

# boletim

SOCIEDADE  
PORTUGUESA  
DE  
QUIMICA



Publicação Trimestral • N.º 36 (Série II) • Junho 1989



# SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA



## CORPOS GERENTES

Presidente — **M.A.V. Ribeiro da Silva**  
 Vice-Presidente — **A.J. Campos Varandas**  
 Secretário-Geral — **C. Nieto Castro**  
 Secretários-Gerais Adjuntos  
 — **Luisa Maria Abrantes** e **Fernando Jorge Pina**  
 Tesoureiro — **Luís Paulo Rebelo**

## Conselho Fiscal

Presidente — **Vítor Lobo**  
 Vice-Presidente — **Inês Florêncio**  
 Relator — **António Palavra**

## Mesa da Assembleia Geral

Presidente — **Maria Alzira Ferreira**  
 1.º Secretário — **Maria Teresa Barros**  
 2.º Secretário — **João Rui Guedes de Carvalho**

## ASSEMBLEIAS REGIONAIS

DELEGAÇÃO DO NORTE (Sede no Porto)

### Assembleia Regional

Presidente — **João Cabral**  
 1.º Secretário — **Raul Barroca**  
 2.º Secretário — **José Luis C. Figueiredo**

### Direcção da Delegação Regional

Presidente — **Manuel Ribeiro da Silva**  
 Secretário — **Duarte Costa Pereira**  
 Vogal — **Baltazar Romão de Castro**

DELEGAÇÃO DO CENTRO (Sede em Coimbra)

### Assembleia Regional

Presidente — **A.J. Andrade de Gouveia**  
 1.º Secretário — **F. Pinto Coelho**  
 2.º Secretário — **Júlio A.M. Cunha Pinto**

### Direcção da Delegação Regional

Presidente — **A.J. Campos Varandas**  
 Secretário — **Carlos F.G. Gerales**  
 Vogal — **Júlio P. de Jesus**

DELEGAÇÃO DO SUL (Sede em Lisboa)

### Assembleia Regional

Presidente — **Ana Lobo**  
 1.º Secretário — **Filomena Camões**  
 2.º Secretário — **Maria da Graça Correia**

### Direcção da Delegação Regional

Presidente — **Romão Dias**  
 Secretário — **José Costa Reis**  
 Vogal — **Maria Helena Pereira**

# boletim

Propriedade e edição da Soc. Port. de Química

## Director:

RAQUEL GONÇALVES (FCL)

## Directores Adjuntos:

ANA SIMÕES (INIC)  
 ANTÓNIO CALADO (FFL)  
 LÍDIA ALBUQUERQUE (FCL)  
 MANUEL GIL (EDP)

## Redacção e Administração

Sociedade Portuguesa de Química  
 Av. da República, 37 - 4.º  
 1000 LISBOA — Tel. 73 46 37

(Horário de expediente:

de 2.ª a 6.ª-feira, das 9 às 13 e das 14 às 17 horas)

## SECÇÕES TEMÁTICAS:

### Informações, actualidade

Filomena Martins (FCL)

### Educação em Química

Elisa Maia (FCL)  
 Isabel Pinheiro Martins (Univ. Aveiro)

### Química e Indústria

António Gonçalves da Silva (SONADEL)  
 João Moura Bordado (HOECHST)

### Evolução Química

Hernâni Maia (Univ. Minho)  
 Joaquim Moura Ramos (IST)

### Segurança nos Laboratórios

Maria João Marcelo Curto (LNETI)

### Química e Saúde

Euarda Rosa (FFL)

### Computadores em Química

Fernando Fernandes (FCL)  
 Filomena Freitas (FCL)

### História da Química

António Amorim Costa (Univ. Coimbra)

### Congressos e Conferências

Maria Regina Tavares (LNETI)

## Publicidade

CRISTINA SILVA MACÁRIO  
 Sociedade Portuguesa de Química  
 Av. da República, 37 - 4.º  
 1000 LISBOA — Tel. 73 46 37

Os artigos publicados são da exclusiva responsabilidade do seus autores e as opiniões neles defendidas não envolvem as direcções do Boletim e da Sociedade Portuguesa de Química.

## SUMÁRIO

• Informações, actualidade.....	3
• O Contra-senso em Imagens, <i>Pierre Laszlo</i> .....	7
• A Termodinâmica e o Efeito Montesquieu — as utilizações do conceito de entropia fora do campo da termodinâmica, <i>Alain Fuchs</i> .....	15
• Por um Ensino relevante da Química: Que papel para o Trabalho Experimental?, <i>António F. Cachapuz</i> .....	25
• Análise da Variância — dois casos estudados, <i>A. Correia Cardoso, Maria da Graça Miguel e S. J. Formosinho</i> .....	29
• O Carbono Orgânico e a Arqueologia — interesse, métodos de doseamento e resultados, <i>António João de Carvalho da Cruz</i> .....	33
• Macroalgas Marinhas — um campo de investigação sempre novo, <i>Maria Eduarda Machado de Araújo</i> .....	37
• Lactonas Sesquiterpénicas — aplicações farmacológicas e quimiotaxonómicas, <i>Susana M. B. P. Santos</i> .....	41
• Segurança nos Laboratórios, <i>Maria João Marcelo Curto</i> .....	45
• Congressos e Conferências, <i>Maria Regina Tavares</i> .....	47

## BIBLIOTECA DE PROGRAMAS

A secção temática **COMPUTADORES EM QUÍMICA** está a organizar uma **BIBLIOTECA DE PROGRAMAS**.

