («open ended project») que a nível individual ou em seminário permitirão a inserção da engenharia química na realidade exterior e poderão assentar numa base interdisciplinar [18].

## 2.4 — ALGUMAS DEFINIÇÕES DE ENGENHARIA E ENGENHARIA QUÍMICA

É possível agora apresentar e compreender algumas das definições correntes de engenharia e engenharia química que se julga representativas. Assim, quanto à definição de «engenheiro», a EUSEC (Engineering Societies of Western Europe and the USA) estabelece que, por definição, «um engenheiro é competente devido à sua formação e ao treino adquirido, em aplicar o método científico à solução dos problemas de engenharia. Está preparado para assumir responsabilidade pessoal pelo desenvolvimento e aplicação das ciências de engenharia e conhece os campos de investigação, projecto, constituição, fabrico, gestão, organização e educação em engenharia química. O seu trabalho será predominantemente intelectual e variado e não de rotina quer mental quer física. Requererá o exercício de pensar e agir originalmente e a capacidade de supervisionar o trabalho técnico e administrativo de outros.

A sua formação deverá ter sido tal que lhe permita acompanhar de perto o evoluir das ciências da engenharia através de revistas da especialidade estando portanto apto a aplicar os desenvolvimentos das mesmas.

A sua formação e treino profissional deverão ter-lhe permitido «entender» os outros ramos da engenharia

e os vários campos secundários do seu próprio ramo.

Deve, em suma, poder dar opiniões técnicas com autoridade e responsabilidade».

A definição da EUSEC refere-se pois ao profissional de engenharia no que ele deve implicar de metodologia intelectual. A metodologia científica liga-se, naturalmente, ao particular ramo de engenharia em causa que, por seu turno, também não é fácil de definir em poucas palavras. No caso da engenharia química a questão agudiza-se pela extensa diversificação de funções e áreas de actividade a ela associadas [4,19-21], e de tal sorte que as «propostas de síntese» a seguir referidas só fazem, de facto, sentido após a análise» que para trás ficou.

A «Enciclopédia Britânica» indica que «engenharia química é o ramo de engenharia relacionado com o projecto, construção e operação de unidades industriais nas quais os materiais sofrem modificações de estado ou composição». Um ponto de vista semelhante é dado por DANCERTZ [19] ao referir que «a engenharia química respeita aos processos nos quais ocorrem alterações de composição ou de propriedades da matéria».

Uma visão mais exaustiva é dada pela A.P.C. britânica (I.Ch.E., U.K.): «A engenharia química é o ramo da engenharia que trata dos processos nos quais a matéria sofre transformações de composição, conteúdo energético ou estado físico e dos meios práticos do processamento com o fim de obter produtos que possam ser úteis (em si mesmo ou como parte do fabrico doutro produto).

A engenharia química tem as suas bases disciplinares na matemática, física e química no sentido em que as suas operações usam conhecimentos fornecidos por estas ciências bem como por outros ramos de engenharia, ciências aplicadas, biológicas e sociais.

A prática de engenharia química relaciona-se com a concepção, desenvolvimento e optimização de processos e aplicação dos produtos com as áreas de projecto, construção, operação, controle e gestão de unidades industriais nas quais os processos ocorrem e com a investigação e formação científica que estes campos de actividade encerram.»

Acrescenta-se ainda, uma citação de SOUDERS [20] que em grande parte suporta os argumentos que se têm vindo a desenvolver: «Muito se tem vindo a dizer acerca da diversificação de ocupações dos

engenheiros químicos e da extensa área de actividade industrial de engenharia química. À primeira vista a multiplicidade de funções parece excluir a possibilidade de as classificar ou de se elaborar um grupo de actividades profissionais desejáveis ou mesmo de se definir o conteúdo da sua educação. Mas... o engenheiro químico é aquele que tem consciência de que as temperaturas locais diferem das temperaturas globais; que as experiências laboratoriais não são nem adiabáticas nem isotérmicas; que um reservatório é tanto mais barato quanto mais estreito; que o coração de um sistema de controle é o sinal primário; que a mistura não é instantânea; ele sabe que as paredes do reservatório fazem parte do sistema reaccional; que não é uma diferencial exacta; que, na prática, quantidades mínimas de impurezas podem acumular-se ao longo do processo e alterar a reactividade do catalisador ou doutra superfície. Ele conhece os compromissos a estabelecer entre os requisitos da química-física e a construção mecânica; que projectos tecnicamente viáveis são frequentemente antieconómicos; que as unidades de fabrico reais estão constantemente sujeitas a fugas, falhas e má operação. O engenheiro químico sabe isto e mais. Aprendeu-o parcialmente nos cursos fundamentais e muito especialmente nos problemas de «design» na escola e na prática. Se não os aprendeu, então terá graves dificuldades no exercício da profissão ainda que disponha de profundos conhecimentos de ciência teórica.»

### 3 — A FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO QUÍMICO

#### 3.1 — DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

É conveniente distinguir «ab initio» duas vias complementares na formação do engenheiro químico: «via empírica», que também se poderia designar por «saber de experiência feito» e que só o exercício pleno da profissão vai assegurando, e a chamada «via científica», em que determinado tipo de conhecimentos se adquire através do estudo sistematizado. No presente trabalho a ênfase é naturalmente colocada na via científica o que implica a apreciação das estruturas existentes (ou inexistentes) que concorrem para a formação do engenheiro químico,

bem como dos condicionalismos com que à partida teremos de entrar em conta ao propormos eventuais linhas de acção. Numa fase posterior poder-se-á então focalizar a discussão nas estruturas disciplinares e metodológicas do principal suporte da formação científica dos engenheiros químicos: o curso universitário.

### 3.2 — AS FONTES DO SABER

Ao pretender-se analisar a formação científica em engenharia química verifica-se que, à parte raras excepções, a grande maioria dos trabalhos nesse campo é oriunda de países altamente industrializados, traduzindo naturalmente as preocupações e objectivos dos mesmos. Em consequência, a menos que uma função crítica seja sistematicamente exercida sobre estas «fontes do saber» corre-se o risco grave, de definir padrões de formação que pouco terão a ver com a realidade nacional. O problema não é novo e já AWOKOYA, responsável pela UNESCO, o apontava ao dissertar sobre a formação profissional em países não desenvolvidos [22].