Os programas (em disquetes de 5.25'') poderão ser adquiridos mediante o envio de um cheque de 500\$00 (para pagamento da disquete e portes de Correio) dirigidos à Sociedade Portuguesa de Química.

### PROGRAMAS DISPONÍVEIS:

- 1 — Simulação de uma Curva de Titulação  
Ácido Fraco — Base Forte  
(descrição no Bol. Soc. Port. Quím., 1985, 22, 67)
- 2 — Determinação Computacional da Temperatura Crítica Superior de Solução de uma Mistura Líquida Binária .  
(descrição no Bol. Soc. Port. Quím., 1988, 34, 19)
- 3 — Determinação Computacional de Funções Termodinâmicas de Activação a partir da Equação de Everett e Wynne-Jones  
(descrição no Bol. Soc. Port. Quím., 1988, 34, 19)
- 4 — Um Programa de Cálculo do Modelo de Hückel em Microcomputador  
(descrição no Bol. Soc. Port. Quím., 1986, 33, 26; dispomos de versões para os micros Apple IIe e Apple IIc e encontra-se já em preparação uma versão destinada a ser utilizada com MS-DOS)

## Informações, actualidade \*

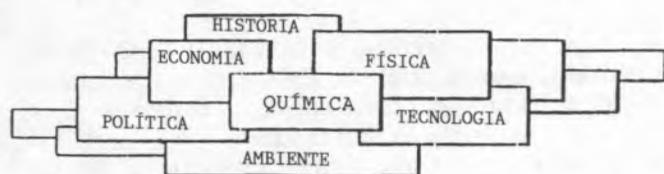
### O projecto "Chimie Science Centrale" (CSC): uma possibilidade de criar em conjunto um novo instrumento de ensino

A reflexão sobre o lugar efectivo da química no seio das ciências é tão velha quanto a própria química.

Infelizmente, só o lugar medíocre concedido por uma "relação de ordem" devida a Augusto Comte há cerca de um século emerge do inconsciente colectivo e, especialmente do dos físicos (!). Ora as verdadeiras evidências como "a Química é uma ciência central" são sempre de difícil afirmação e, mais ainda porque a persistência desta "relação de ordem" caduca agravou a imagem desfavorável da Química e, por isso, dos químicos, que actualmente é veiculada pelos meios de informação e, com frequência, pelos próprios professores [1].

Por estas razões em 1978 [2] surge a ideia de tornar concreta a imagem da "Química uma Ciência Central", pelo menos no que respeita ao ensino universitário da Química em língua francesa (e, mais recentemente em línguas latinas), com o auxílio de exemplos precisos.

Mais tarde, em 1979 [3], realizou-se em Dublin uma Conferência internacional de "Chemical Education" dedicada a: — à afirmação CSC (a Química é uma Ciência Central)



— aos exemplos correspondentes;  
— e ao anúncio dos lançamentos de "ficheiros" para professores agrupando aqueles exemplos.

Em 1982 [4], as primeiras fichas destes "ficheiros" foram apresentadas ao Seminário Internacional organizado pela Universidade de East Anglia (Grã-Bretanha) subordinado ao tema "Chemistry all around us".

Em 1985 é forçoso constatar que:

— a afirmação CSC é continuamente recordada pelos químicos de língua francesa (ver por exemplo [5] e [6], mas: — faltam sempre instrumentos próprios para ajudar os professores a concretizar esta afirmação.

Em particular, devido a uma cooperação científica insuficiente, os "ficheiros" referidos acima progrediram pouco desde 1982.

Por estas razões surgiu a ideia de alargar "o leque de ofertas" em torno deste mesmo tema "Química Ciência Central".

Todo o trabalho didáctico de nível pós-secundário que faça aparecer de maneira concreta e documentada as relações entre um conceito ou um facto químico de base e um aspecto importante pertencente a um outro domínio (científico, histórico, social, económico, político, etc.) beneficiará da "Label CSC".

Este trabalho didáctico poderá apresentar-se sob formas variadas e não impostas: artigo, exercício(s) ou problema(s), protocolo preciso de uma experiência comentada, montagem comentada de recortes de imprensa, de imagens de vídeo, de diapositivos, etc., esquema didáctico, jogo. Só o símbolo da obra foi escolhido:



Uma vez acabada a obra, o título só será escolhido depois de consultados todos os co-autores.

Esperamos evidentemente que o projecto CSC, em caso de sucesso, seja um instrumento concreto útil aos estudantes, aos professores e que contribua um pouco para uma imagem mais objectiva da Química e do lugar que lhe é devido, mas esperamos também que o Projecto CSC constitua um factor de cooperação entre químicos de língua latina. Em conclusão, o Projecto CSC poderia representar o papel de um contrapeso "Química instrumento cultural", tão necessário como a indispensável "Química instrumento profissional" cujo peso é crescente.

#### Referências

- [1] "Libre opinion: au sujet de la place de la discipline chimie par rapport à la physique... et au sein des sciences physiques", M. GOMEL, "Buletin de l'Union des Physiciens", 1985, 676, p. 1376
- [2] "Pour une nouvelle mutation de l'enseignement universitaire de la chimie", M. GOMEL, "L'actualité chimique", 1978, 2, p.46
- [3] "How should we educate chemistry teachers", conférence plénière de M. GOMEL, III<sup>rd</sup> International Conference on Chemical Education, Dublin, 1979, publicação da IUPAC e da UNESCO

\* Colaboram neste número Cristina Ventura, Filomena Freitas, Filomena Martins e Ruben Leitão.

[4] International Seminar on Chemical Education "Chemistry all around us" university of East Anglia, Julho de 1982 — Comunicação de M. GOMEL: The trend: to link chemistry teaching to every day life: some possible causes of this trend". Inclui a apresentação dos ficheiros 1) Química e ambiente e 2) material ou produto químico usual

[5] R. VIOVY, "Chimie et Education, Quelles Recherches? Perspectives et réalités", Bull. Un. Phys., Jan. 1985, 670, p. 445

[6] M. L. BOUGUERRA, p. 14 no fascículo VI "L'enseignement de la chimie dans les pays en voie de développement". Série Les recherches en Didactique de la Chimie — Resultats actuels et travaux à venir (série resultante da Convenção ReCoDir. Rech. Min. Ed. Nat. — DIXIT Min. Rech. Techn.; Edition-diffusion: CUDNME, Faculté des Sciences, Lab. De Chimie XIII, 40, av. du Recteur Pineau, 86022 Poitiers cedex)

O texto precedente é um extracto do artigo publicado em 1986 na revista da Sociedade Real de Química da Bélgica "Chimie Nouvelle" (vol.4 — n.º 15 — 10-86, p. 427, 428).

Nesta publicação foi apresentado o projecto CSC, proposto por M. GOMEL, secretário-geral da rede francófona ReCoDiC, no colóquio universitário internacional "Enseigner la Chimie en Langue Française", Poitiers, Novembre de 1985

### Gostaria de participar no projecto CSC?

Se lhe parece que algum dos seus trabalhos didácticos se situa no quadro CSC aqui descrito, pode propô-lo com vista à sua publicação nesta nova Série de Documentos, qualquer que seja a sua forma actual (artigo, montagem audiovisual, esquema didáctico, etc.).

Neste caso deve dirigir-se:

— à Sociedade Portuguesa de Química (contactar Raquel GONÇALVES, Directora do Boletim)

ou

— ao Service Enseignements Supérieurs-Didactique de la Chimie (SESDIC) (contactar Maurice GOMEL, Secrétaire General)

Secretariado SESDIC — Faculté des Sciences — Laboratoire de Chimie XIII — 40, avenue du Recteur Pineau — 86022 Poitiers cedex — France

Tradução de Ruben Leitão

### IBM inaugura Centro de Suporte para Pessoas Deficientes

O Centro de Suporte para Pessoas Deficientes cuja criação é da responsabilidade da companhia IBM Portuguesa localizar-se-á na sede desta companhia na Praça de Alvalade e destina-se, não só a possibilitar aos diferentes tipos de deficientes o conhecimento das possibilidades das novas tecnologias de Informação, mas também a sensibilizar e esclarecer as entidades e instituições responsáveis pela elaboração de políticas relacionadas como ensino, desenvolvimento e acesso ao mercado de trabalho dos deficientes, independentemente do tipo e grau de deficiência.

O centro agora criado, ligado a outros centros semelhantes existentes em vários países da Europa, terá a seu cargo fazer apresentações, demonstrações e aconselhamento, prestando toda a assistência necessária na divulgação e venda de produtos expressamente criados pela IBM para atender às necessidades dos diferentes tipos de deficientes.

Os trabalhos de estudo, tradução e adaptação à língua portuguesa dos diversos "packages" de "software" e a instalação dos equipamentos necessários ao funcionamento deste centro foram já iniciados, prevendo-se para breve a sua inauguração.

Adaptado de "RS232, INFORMÁTICA", 5, Abril 1989

### Restaurando o poder do cérebro

A aprendizagem por associação é promovida em coelhos em fase de envelhecimento através de uma droga que aumenta o fluxo sanguíneo cerebral e bloqueia os canais de cálcio nos neurónios do sistema nervoso central. A droga nimodipina, quando foi usada pela primeira vez em humanos idosos, facilitou a aprendizagem e apurou a memória. Deyo et al. descobriram que com esta droga os coelhos em fase de envelhecimento aprendiam uma resposta condicionada — piscavam o olho como resposta a um som de um dado tom mais rapidamente que animais não tratados. O comportamento de coelhos tratados era, com efeito, comparável ao de coelhos jovens. A maior parte dos coelhos em fase de envelhecimento nunca aprenderam a resposta, e os poucos que o conseguiram precisaram do dobro das sessões de treino dos animais tratados com a droga. O condicionamento do piscar de olhos é difícil não só para coelhos velhos como para pessoas idosas; assim, o sistema do coelho é um bom modelo para avaliar a eficácia de novas drogas na promoção da aprendizagem e da memória em sujeitos em fase de envelhecimento.

Adaptado de "Science", 10 Fev. 89

### Arma contra salmonela

Um novo tratamento anti-salmonela (Bio-Add) para aves domésticas foi desenvolvido conjuntamente pela BP Chemicals e pela BP Nutrition.