E, de facto, será suficiente enunciar algumas das premissas adjacentes aos currículos universitários em países como os EUA, URSS ou Grã-Bretanha para que se compreenda um pouco melhor as condições «à partida» naqueles países [8,23]:

- 1) O estudante dispõe e utiliza em larga medida livros e revistas da especialidade na própria língua, laboratórios experimentais e instalações-piloto, tendo ao dispor adequadas facilidades computacionais.
- 2) A especialização a nível universitário numa função (ramo) de Engenharia Química ou numa Tecnologia Secundária é desejável e deve ser função dos recursos humanos e materiais da escola. O elevado número de instituições universitárias assegura virtualmente a necessária diversificação de especializações.
- 3) Após e durante o curso universitário segue-se um período de treino profissional sob orientação de profissionais competentes e de acordo com as recomendações da Associação Profissional de Classe (A.P.C.).

- 4) A Universidade não confere títulos profissionais. Estes são conferidos pela A.P.C. após aprovação do diplomado no treino pós-universitário de acordo com as normas estabelecidas pela A.P.C.
- 5) A existência de múltiplos cursos de aperfeiçoamento e reciclagem de duração variável permite ao profissional evitar a obsolescência através de uma educação ou formação permanente.

Vejamos mais em pormenor o que alguns destes pontos encerram.

### 3.3 — TREINO PROFISSIONAL E PROFISIONALIZAÇÃO

Multiplas têm sido as razões apresentadas para a implantação de esquemas de treino profissional que façam a ponte entre a formação científica universitária e a formação empirica da prática profissional [8,15,16,24-27].

O tipo de argumento utilizado é essencialmente redutível a:

- 1) A engenharia química é uma actividade de larga escala em que a problemática científica se enquadra de forma diferente dos modelos de pequena escala (ver definição de SOUDERS [20] na secção 2.4). Logo, haverá que permitir ao recém-diplomado a adaptação da sua bagagem científica às novas condições ambientes.
- 2) «Há 60 anos a engenharia química era 99 % de arte e 1 % ciência e, apesar da evolução, ainda será em partes sensivelmente iguais ciência e arte» [8,25]. É pois necessário que a arte do recém-diplomado cresça organizadamente durante um certo período sem carregar ainda o peso da responsabilidade subentendida à sua profissão (ver definição da EUSEC na secção 2.4).

Em Portugal, outros argumentos de índole mais ou menos local, como a inexistência de instalações-piloto na Universidade, ainda seriam adutíveis a justificar a reimplantação em moldes contudo totalmente diferentes dos chamados «estágios».

Porém, no nosso caso, o problema vai um pouco mais fundo e insere-se já no anacronismo vigente de o título profissional ser conferido pela instituição



universitária, o que em última análise equivale a considerar que a formação científica básica, para além de condição necessária, é também suficiente para o cabal exercício da profissão.

Mas se o recém-diplomado não é um profissional no verdadeiro sentido da palavra, quando o passa a ser? Aqui reside sem dúvida o ponto controverso da questão, e até porque dos sistemas em vigor noutros países nenhum parece ser isento de desvantagens. Contudo, só a A.P.C. terá capacidade para se pronunciar sobre qual o sistema desejável para Portugal.

Uma vez porém que o processo de profissionalização esteja definido será mais fácil planear esquemas de treino profissional que respondam aos requisitos estabelecidos pela A.P.C. É crível todavia que qualquer esquema de treino profissional deva assumir as seguintes características [16,17,28]:

- 1) Esquemas de treino propostos pela Indústria e aprovados não pela Universidade (ainda que se possa pronunciar) mas pelo órgão próprio da A.P.C.
- 2) Envolvimento das quatro fases principais da indústria química descritas em 2.3.
- 3) Elaboração de um relatório final de acordo com normas a estabelecer pela A.P.C. e obrigatoriamente discutido pela A.P.C. que requererá os acessórios adequados.

No que se disse, pressupõe-se o caso mais geral de o treino ou estágio ocorrer numa fase pós-universitária. Mas, é importante notá-lo, tal não tem que ser necessariamente assim. De facto, outras alternativas são possíveis, entre as quais os chamados cursos «sandwich» ou «co-op» em que o estudante alterna períodos na Universidade e na Indústria, da ordem dos 6 meses a um ano conforme os casos. Este tipo de curso, de origem recente, tem-se expandido rapidamente, em especial nos EUA e Reino Unido em parte pela grande aceitação que os diplomados com estes cursos têm encontrado. Em Portugal, a implantação destes cursos seria desejável, não só pelas razões que estão por detrás desta formação científica/prática simultânea mas porque isso permitiria também, por um lado, descongestionar as universidades e, por outro lado, supriria graves

deficiências de equipamento experimental dos laboratórios das nossas universidades.

A grande dificuldade para o oferecimento destes cursos em Portugal reside na ausência de canais de consulta e de grupos de trabalho integrando a A.P.C.-Universidade-Indústria e na dispersão do pessoal docente qualificado para soerguer as linhas de orientação pedagógica de cursos deste tipo.

Entende-se, porém, que será de encorajar a implantação, pelo menos a título experimental, deste tipo de cursos em Portugal que, julga-se, poderiam ser numa primeira fase oferecidos a estudantes-trabalhadores, utilizando os períodos de férias de Verão para o tempo lectivo universitário que eventualmente assumiria um carácter intensivo, de forma a que o número de anos do curso se aproximasse tanto quanto possível da duração do curso normal.

### 3.4 — *OBSOLESCÊNCIA E EDUCAÇÃO PERMANENTE*

Bastaria atentar na evolução curricular do curso de engenharia química nas últimas décadas [8,10] para que o problema da obsolescência precoce do engenheiro químico se impusesse como uma questão prioritária a requerer um esforço apreciável de educação permanente. Mas, a acrescentar à evolução natural das ciências e técnicas da engenharia química, tem-se nos últimos anos vindo a assistir à profunda reconversão das tecnologias tradicionais devido principalmente ao crescente uso de computadores e, mais recentemente, ao espectacular aumento do preço da energia. Compreende-se assim certo tipo de recomendações que as A.P.C., as universidades e mesmo o governo de alguns países têm feito no sentido de se instituir a educação permanente de uma forma organizada, através de cursos de pequena e média duração de reciclagem e aperfeiçoamento [29-31].

É possível antever, desde já, que aqueles cursos terão de ser organizados numa base mista A.P.C./Universidade e cobrirão fundamentalmente campos disciplinares ou técnicos e mais raramente campos funcionais. Estes por definição são estáveis, o que muda em geral são as «ferramentas». Desse modo parece razoável oferecer, a nível de currículo universitário, um certo grau de especialização no que respeita às funções do engenheiro químico e cobrir



os tópicos disciplinares ou técnicos relativos a faixas de conhecimento mais específicas através de cursos intensivos de pequena duração. Ter-se-ia assim cursos tais como [29,32]:

- Reciclagem (de conhecimentos anteriormente adquiridos)
- Aperfeiçoamento (aquisição de novas técnicas)
- Especialização (numa faixa específica) em que se tratariam, por exemplo:
  - Uso de métodos estatísticos
  - Uso de métodos computacionais
  - Introdução ao uso de computadores
  - Gestão de «stocks»
  - Destilação multicomponente
  - Métodos não convencionais de separação
  - Catalisadores industriais
  - Tecnologias secundárias (óleos, combustíveis, papel, etc.)

Atendendo à experiência estrangeira neste campo [12,29] é de recomendar curso de duração média de uma semana com tópicos acordados pela A.P.C.-Universidade. Quanto à inserção no currículo universitário de especializações em funções (ou ramos) de engenharia deve deixar-se essa frequência ou especialização à consideração dos interesses oferecendo-as a nível de pós-graduação [8,12,32-35].

Paralelamente a estes cursos é importante que se revitalizem as publicações em língua portuguesa de autores portugueses em que tópicos de interesse geral seriam tratados, mais concretamente, em que cada engenheiro químico pudesse contribuir com um certo «valor acrescentado» para o conhecimento ou compreensão de uma matéria. Sugere-se mesmo um nome: «Cadernos de engenharia química», e em princípio nada obsta a que não fosse um suplemento doutras publicações já existentes.

### 3.5 — FACILIDADES DE ESTUDO

O ponto presente requer, para completo tratamento, uma inventariação de possibilidades que não é viável fazer aqui. Assim, apenas se apontarão as necessidades mais prementes a remediar a curto prazo:

#### 1) Publicações

É importante que se disponha de textos em por-

tuguês, dignos e actuais (ainda que de edição barata e capa não luxuosa). É porém, ainda mais importante que os alunos e professores tenham acesso à bibliografia estrangeira através de um sistema de consulta facilitada.

#### 2) Laboratórios experimentais

Um verdadeiro laboratório não se compra, constrói-se. Haverá pois que dispor de facilidades oficinais adequadas. Além do mais, só com laboratórios adequados será possível a Universidade colaborar activamente e preparar os seus próprios doutorados.

#### 3) Computadores

Se nalgum sítio a sua utilização se justifica é sem dúvida na Universidade, embora desde já se considere que a sua utilização por organismos exteriores é desejável dentro, aliás, do espírito de serviço que deve presidir à instituição universitária.

#### 4) Uso de laboratórios não universitários

Este é um ponto a encarar em estudos dos últimos anos relacionados com o projecto industrial ou o projecto aberto, mas que terá de resultar de um esforço de organização Universidade-Indústria.

### 3.6 — ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

É frequente encontrarem-se na literatura referências à necessidade de se criarem especializações a nível universitário e, em muitos currículos de engenharia química em países desenvolvidos, é vulgar o oferecimento de múltiplas vias de especialização[23, 24,26].

É importante todavia, analisar mais em detalhe que tipo ou tipos de especialização é possível oferecer ao nível universitário relacionados com o curso básico de engenharia química:

1) Especialização disciplinar em que se pressupõe a ampliação do «syllabus» de matérias-base do curso.

2) Especialização interdisciplinar em que a for-

mação básica em engenharia química é ligada a outras ciências como no caso das engenharias bioquímica ou têxtil.

- 3) Especialização numa tecnologia secundária (exemplo, vidro, cerâmica, cerveja, papel, combustíveis, etc.).
- 4) Especialização funcional ou num ramo em que se desenvolvem as partes essenciais relacionadas com uma das funções referidas atrás (Produção, Desenvolvimento do Processo, etc.).

A especialização disciplinar referida em 1) interessará, em princípio, a indivíduos que queiram seguir uma carreira de investigação académica ou industrial. Em Portugal, em que o corpo docente universitário tende a ter uma experiência razoável neste campo, não parece que haja dificuldades de maior em oferecer este tipo de especialização.

O interesse da especialização interdisciplinar (n.º 2) em certos campos como a engenharia bioquímica ou engenharia do ambiente, por exemplo, não necessita ser realçado e é convicção dos autores que se assistirá, nos próximos anos, a uma ainda maior ênfase nas especializações interdisciplinares em parte justificadas pelo ónus que apresenta a construção de um curso independente formado à base de «approach» interdisciplinar destas especializações. O oferecimento destas especializações dependerá de vários factores dos quais os mais salientes serão o grau de atracção dos potenciais interessados, a existência de gente da Universidade e da Indústria capaz de tomar as rédeas de alguns assuntos e das características do mercado para estes especialistas bem como dos interesses nacionais. Julga-se que, aqui como em tantos outros campos, o grupo de trabalho A.P.C.-Universidade terá uma palavra importante a dizer.

As especializações em Tecnologias Secundárias — ponto 3 atrás citado — envolvem argumentos muito semelhantes aos anteriores com a diferença que em geral estão associados a uma ou duas indústrias, o que virtualmente lhes retira o interesse lato ou geral que deve ser desejável.

Por outro lado, o mercado tenderá a saturar-se durante um período de tempo relativamente longo, o que obrigaria a alternâncias da ordem dos seis ou mais anos. Deste modo, parece que aspectos

ligados a Tecnologias Secundárias devem ser oferecidos a nível de pequenos cursos cobrindo, se possível, áreas de interesse apreciável como, por exemplo, combustíveis, materiais de construção madeira e papel, etc. Resta analisar a especialização funcional que tenderá a associar-se a funções do engenheiro químico atrás referidas. Ao contrário das anteriores, a especialização funcional interessará a um número vasto de diplomados, já que encontra aplicação potencial praticamente em todas as áreas de actividade do engenheiro químico.