O "Bio-Add", uma mistura líquida de ácidos orgânicos que ocorre naturalmente no sistema intestinal das aves domésticas, é introduzido nas matérias-primas da ração das aves domésticas ou na fase de produção da mistura das rações. Nas matéria-primas, pode eliminar a Salmonela, e uma pequena adição do produto à mistura de rações inibe a proliferação da bactéria.

O modo de actuação do produto é simples. Em primeiro lugar a forma não dissociada do ácido passa através da membrana da célula onde exerce dois efeitos. Os protões (H<sup>+</sup>) diminuem o pH fazendo com que o organismo utilize a sua fonte energética ATP.

Simultaneamente, os aniões dissociados (RCOO<sup>-</sup>) têm um efeito destruidor na síntese do DNA e, conseqüentemente, na síntese da proteína. Estas condições desfavoráveis inibem o desenvolvimento da Salmonela.

A vantagem do "Bio-Add" sobre o tratamento de calor convencional é reduzir significativamente a recontaminação. É, também, um potente inibidor de bolor e não deixa resíduo na ave.

Adaptado de "Chemistry in Britain", 346, Abril 1989

### ΔfH

Yaws e Chiang fizeram recentemente uma listagem de dados termoquímicos para 700 compostos orgânicos, mostrando como os dados podem ser usados para calcular as entalpias de formação a uma temperatura particular, e como estes valores permitem depois o cálculo de entalpias de reacção à mesma temperatura. O autor principal pôs à disposição dos interessados um programa de computador contendo os dados apresentados no artigo (Chem. Eng. 95, (13), 1988, pp. 81-88)

Adaptado de "Ed. in Chem.", Março 89

## Aço sem poluição

A poluição por nitratos e óxidos de azoto é uma das maiores desvantagens da indústria do ácido nítrico. O problema é ainda mais acentuado no caso das fábricas de produção do aço inoxidável. Na sua fabricação o aço inoxidável é sujeito a um banho de ácidos (nítrico e fluorídrico).

O uso de ácido nítrico tem dois grandes inconvenientes: Por um lado origina a libertação de vapores nitrosos tóxicos e por outro leva à dissolução de nitratos nas águas de lavagem. Para reduzir estes efeitos, investigadores da Sociedade UGINE Aciers de Châtillon em colaboração com o IRCID, encontraram uma forma de suprimir o ácido nítrico.

O novo processo de fabrico do aço inoxidável — UG3P — passa agora por um banho em ácido fluorídrico a que se adiciona água oxigenada, a qual elimina aqueles efeitos de poluição.

Estes resultados culminam 10 anos de trabalho, onde se procurou compreender os mecanismos electroquímicos envolvidos no processo.

Adaptado de "La recherche", Dez. 1988

## A culpa do café

Já há algumas dezenas de anos que, sobretudo os Americanos, procuram o "perigo" do café.

Começou por ser o responsável pelo cancro do útero. Investigações, discussões e nada! Depois, respondia pelo cancro da próstata. Investigações, discussões e nada! Seguiu-se o do pâncreas. Mais investigações, discussões e nada! Bom, não sendo o responsável pelo cancro, então favorece a arteriosclerose e agrava as doenças cardiovasculares. De novo as investigações e discussões e nada!

Agora, segundo o National Institute of Health, uma mulher que beba mais de chávena e meia de café por dia, reduz a metade as suas hipóteses de concepção. Mas o desacordo continua: o Dr. Benjamin Younger da American Fertility Society afirma que o estudo não é conclusivo e que tem por base um número muito pequeno de casos. Mas a "culpa do café" é ainda maior!

Em certos meios religiosos dos Estados Unidos foi difundida a ideia de que um crente praticante não deve beber café, já que o "malfadado" produto não é mencionado na Bíblia.

Ideia esta muito interessante, não fora o caso do café ter sido descoberto apenas no século VII e a América senão no XV da nossa era.

Adaptado de "Science et Vie", Março 89

## Aparelhos de Medição de Gases para Protecção Pessoal

A BAYER acaba de desenvolver um aparelho de alarme, fácil de manejar, que é usado junto ao corpo e mede simultaneamente a concentração em metano, oxigénio e ácido sulfídrico. O aparelho foi especialmente concebido para ser utilizado no sector municipal e quando em funcionamento dá um sinal antes dos gases terem atingido uma concentração crítica. Este dispositivo deverá ser de grande utilidade em poços, em depósitos, na canalização dos esgotos ou nas centrais de depuração onde acontecem frequentemente acidentes porque não se verifica de antemão se se formaram gases tóxicos em concentrações perigosas.

## 3 cm de mistério

Uma nova espécie foi descoberta na selva amazónica, num afluente do rio Negro, pelo Dr. Peter Henderson.

Classificada como peixe, apresenta no entanto, algumas particularidades: não tem olhos nem escamas e, mais estranho ainda, vive fora de água.

Novas expedições ao local permitiram obter mais informações: o seu habitat parece ser a zona de folhas mortas nas margens do rio; a sua coloração rosa é devida ao sangue muito rico em oxigénio.

Mesmo sem visão a espécie desloca-se sem aparentes problemas e se colocada em água, encontra de imediato a saída. A reprodução, alimentação e fisiologia são ainda extensos campos de investigação desta espécie, por enquanto, sem nome.