Naturalmente a ênfase não poderá ser a mesma para todas as funções do engenheiro químico já que em Portugal a profissão tem estado mais dirigida para a produção e management, e muito pouco ao projecto de equipamento, investigação industrial ou ao Desenvolvimento do Processo. Porém, a menos que queiramos continuar a importar um «know-how» (cada vez mais oneroso) e a actuar como um mero agente de transformação do produto, é importante que as nossas capacidades sejam dirigidas para os planos do «know-how» onde temos razoáveis possibilidades de competir internacionalmente. Referimo-nos aqui ao Desenvolvimento do Processo, zona que nos parece prometedora dentro de um esforço de reconversão das indústrias de engenharia química.

### 3.7 — AS ESTRUTURAS PEDAGÓGICAS

Sendo o curso superior a chave que abre a porta da formação científica do engenheiro químico é importante que as suas estruturas sejam analisadas com algum detalhe. Assim, começa-se por distinguir entre dois níveis estruturais complementares do curso:

- 1) Estrutura disciplinar a que corresponde um certo tipo de disciplinas com um determinado «syllabus» e creditadas de um certo número de horas.
- 2) Estrutura pedagógica ou metodológica, ou seja, a atitude intelectual que preside ao prosseguimento do currículo.

Mas, enquanto a nível disciplinar é concretizável através de programas bem definidos (que se apresentam na secção seguinte), o nível metodológico dependerá em vasta escala da motivação e for-

mação dos corpos docente e discente. No presente trabalho procurar-se-ão definir linhas gerais de orientação pedagógica, que parecem relevantes, juntamente com uma proposta curricular detalhada. O presente conjunto de proposições procura vincar um certo número de pontos de vista pedagógicos julgados pertinentes no contexto de formação desejável para o engenheiro químico. Porém, «a virtude depende do desejo (subjectivo) de a alcançar», e como tal haverá que obter o concurso de todos os interessados, em especial alunos e professores, no sentido de se definirem orientações certas.

A «nossa plataforma» é, em suma, traduzível por:

- 1) O conhecimento de ciências básicas é pré-requisito para a aprendizagem das ciências de Engenharia Química mas deverão ser ensinadas e aprendidas como um meio e não como um fim.
- 2) O ensino das ciências de Engenharia Química deve virar-se sempre para o aspecto da utilização prática e deve em muitos casos aceitar a interdisciplinaridade envolvida. Os problemas não devem utilizar apenas dados técnicos mas, desde o início, fazer intervir as «leis da sociedade». Nomeadamente, haverá que incutir no estudante que custos, poluição, etc., são indistinguíveis da produção técnica do produto X.
- 3) Não é possível ensinar a prática real na Universidade a menos que ela faça parte do currículo (cursos «sandwich»). É, contudo, possível orientar a formação para a prática real através do estudo de problemas reais e da experimentação adequada. Por outro lado, embora seja mais eficiente aprender a prática na indústria, esta raramente poderá seleccionar problemas para treino do nível engenheiro ou corrigir erros de formação intrínsecos.
- 4) O estudante tende a aprender o que realmente executa. Se ouve aulas, faz problemas-tipo e exames; então é isso que ele saberá fazer. Se a aprendizagem depende exclusivamente do professor, então o aluno torna-se dependente do professor. Mas, se, pelo contrário, aprender engenharia química com uma metodologia correcta, poderá utilizar os conhecimentos científicos na solução de questões novas não «calistas». Se os

problemas postos ao estudante forem um desafio à sua capacidade de utilizar conhecimentos e não um regurgitar de fórmulas ou métodos mecânicos de resolução, se o estudante for «ab initio» responsável, então ele aprenderá a metodologia da profissão. A verdadeira avaliação de conhecimentos faz-se na prática profissional. Porém, presta-se um mau serviço à sociedade se engenheiros incompetentes forem autorizados a exercer (para além dos graves riscos que comporta).

- 5) O estudo privado deve ser incentivado e orientado de acordo com as características de cada um. As aulas serão apenas um complemento onde o significado físico dos fenómenos e exemplos de aplicação prática sejam debatidos. O ideal será o estudante chegar à aula conhecendo antecipadamente a matéria.  
Em geral, será preferível fornecer menos informação se por via disso se obtém uma melhor formação.
- 6) Os investimentos a despendar com o ensino de engenharia química deverão garantir a formação de diplomados em qualidade e quantidade adequadas às necessidades do País.
- 7) À luz do parágrafo anterior, cada departamento de engenharia química deverá definir o número de alunos a admitir, de forma a garantir-se que, com os meios materiais e humanos de que o departamento dispõe, os alunos tenham possibilidade de alcançar uma preparação que lhes permita exercer a profissão com proveito para os próprios e para a sociedade.

#### 4 — PROPOSTA DE CURRÍCULO

Como corolário das considerações até agora feitas o currículo do curso que agora se apresenta toma em consideração mais os seguintes aspectos:

- 1) O curso de engenharia química, tal como tem sido ministrado nas universidades portuguesas, só muito tarde introduz o estudante em matérias propriamente ditas de engenharia química, o que implica um afastamento dos problemas reais que



constituem o objectivo primeiro da sua formação profissional até uma altura muito avançada do curso, provocando dois grandes inconvenientes:

- a) as matérias de formação básica são dadas, como é o caso da matemática, sem aplicações a problemas que o estudante sente como sendo relevantes para o curso que escolheu e poderá por isso contribuir para que surja a ideia de que a matéria em estudo não lhe é fundamental;
- b) cumulativamente, quando finalmente se lhe deparam disciplinas de engenharia química, o estudante corre o risco de já não saber utilizar devidamente as ferramentas que anteriormente lhe foram dadas.

Na presente proposta procura-se introduzir os objectivos de engenharia química e as disciplinas que se lhe referem o mais cedo possível.

- 2) Nos últimos dez anos, os métodos matemáticos capazes de ser facilmente tratados por computadores têm sido progressivamente utilizados para resolver problemas de engenharia química e melhorar extraordinariamente o rigor dos resultados. Para além de a matemática e de os métodos computacionais e numéricos serem extensivamente tratados em disciplina própria, com numerosas aplicações, deverão também ser incluídos em disciplinas de engenharia química tal como Reactores e Operações Unitárias.
- 3) A formação de um engenheiro químico, tal como já foi salientado, será de incluir prolongado contacto com aparelhagem experimental em que o estudante possa aplicar os conhecimentos de engenharia que vai adquirindo e, ao mesmo tempo, executar projectos experimentais que estimulem e ponham à prova a sua capacidade de enfrentar problemas reais.