Adaptado de "Science et Vie", Março de 1989

## Comparando "performances"

Um estudo realizado com vista a apurar as "performances" de 24 mil estudantes de 13 anos em 6 nações industrializadas (Grã-Bretanha, Espanha, Irlanda, Coreia do Sul, EUA e 4 províncias Canadianas) em Ciências Físico-Naturais e Matemática atribuiu a maior classificação aos estudantes sul-coreanos, tanto em Matemática como em Ciências, seguidas de perto pelos estudantes da Colúmbia Britânica (Canadá); a classificação mais baixa foi obtida pelos estudantes canadianos (de expressão francesa) e norte-americanos.

Este estudo, para além de ser a primeira comparação internacional em larga escala, tende a refutar a ideia de que há um fosso entre rapazes e raparigas relativamente à aprendizagem da Matemática, excepto na Espanha e Coreia do Sul onde os rapazes ultrapassaram largamente as raparigas neste teste. Na parte do teste relativa às Ciências, pelo contrário, os primeiros obtiveram resultados significativamente melhores em todos os países, à excepção dos EUA e da Grã-Bretanha.

Adaptado de "Nature", 337, 9 Fev. 1989

## Caracterização Económica do Sector Industrial de Produtos Químicos

A Associação Portuguesa das Empresas Industriais de Produtos Químicos acaba de finalizar um trabalho de actualização referente aos anos de 1985-87 intitulado "Caracterização Económica do Sector Industrial de Produtos Químicos", que se encontra ao dispôr dos sócios da SPQ, na sede.

Leia no próximo número:

- Contraceptivo misto para breve?
- Poderá o "Pó de Anjo" salvar vidas?
- A febre da supracondutividade
- Descafeinado mas com aroma
- Um novo modelo para o ADN

...e muito mais!

# CTS

REVISTA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA  
E SOCIEDADE

COLÓQUIO

## ÉTICA E INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA

LISBOA — FORUM PICOAS  
9 E 10 DE NOVEMBRO 1989



ASSOCIAÇÃO DE CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

### PROGRAMA PROVISÓRIO

(TEMAS E COORDENADORES)

1. Liberdade na Investigação Científica  
*João Carça*
2. Limites éticos à Investigação Científica  
*Luís Archer*
3. Cientistas e Discurso Científico.  
Direito/Dever de Comunicação de Resultados  
*Margarida Martinez*
4. Autoria, Juízo dos Pares, Fraude, Carreiras  
*S. Formosinho Sanches*  
*J. Moura Ramos*
5. Ética e Investigação Científica  
— uma perspectiva histórica  
*Resina Rodrigues*
6. Ética, Direito e Investigação Científica  
*M. Eduarda Gonçalves*
7. Ética e Imagem Social dos Cientistas  
*Fernando Machado*
8. Ética/Deontologia no Ensino  
(coordenador a indicar)

---

CTS, REVISTA DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE  
Av. Prof. Gama Pinto, 2  
1699 LISBOA CODEX

## O Contra-senso em Imagens \*

Pierre Laszlo <sup>a</sup>



LASZLO (Pierre), Universitário. NASC. 15/8/38 em Alger. Filho de François Laszlo, Eng. hidráulico e de Madeleine Aczel. CAS. 15/2/62 com Martine Fayein (3 filhos: Sophie, Chloé, Aline). ESTUDOS. Liceus Champollion em Grenoble e Saint-Louis em Paris. Liceu franco-brasileiro no Rio de Janeiro. Universidades de Grenoble e Paris. DIPLOMAS. Licenciatura em Ciências. Doutoramento em Ciências. CARREIRA. Assistente na Universidade de Paris (61/62), Investigador Auxiliar na Universidade de Princeton (EUA) (62/63), Mestre-Assistente na Universidade de Paris-Orsay (63/66). Professor-Assistente na Universidade de Princeton (66/70), Professor na Universidade de Liège (depois de 70), na Escola Politécnica (depois de 86). OBRAS. «Organic Spectroscopy» (1971) (tradução francesa, 1972); «Leçons de chimie» (3 vol. 1974); «Protons and Ions Involved in Fast Dynamic Phenomena» (1978); «NMR of Newly Accessible Nuclei» (1983); «Cours de chimie organique» (1984); «Molecular Correlates of Biological Concepts» (1986); «Preparative Chemistry Using Supported Reagents» (1987). 150 artigos. CONDEC. Cavaleiro das Palmas Académicas, Oficial da Ordem de Léopold (Bélgica). DIST. Prémio trienal da Sociedade Química Belga (1980), Prémio dos sábios franceses fuzilados pelos alemães em 1940/44 (1981). PASSATEMPOS. Tradução de poemas de Pétrarca, música. Interessa-se pela história intelectual, pela ligação ciência-literatura. DESPORTOS. Sky, natação, ténis, squash, marcha. MEMBRO das Sociedades Químicas da Bélgica, França, Grã-Bretanha, EUA, Suíça, da Academia das Ciências de Nova York.