Relativamente ao programa elaborado, são de salientar os seguintes pontos:

- 4) Está estruturado de modo a dar uma formação básica em engenharia química em quatro anos, o que poderá contribuir para um maior aproveitamento do investimento feito na formação de cada engenheiro químico. Deverá, uma vez

mais, salientar-se que se pressupõe um elevado grau de profissionalismo de discentes e docentes.

- 5) Envolve um leque bastante vasto de disciplinas espalhadas pelos quatro anos lectivos considerados. Para que ele se mantenha homogéneo e coerente para quem o frequente é necessário que haja uma estreita colaboração entre todos os membros do corpo docente, preferencialmente através de um conselho pedagógico que deverá envolver também alunos. Na mesma ordem de ideias a existência de disciplinas em atraso dificilmente se poderá conceber.
- 6) A redução da duração do curso-base de engenharia de cinco para quatro anos torna altamente desejável, e como já foi largamente referida, a criação de cursos de pós-graduação. Estes cursos poderão pois revestir a seguinte forma (ver 3.6):
  - a) aprofundamento de matérias relacionadas com engenharia química numa certa área de especialização;
  - b) estudo de Tecnologias Secundárias com carácter interdisciplinar (poderá referir-se a uma indústria com importância local ou regional em que o departamento funcionará como suporte científico e tecnológico);
  - c) especializações curtas;
  - d) cursos de reciclagem de curta duração, normalmente sobre matéria de desenvolvimento recente.
- 7) A existência de investigação em engenharia química é fundamental não só para garantir a relevância dos trabalhos práticos e projectos, mas também para que as matérias ministradas acompanhem a evolução dos conhecimentos de engenharia química [36-38].

Apresenta-se a seguir o esquema curricular para o curso de engenharia química. Julga-se de utilidade indicar o âmbito de cada disciplina proposta através da enunciação dos principais tópicos a serem abordados e do número de horas semanais de contacto supostas convenientes. Entendam-se, contudo, estas recomendações como um instrumento de trabalho ou uma directriz a partir da qual a estrutura de cada disciplina e horas de contacto sejam ajustadas.



## PRIMEIRO ANO

## PRIMEIRO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ semana</i>
ANÁLISE MATEMÁTICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Convergências e limites</li> <li>— Funções de uma variável contínuas e descontínuas; teorema de Taylor. Aplicações.</li> <li>— Derivação. Máximo e Mínimo. Funções exponenciais logarítmicas e hiperbólicas; números complexos; representação gráfica de funções</li> </ul>	7
ÁLGEBRA LINEAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Álgebra vectorial; produto escalar; produto vectorial</li> <li>— Álgebra matricial; inversão de matrizes. Determinantes. Sistema de valores próprios</li> <li>— Solução de sistemas de equações lineares e quadráticas</li> </ul>	4
INTRODUÇÃO À PROGRAMAÇÃO COMPUTACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Tipos de informação requerida pelos computadores; linguagem dos computadores e dos compiladores</li> <li>— Fortran IV: descrição da sua estrutura e instruções básicas</li> <li>— Problemas em que o estudante tem de obter a solução correcta por intermédio do computador. Exemplos: equações não solúveis por métodos analíticos; cálculo de propriedades físicas a partir de equações de estado; problema de escoamento em rede simples</li> </ul>	5
QUÍMICA INORGÂNICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estrutura electrónica dos átomos. Tabela periódica</li> <li>— Compostos iónicos; estudo de <math>\text{ClNa}</math>, <math>\text{NaF}</math>, <math>\text{CaF}_2</math>; força de ligação e potencial de ionização</li> <li>— Compostos co-valentes; estudo dos halogenetos de C, S, P e N</li> <li>— Metais de transição; formação de complexos de coordenação</li> </ul>	5
INTRODUÇÃO À QUÍMICA FÍSICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estados da matéria; tipos de substância; mudanças de estado</li> <li>— Teoria cinética dos gases; equação de Van der Waals; lei dos estados correspondentes</li> <li>— Estrutura molecular e espectroscopia de ultravioleta, infravermelho e raios X</li> </ul>	5
		26

## SEGUNDO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ semana</i>
ANÁLISE MATEMÁTICA II	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Integração. Integrais duplos e triplos</li> <li>— Séries; critérios de convergência. Determinação da soma de uma série convergente</li> </ul>	7
INTRODUÇÃO À ENGENHARIA QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— História e perspectivas futuras para a engenharia química</li> <li>— Conceito de processo químico. Conceito de operação unitária</li> <li>— Breve descrição de equipamento e serviços utilizados em engenharia química</li> <li>— Exemplos de problemas de engenharia química equacionados por métodos numéricos e solúveis por computadores</li> </ul>	6
TERMODINÂMICA QUÍMICA I	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Primeira lei da termodinâmica; termoquímica; entalpia</li> <li>— Segunda lei da termodinâmica, ciclo de Carnot; função de entropia</li> <li>— Relações PVT; correlações generalizadas; factor de compressibilidade</li> <li>— Funções de energia livre; critérios de equilíbrio</li> </ul>	4
QUÍMICA ORGÂNICA I	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Revisão geral de estrutura e caracterização dos compostos orgânicos: hidrocarbonetos alifáticos; aldeídos e cetonas; aminas e amidos; ácidos carboxílicos</li> <li>— Benzeno; compostos cíclicos e acíclicos. Isomerismo</li> <li>— Efeitos indutivos, de ressonância e estereoquímicos na reactividade das moléculas</li> <li>— Nucleófilos e electrófilos</li> </ul>	5
QUÍMICA ANALÍTICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Teoria de ácidos e bases; força de ácidos e bases</li> <li>— Actividade e coeficiente de actividade</li> <li>— Oxidação-redução; pilhas</li> <li>— Titulações: ácido base; redox; complexometria</li> <li>— Soluções-tampão</li> <li>— Preparação de soluções; normalidade, molaridade e molaridade</li> <li>— Caracterização das principais reacções dos grupos de elementos</li> </ul>	5
		27

## SEGUNDO ANO

## PRIMEIRO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ semana</i>
ANÁLISE MATEMÁTICA III	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Equações diferenciais; exemplo de como surgem em problemas de engenharia química</li> <li>— Equações diferenciais de primeira ordem. Equações diferenciais de segunda ordem com coeficientes constantes; solução por séries de Taylor</li> <li>— Tipos de equações de derivadas parciais de segunda ordem; sua solução por separação de variáveis.</li> </ul>	6
DINÂMICA DE FLUIDOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Movimentos laminar e turbulento, número de Reynolds; perfil de velocidades</li> <li>— Balanços macroscópicos e diferenciais</li> <li>— Análise dimensional; aplicação dos balanços macroscópicos à medição de caudais (equação de Bernouilli)</li> <li>— Fluidos newtonianos e não newtonianos, viscosidade</li> <li>— Leis dos movimentos laminar e turbulento</li> <li>— Coeficiente de transferência de momento</li> <li>— Aplicações ao projecto de condutas, bombas, etc.</li> </ul>	7
TERMODINÂMICA QUÍMICA II	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Mistura de soluções; quantidades parciais; potencial químico; misturas ideais; misturas líquidas</li> <li>— Equilíbrio químico; sistemas reactivos; afinidade; constante de equilíbrio; mudança de entalpia padrão</li> <li>— Equilíbrio de fase; regra das fases de Gibbs; fugacidade; imiscibilidade; azeótropos; fusão congruente e incongruente</li> </ul>	5
QUÍMICA ORGÂNICA II	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Mecanismo de reacções: substituições alifáticas e aromáticas, electrófilas e nucleófilas</li> <li>— Compostos aromáticos heterogéneos; proteínas e carboidratos</li> <li>— Produção de hidrocarbonetos petroquímicos a partir de petróleo e gás natural; processos para a produção em larga escala de produtos químicos orgânicos (incluindo derivados do cloro, oxigénio e azoto) a partir de hidrocarbonetos</li> <li>— Polímeros naturais e sintéticos. Reacções de polimerização e produção industrial de polímeros de adição, poliamidas, poliésteres, elastómeros sintéticos</li> </ul>	5
LABORATÓRIOS I	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Trabalhos laboratoriais em pequena escala de aspectos fundamentais da Química Inorgânica, Introdução à Química Física e Química Analítica</li> </ul>	4
		27

## SEGUNDO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ /semana</i>
TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA (1. <i>Transferência de calor</i> )	— Leis de condução, de convecção e de radiação — Coeficientes de transferência de calor locais e globais; previsão de coeficientes de transferência de calor — Transferência de calor com mudança de fase — Aplicação ao cálculo de permutadores	
(2. <i>Transferência de massa</i> )	— Leis de difusão molecular; transferência de massa por convecção — Coeficientes de transferência de massa na fase e na interfase; coeficientes locais e globais — Transferência de massa com reacção química — Analogia entre transferência de calor e massa — Aplicações ao caso de operações unitárias de um andar (absorção, extracção, HETR)	7
QUÍMICA FÍSICA APLICADA	— Electroquímica, condutância e reacções iónicas; célula electroquímica — Equilíbrio de fases; soluções ideais e não ideais — Química-Física das superfícies; viscosidade; tensão de superfície e soluções; efeitos de superfície em pequenas partículas e dispersões. Detergência, emulsificação e lubrificação — Estado sólido e estado líquido	6
ESTATÍSTICA E MÉTODOS NUMÉRICOS DE ENGENHARIA QUÍMICA	— Elementos da teoria das probabilidades; distribuição normal, binomial e de Doisson. — Testes de amostragem. Análise simples da variância aplicada a organização de experiências — Métodos numéricos para a solução de equações algébricas. Notação de vector e de matriz. Aplicações computacionais. — Métodos numéricos para a solução de sistemas de equações de balanços de massa e de energia lineares e não lineares. — Aplicações computacionais	6
ELEMENTOS DE PROCESSO QUÍMICO	— Representação gráfica de misturas binárias e ternárias — Análise termodinâmica de diagramas de fases binárias e ternárias. Utilização em métodos de separação	4
LABORATÓRIOS II	— Operações laboratoriais de química orgânica — Fenómenos de transferência; ênfase no contacto com o equipamento habitual do engenheiro químico: válvulas, bombas, medidores de caudal, pressão e temperatura, etc.	4
		27



## TERCEIRO ANO

## PRIMEIRO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ semana</i>
REACTORES QUÍMICOS I	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Cinética química: base termodinâmica para a cinética; conceito de equilíbrio dinâmico</li> <li>Reacções simples e múltiplas. Modelos cinéticos. Previsão teórica da ordem de uma reacção</li> <li>— Interpretação de dados de reactores</li> <li>— Reactores simples ideais; reactores descontínuos; reactores tubulares; reactores continuamente agitados (CSTR)</li> <li>— Projecto para reacções simples e múltiplas</li> </ul>	7
OPERAÇÕES UNITÁRIAS I	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Operações de transferência de massa de contacto descontínuo</li> <li>— Operações de transferência de massa de contacto contínuo</li> <li>— Fluxo de fluidos: bombas; compressores</li> </ul>	7
DESENHO INDUSTRIAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Convenções; tipos de projecção</li> <li>— Diagrama de fluxos e diagrama de tubagens: descrição e interpretação; métodos para apresentação de dimensões e tolerância</li> <li>— Desenho detalhado de uma operação de processo químico escolhida para o efeito</li> </ul>	5
PRÁTICA DE ENGENHARIA QUÍMICA I	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Fenómenos de transferência. Determinação de propriedades de transporte: viscosidade, condutividade; coeficiente de transferência de calor e massa, etc.</li> <li>— Operações unitárias. Contacto com equipamento e sua operação</li> </ul>	4
MÉTODOS INSTRUMENTAIS DE ANÁLISE	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Critério a adoptar na escolha do método analítico</li> <li>— Métodos ópticos: espectrofotometria de absorção ultravioleta e visível; turbidimetria; nefelometria e reflectância; colorimetria</li> <li>— Espectrofotometria de absorção de infravermelho</li> <li>— Fotometria de chama</li> <li>— Métodos electroquímicos</li> <li>— Cromatografia</li> <li>— Polarografia</li> </ul>	4
		27