### O texto

Inserido no *Cosmopolita ou Nova Luz Química* (com um diálogo do Mercúrio, do Alquimista e da Natureza), de Jean Béguin (J. D'Houry, Paris, 1669, pag. 22-23) encontra-se um "Tratado do Sal", qualificado de "discurso em verso" e constituído por 24 versos sem rima. Ei-lo\*\*:

- Resolva então a sua pedra duma maneira conveniente,  
 Não de um modo sofisticado;  
 Talvez seguindo o pensamento dos Sábios
- 4 Sem a ela juntar qualquer corrosivo;  
 Uma vez que não há qualquer outra água,  
 Que possa resolver a nossa pedra;  
 Excepto uma pequena fonte muito pura e muito clara,
- 8 Que deixa fluir de si própria,  
 O humor apropriado para a dissolução,  
 Mas ela está escondida de quase toda a gente,  
 Ela aquece tanto por si mesma,
- 12 Que consegue que a nossa pedra transpire lágrimas;  
 Ela só precisa de um lento calor externo,  
 É principalmente disto que se devem lembrar,  
 Mas é ainda preciso que eu vos descubra uma outra coisa;
- 16 Que se não virem nenhum fumo negro por baixo,  
 E uma mancha branca por cima,  
 A vossa obra não ficou bem feita,  
 Enganaram-se na dissolução da pedra.
- 20 Já assim sabiam interpretar este sinal,  
 Mas se procederem como devem proceder  
 Aperceber-se-ão que a nuvem negra,  
 Rapidamente se afundará,
- 24 Ao mesmo tempo que o espírito tomará a cor branca.

<sup>a</sup> Laboratoire de Chimie, École Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, França.

\* Traduzido e adaptado por Raquel Gonçalves, com o acordo do Professor Pierre Laszlo, de «La déraison en images»; Études françaises, 19, 2, pag. 64-80. A versão original contém uma Introdução e referências explicativas que foram suprimidas por motivos de paginação.

\*\* Obteve este poema graças ao Prof. Jean-Paul Pittion, do Trinity College de Dublin, o qual me fez descobrir em Agosto de 1979 a biblioteca Marsh e a sua colecção Bouhereau, extremamente rica em livros de Química e Alquimia do sec. 17. Aqui lhe deixo o meu agradecimento em nome da nossa velha amizade.

Esforçar-me-ei por analisar este breve texto sem ceder demasiado às duas tentações a que se expõe o estudante de alquimia: traduzi-lo de modo totalmente positivista para a linguagem da nossa química moderna, com o perigo inerte de eclipsar o seu brilho interior; aplicar sem discernimento diversas técnicas da crítica literária, o que transformaria este verdadeiro texto (pré)-científico em literatura de pouco nível. Trata-se, na verdade, de um texto "tradicional"; e Jean Béguin, que publicou os *Elementos de Química* em 1647 em Rouen, diz ter traduzido o seu *Cosmopolita* do latim de um certo Sendivogius, autor cuja identidade permanece obscura. Não me debruçarei sobre a ilusória procura das suas fontes e tratarei o poema, tal como ele foi recolhido e transcrito por Jean Béguin em 1669, como um documento da história intelectual do séc. 17; e como uma amostra, preciosa pela sua rica concisão, da literatura da alquimia.

### Revelação dos paradoxos

No centro deste poema reside uma imagem insólita: "[...] a nossa pedra transpire lágrimas".

Em relação a este eixo médio, o verso 12, podem distinguir-se seis grupos cuja importância é *grosso modo* equivalente: os quatro primeiros versos especificando o estilo imperativo do discurso; os cinco versos seguintes que se ligam, pelo menos aparentemente, a uma referência ("uma pequena fonte muito pura e muito clara"); os três seguintes que retomam o cariz hermético ("Mas ela está escondida de quase toda a gente"). Depois, na segunda parte do poema, após a quebra dramática do verso 12, os versos 13 e 14 reatam o estilo prescritivo dum protocolo experimental; enquanto que os cinco versos que se seguem (15-19) tratam de outra referência concreta ("fumo negro por baixo/mancha branca por cima"), tem um valor duplamente simbólico, uma vez que é responsável pelo procedimento adoptado. Os cinco últimos versos, (20-24), finalmente, parecem uma repetição dos precedentes, com a retomada do tema hermenêutico ("Já assim sabiam interpretar este sinal") até à consumação da "cor branca".

Retornemos ao verso 12: "ela (leia-se: "uma pequena fonte muito pura e muito clara") consegue que a nossa pedra transpire lágrimas". A pedra, que é o objecto da obra, é, como se vê, concebida como qualquer coisa orgânica; o que está de acordo com outra confusão entre natureza orgânica e mineral que é a seguinte: a pequena fonte "que deixa fluir de si própria" (v. 8) e que se "aquece tanto por si mesma" (v. 11).

Existe aqui um duplo sentido, químico, o duma reacção exotérmica na transpiração da *pedra* e moral ou tropológico, o duma agonia, tal como a da Paixão de Cristo, preâmbulo indispensável a uma apoteose. O poema inscreve-se entre os dois polos da *dissolução*, morte aparente, já que ele transforma o sólido num líquido, e o da *sublimação* final, que converte — dualismo do corpo e do espírito — "uma matéria corporal, homogénea, grosseira, terrestre, fixa, numa matéria subtil e leve, líquida, suave, volátil a aerífera, que sobe no ar". Tal sublimação é classificada segundo os alquimistas de "volatilização do fixo".

Esta manifestação final do espírito responde à exigência de revelação, no "Tratado do Sal", do que é oculto "[...] ela está escondida de quase toda a gente" (v. 10); "Mas é ain-

da preciso que eu vos descubra uma outra coisa" (v.15); "Já assim sabiam interpretar este sinal" (v. 20).

Como procurar a hermenêutica, o sentido por detrás das manifestações visíveis, passar do registo materialista à significação simbólica da Alquimia? O texto obriga-nos a uma atitude paradoxal, uma lógica dos contrários.

### Uma outra lógica

Uma vez que o nosso poema é também "discurso do método": "Resolva então a sua pedra duma maneira conveniente" (v. 1); "É principalmente disto que se devem lembrar" (v. 14); "Mas se procederem como devem proceder" (v. 21). Mas um "discurso do método" manifestamente insuportável ao autor do "Discurso do Método": Descartes sobre os alquimistas e os seus discursos confusos, incoerentes e contraditórios sempre se mostrou sarcástico. Na sua carta de 23 de Novembro de 1646 ao Marquês de Newcastle \*, por exemplo, ataca-os nestes termos:

"Subscrevo totalmente o juízo de Vossa excelência sobre os químicos, e creio que eles nada mais fazem do que dizer palavras não comuns, com o fim de se mostrarem sabedores do que não sabem [...] na minha opinião, os seus sal, enxofre e mercúrio não diferem entre si mais do que os quatro elementos dos filósofos, nem mais do que a água difere do gelo, da espuma e da neve: penso que todos os corpos são feitos duma mesma matéria e que não há mais nada que faça a sua diversidade a não ser as pequenas partes da matéria que compõem uns se rearranjarem doutro modo, ou se agruparem diferentemente, do que as que compõem os outros".

"Eles nada mais fazem do que dizer palavras não comuns...", exclama Descartes. É também assim o caso do autor do nosso texto. Desde que se esmiuça um pouco, as contradições aparecem. Exemplos: 1.º "ela aquece tanto por si mesma" / "ela só precisa de um lento calor externo" (v. 11 e 13). 2.º ("A pequena fonte) aquece tanto [...] que a nossa pedra transpira lágrimas" (v. 11 e 12). 3.º no verso 24, o branco é qualificado de "cor". As ambiguidades também: "ela só precisa de um lento calor externo" refere-se à pedra, ou à pequena fonte?

Na passagem supracitada, Descartes explica a diversidade no aspecto macroscópico dos objectos e das substâncias pelas diferenças geométricas na forma ou no arranjo dos constituintes microscópicos. A esta lógica atomista, o nosso poema alquímico opõe uma lógica holística e orgânica, a de Ouroboros, e da pequena fonte autónoma! ("uma pequena fonte [...] que deixa fluir de si própria" (v. 8); "ela aqueça tanto por si mesma" (v. 11). Este totalitarismo não deixa de evocar o poder absoluto, o do Rei-Sol, sobre o qual Louis Marin\*\* mostrou que se exercia pela confusão entre a realidade e os signos com que se revestia\*\*\*.

Coexiste com o monismo da substância um dualismo das aparências: o texto desenvolve-se por uma dinâmica de antíteses.

\* Descartes, *Obra. Cartas*, Paris, Gallimard, "La Pléiade", 1941, pag. 1012-1013.

\*\* L. Marin, *O Retrato do Rei*, Paris, Minuit, "Le Sens commun", 1981.

\*\*\* Cl. Rosset, "L'effet royal", *Crítica*, 417, 120-129 (1982).

\* (Guillaume Salmon), *Dicionário Hermético*, L. D'Houry, Paris, 1695 (Gutenberg Reprints, 1979) pag. 191-192.

“maneira conveniente” / “modo sofisticado” (v.1 e 2)  
 “fonte [...] muito clara” / “escondida de quase toda a gente” (v. 7 e 10)  
 “fumo negro” / “mancha branca” (v. 16 e 17)  
 “por baixo” / “por cima” (v. 16 e 17)  
 “nuvem negra” / “a cor branca” (v. 22 e 24)

Como escreveu Michel Butor \* “os textos (alquímicos) acumulam desafios ao princípio da não-contradição”. O nosso texto, aparentemente inofensivo e curioso, estimula-nos, no entanto, desde o seu título: “Tratado do Sal”. Seguramente, este pequeno poema não pretende ser um tratado; e, pelo menos na aparência, não se debruça sobre o sal!

### A transgressão das regras do discurso clássico

Ao que parece, um texto alquímico como este violaria os ideais cartesianos do pensamento claro e distinto. Em geral, a literatura alquímica do séc. 17, longe de utilizar o corpo tradicionalmente considerado como clássico, Pascal, Racine, Madame de La Fayette, funciona como seu complementar. Ela é o contra-exemplo da *Lógica* de Port-Royal. Esta análise, porém, tem de ser cuidadosa. Em resumo, a literatura alquímica, longe de se opor ponto por ponto à “grande” literatura clássica do séc. 17, partilha com ela o que eu designaria, de uma maneira totalmente anacrónica, pelo termo, atribuído a Bachelard, de “racionalismo aplicado”. Com uma excepção importante: no discurso da alquimia, os significantes permutam sem cessar; enquanto que no discurso clássico, a única permuta lícita é a do significante com o significado. Pelo contrário, o discurso da alquimia aparenta-se com o *discurso jurídico*, no qual o ideal clássico serve de máscara e de contrapeso. Explicitemos estas complicadas afirmações.

Um *racionalismo aplicado*: o ideal dos autores do séc. 17, com a submissão à razão,

“Nós que às regras da razão nos comprometemos...”\*\*

uma razão que procura a verdade no estudo da natureza,

“Que a natureza seja então o vosso único estudo”\*\*\*

desconfiando dos falsos semblantes da imaginação ou do amor-próprio e inscrevendo-se numa tradição sagrada (a Bíblia, os Padres da Igreja) ou consagrada (a Antiguidade), como se pode constatar lendo Pascal (“...eu troço dos autores que não são contrários à tradição”\*\*\*\*) ou dos prefácios de Racine.