## SEGUNDO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ semana</i>
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS EM ENGENHARIA QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Estrutura cristalina</li> <li>— Metais e ligas: mecanismos de fortalecimento. Tratamentos térmicos e mecânicos. Soldadura. Distensão e fractura</li> <li>— Electroquímica e corrosão. Passivação. Protecção anódica e catódica. Inibidores. Revestimentos.</li> <li>— Materiais de cerâmica e vidro. Comportamento viscoelástico de altos polímeros amorfos</li> <li>— Mecânica dos materiais: testes de tensão, ductibilidade e fractura. Equação de membrana para corpos de revolução com referência particular a recipiente sob pressão com paredes finas</li> <li>— Cilindro de parede grossa para altas pressões</li> <li>— Mecânica de fractura: crescimento de fissura sob fadiga</li> </ul>	5
REACTORES QUÍMICOS II	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Efeitos da pressão e temperatura no projecto de reactores</li> <li>— Cinética de reacções catalíticas. Catalise homogénea e heterogénea. Catalisadores</li> <li>— Reacções fluido-partícula; transferência de massa e reacção em sólidos porosos</li> <li>Modelos de reacção fluido-sólido não catalítica</li> <li>— Reactores catalíticos heterogéneos; reactores adiabáticos com enchimento; reactores de leito fluidizado</li> </ul>	7
OPERAÇÕES UNITÁRIAS II	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Agitação e mistura</li> <li>— Permutadores de calor</li> <li>— Evaporação; secagem; humificação</li> <li>— Cristalização</li> </ul>	7
ELECTROTECNIA GERAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Sistemas de medidas e transmissão de informação. Teoria dos circuitos. Circuitos activos. Electrónica. Circuitos básicos</li> <li>— Sistemas de produção e transporte de energia. Motores e geradores. Transformadores</li> <li>— Sistema de controle automático. Funções de transferência. Estabilidade. Critérios de estabilidade</li> </ul>	4
PRÁTICA DE ENGENHARIA QUÍMICA II	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Operações unitárias. Ênfase no estudo do máximo rendimento e apreciação do efeito das variáveis operatórias na eficiência</li> <li>— Reactores. Contacto com diversos tipos de reactores. Análise dos dados de um reactor. (Estudo das variáveis que influenciam a composição do produto de uma reacção. Condições óptimas que permitem atingir um determinado objectivo de produção.)</li> </ul>	4
		27

## QUARTO ANO

## PRIMEIRO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ semana</i>
MODELOS MATEMÁTICOS EM ENGENHARIA QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Descrição de problemas de engenharia química por equações diferenciais ordinárias e parciais</li> <li>— Cálculo de diferenças e outros métodos numéricos de soluções. Utilização de computador</li> <li>— Caracterização de superfícies de resposta com múltiplas variáveis. Aplicações a problemas de engenharia química</li> <li>— Introdução à programação; aplicação do método de simplex (entre outros) a problemas de produção em indústrias químicas</li> </ul>	6
CONTROLE E AUTOMAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Revisão e aplicação da transformada de Laplace, desenvolvimento em série de Fourier e de MacLaurin.</li> <li>— Análise dinâmica de sistemas. Função de transferência</li> <li>— Controle proporcional e teorema de desvio final. Introdução aos controles integrais e derivativos; sua importância</li> <li>— Teorema do valor inicial. Anulação do desvio final por meio de um controle integral</li> <li>— Controle antecipado; controle cascata; controle auto-adaptável</li> <li>— Aplicações: colunas de destilação; permutadores de calor; de calor; reactores</li> <li>— Controle analógico e digital directo. Modelos matemáticos. Uso de computadores para simulação dinâmica de processos e para controle de uma instalação industrial</li> </ul>	7
INSTALAÇÃO E SERVIÇOS INDUSTRIAIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Produção de calor. Combustíveis. Calorimetria do vapor de água. Utilização do diagrama de Molier</li> <li>— Tiragem: chaminés e ventiladores</li> <li>— Produção de energia. Turbina a vapor. Turbina a gás</li> <li>— Compressores; compressores volumétricos e turbocompressores. Bombas de vácuo.</li> <li>— Tratamento de águas para utilização industrial; desjonização</li> <li>— Refrigeração industrial. Fluidos frigorigénos. Métodos criogénicos</li> </ul>	5
OPERAÇÕES UNITÁRIAS III	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Peneiração e moagem; transporte de sólidos</li> <li>— Estudo do movimento relativo de sólidos e fluidos: filtração; centrifugação; sedimentação; fluidização</li> </ul>	5
PROJECTO ABERTO (SEMINÁRIO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>— O aluno executa ou participa na execução de um trabalho de que se pretende obter uma informação que ainda não é conhecida.</li> <li>— Este trabalho poderá integrar-se numa investigação em pequena escala em progresso no departamento</li> </ul>	4
		27

## SEGUNDO SEMESTRE

<i>Disciplinas</i>	<i>Principais tópicos</i>	<i>Horas/ /semana</i>
PROJECTO QUÍMICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Recolha de informação com ênfase na pesquisa bibliográfica</li> <li>— Escolha do processo de fabrico dentro das várias alternativas possíveis. Viabilidade económica. Elaboração (desenho) de um «flowsheet» de instalação industrial. Estudo detalhado de uma parte do equipamento</li> <li>— Análise de custos. Previsão de despesas. Recursos financeiros. (Estudo matemático da análise de rendibilidade do investimento.)</li> <li>— O aluno desenvolverá o seu trabalho com grande independência mas deverá ter, em princípio, uma reunião quinzenal com o tema do projecto. O tema do projecto será distribuído no início do ano</li> </ul>	27

## CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO

Na linha do que anteriormente se expôs, apresentam-se, em seguida, algumas sugestões, não exaustivas, dos cursos de pós-graduação.

Saliente-se que a periodicidade com que os cursos serão oferecidos deverá ser função das disponibilidades do departamento e do interesse que suscitarem.

## ANO COMPLEMENTAR (M.Sc.) — 12 meses

## I — Ramos de especialização relacionados com Engenharia Química (exemplos):

## a) «Produção e Gestão»

- Organização e gestão na Indústria
- Aspectos económicos de uma unidade industrial
- Optimização do processo
- Projecto (de Produção/Gestão)
- Opções (exemplos):
  - Operações Unitárias

Estudo de uma Indústria  
Segurança e Manutenção  
Controle Financeiro  
Marketing  
Engenharia de Sistema

## b) «Projecto e Construção»

- Teoria do Projecto
- Técnicas de Organização e Gestão
- Ciências dos Materiais
- Projecto (Químico)
- Opções (exemplos):
  - Operações Unitárias
  - Estruturas
  - Engenharia de Sistemas
  - Controle Automático

## c) «Investigação e Desenvolvimento do Processo»

- Projecto de Investigação
- Métodos Matemáticos
- Opções (exemplos):
  - Operações Unitárias
  - Reactores
  - Investigação Operacional



d) «Ciências de Engenharia Química»

- Fenómenos de Transferência
- Operações Unitárias
- Fenómenos de Interface/Catálise
- Opções (exemplos):
  - Controle Automático
  - Materiais sólidos (partículas)
  - Projecto de Investigação Aplicada

II — *Ramos de Tecnologias Secundárias Interdisciplinares* (exemplos):

- Engenharia Bioquímica/Alimentos/Adubos
- Engenharia do Ambiente/Sanitária
- Engenharia Têxtil

CURSOS DE CURTA DURAÇÃO

I — *Reciclagem/Actualização* (exemplos):

- Computação
- Estatística
- Reologia
- Catálise

II — *Temas especializados* (exemplos):

- Energia/Combustíveis
- Óleos/Sabões/Detergentes
- Madeira/Pasta/Papel
- Farmácia/Perfumaria/Corantes
- Polímeros/Plásticos
- Vidro/Cerâmica/Refractários
- Refrigeração/Aquecimento/Ventilação

BIBLIOGRAFIA

- [1] «Conference on Chemical Engineering Education», in *Chem. Eng.*, **191**, 201 (1965).
- [2] SARGENT, R. W. H., *Chem. Eng.*, **168**, 151 (1963).
- [3] JUVINALL, R. C., *J. Eng. Educ.*, **61**, 418 (1971).
- [4] SARGENT, R. W. H., *Chem. Eng.*, **286**, 334 (1974).
- [5] JANTSCH, E., *Chem. Eng.*, **229**, 241 (1969).
- [6] I. Ch. Eng., U. K. Comm. Rept., *Chem. Eng.*, **221**, 273 (1968).
- [7] WHITT, F. R., *Chem. Eng.*, **232**, 356 (1969).
- [8] HOUGEN, O. A., *Chem. Eng.*, **191**, 222 (1965).
- [9] CALDERBANK, P. H., *Chem. Eng.*, **158**, 63 (1961).
- [10] SPEARING, C. E., *Trans. Inst. Chem. Engrs. (London)*, **10**, 195 (1962).
- [11] JOHNSTONE, R. E., *Trans. Inst. Chem. Engrs. (London)*, **39**, 263 (1961).
- [12] BERKOVITCH, I., *Chem. Eng.*, **290**, 647 (1974).
- [13] MORTON, F., *Trans. Inst. Chem. Engrs. (London)*, **42**, 182 (1964).
- [14] «Careers in Chemical Engineering», in I. Ch. Eng., U. K., 1972.
- [15] NOXHEBEL, G., «Chemical Engineering in Practice», Wykeham Publications, London, 1973.
- [16] WHITE, A. S., *Chem. Eng.*, **153**, 45 (1961).
- [17] WHITE, A. S., *Chem. Eng.*, **216**, 31 (1968).
- [18] COE, M. C., *Chem. Eng.*, **180**, 167 (1964).
- [19] HILL, L. S., *J. Eng. Educ.*, **61**, 361 (1971).
- [20] DANCKWERTZ, P. V., *Chem. Eng.*, **262**, 222 (1972).
- [21] SOUDERS, M., *Chem. Eng.*, **191**, 201 (1965).
- [22] SELLERS, E. S., *Trans. Inst. Chem. Engrs. (London)*, **43**, 187 (1965).
- [23] AWOKOYA, S. O., *J. Eng. Educ.*, **61**, 267 (1970).
- [24] HANSON, C., *Chem. Eng.*, **210**, 172 (1967).
- [25] I. Ch. Eng., U.K. Rept., *Chem. Eng.*, **158**, 57 (1961).
- [26] COULSON, J. M., *Chem. Eng.*, **160**, 69 (1962).
- [27] CHAMBERS, S. P., *Chem. Eng.*, **181**, 217 (1964).
- [28] GARDNER, J. R., *Chem. Eng.*, **153**, 49 (1961).
- [29] CALHOUM, J., *J. Eng. Educ.*, **64**, 93 (1973).
- [30] KING, P. P., *Chem. Eng.*, **277**, 412 (1973).
- [31] JOHNSTONE, R. E., *Trans. Inst. Chem. Engrs. (London)*, **39**, 146 (1961).
- [32] FRESHWATER, D. C., *Chem. Eng.*, **267**, 429 (1972).
- [33] SMITH, W., *Chem. Eng.*, **269**, 26 (1973).
- [34] VICKERY, D. S., *Chem. Eng.*, **277**, 415 (1973).
- [35] DAVIES, J. T., *Chem. Eng.*, **191**, 232 (1965).
- [36] TORDA, T. P., *J. Eng. Educ.*, **64**, 23 (1973).
- [37] I. Ch. Eng. Rept., *Chem. Eng.*, **160**, 56 (1962).
- [38] SARGENT, R. W. H., *Chem. Eng.*, **170**, 213 (1963).
- [39] MACLEOD, N., *Chem. Eng.*, **169**, 195 (1963).
- [40] FRESHWATER, D. C., *Chem. Eng.*, **260**, 158 (1972).
- [41] WAKEMAN, R. J., *Chem. Eng.*, **260**, 140 (1972).

Outros elementos consultados para elaboração do currículo:

- NIENOW, A. W., *Chem. Eng.*, **281**, 20 (1974).
- SMITH, W., *Chem. Eng.*, **269**, 26 (1973).
- EISENKLAM, P., *Chem. Eng.*, **274**, 299 (1972).
- BOWDEN, Lord, *Chem. Eng.*, **229**, 404 (1968).
- GARNER, P. J., *Chem. Eng.*, **250**, 206 (1971).
- «Anuário da Faculdade de Engenharia», Vol. 1, Porto, 1973.
- «Faculty Handbook. The University of Birmingham», Birmingham, 1974/75.
- JENKINS, J. O., «Chemical Engineering: Degree Course Guide», Cambridge, 1973/74.