Nada a reter de tudo isto para ser aplicado ao discurso alquímico, oh surpresa! A distinção, de facto crucial, encontra-se na álgebra da circulação dos termos do discurso, da forma como a *Lógica* de Port-Royal, entre outras, está formalizada. Como diz o Padre Jesuíta a Pascal, no *Quarto Provincial*: “Substituir a definição pelo definido não altera o sentido do discurso”. O que de algum modo se antecipa ao cálculo das proposições.

É aí que se encontra a clivagem, pois que no discurso alquímico, como vimos, há um constante resvalar de um definido para outro. Tal como no discurso jurídico, no discurso político que utiliza o discurso clássico que nos foi transmitido por Madame de Sévigné. Cardeal de Retz e Saint-Simon, vemos evoluir impenetráveis mônadas (o Rei, *Monsieur, Condé*, etc.) em relação aos quais os cortesãos avaliam as posições e as opiniões e admiram os seus menores caprichos ou iras para lhes insuflar as suas próprias opiniões, atitudes e acções. É um mundo opaco onde se movem silenciosamente criaturas gigantes, frias e monstruosas, em redor das quais os mexericos da Corte devem andar numa roda-viva, para que ele possa sobreviver. O delírio interpretativo deste mundo (para algo extrair da incomunicabilidade total, da incompreensão profunda entre os âmagos destas personagens políticas) parece-me perfeitamente isomorfo do delírio interpretativo do Adepto que deseja compreender as palavras ou um texto do seu Mestre-de-Alquimia.

Um contra-senso em imagens, com imagens coloridas, fortes, cheias, tal como a imagem da fonte, é o que vamos agora desenvolver.

### A fonte de piedade\*

“Uma vez que não há qualquer outra água”, diz o nosso texto, “[...] uma pequena fonte muito pura e muito clara” (v. 5 e 7). Esta água de purificação, que associa frequentemente à pureza e à limpidez uma terceira qualidade, a subtilidade, é de primordial importância para os alquimistas.

Basile Valentin, por exemplo, assim se dirige ao Adepto “Para ti [...] que ousas pesquisar a fonte da nossa Obra”\*\*, para descobrir “a fonte de todas as mercês”\*\*\*. Que fonte mágica é esta que, imaginário ou real, se adorna de todas as virtudes? Podemos-nos atrever a identificá-la com o mercúrio “puro, subtil, claro, tão brilhante como uma pequena fonte, transparente como o cristal e sem qualquer sujidade”\*\*.

O pendente simbólico é o de uma ascése purificadora, dum retorno às origens, ao núcleo primordial intacto e brilhante dum alma límpida, vivendo numa esplendorosa claridade paradisíaca, no momento bendito da Redenção. Esta água purificadora, se a conseguirmos encontrar, é inesgotável: a água da profunda fonte [...] nunca acaba\*\*. E — justificação daquilo que eu avancei a propósito da circulação dos enunciados alquímicos, como seja a identificação desta fonte com o Mercúrio Filosófico — a Pedra torna-se fonte, ela própria transpira um líquido, um orvalho, até mesmo lágrimas como se diz no verso 12, o que exprime um tema tradicional, o do carácter vivo (e vivificador) da Pedra. Assim nos indica um outro tratado, contemporâneo do de Jean Béguin\*\*\* “há dois aspectos na Pedra: o conheci-

\* Se o leitor deseja uma ilustração para além do texto, examine uma reprodução do quadro de Jérôme Bosch, no Museu do Prado, *O Jardim das Delícias*. Este quadro mostra uma graciosa fonte rosa, no eixo da figura de Cristo pintado da mesma cor, assente sobre um montículo de lodo onde brilham gemas cristalinas e pérolas, magna primordial, matéria prima do alquimista. Esta fonte é para o pintor, mais do que uma fonte, é um vaso litúrgico, coração ou receptáculo do sangue de Cristo, o Santo-Graal.

\*\* Basile Valentin, *As Doze chaves da filosofia*, trad., introd, notas e explicações das imagens por E. Canseliet, Paris, Minuit, 1956. B. Valentin é uma figura mítica ou apócrifa do séc. 15, associada a Paracelso pelos seus adeptos.

\*\*\* *O Fio de Ariadne. Para entrar com segurança no labirinto da Filosofia Hermética*, Paris, L. d'Houry, 1695.

\* M. Butor, *Reportório*, Paris, Minuit, 1960.

\*\* Boileau, *Arte Poética*, III.

\*\*\* Pascal, *Quarto Provincial*, Paris, ed. F. Brunetière, Hachette, 1910, (ed. de 1947).



Jerôme Bosch, «O Jardim das Delícias» (pormenor)  
Museu do Prado, Madrid

mento imediato de que é o mercúrio; e a matéria remota que é a água, uma vez que ela tinha sido água antes de ser mercúrio”.

### Um fogo secreto

Para que se realize a operação, física e espiritual, evocada pelo nosso texto, é suficiente uma pequena força exterior ao sistema, servindo de auxiliar: “É principalmente disto que se devem lembrar” (v. 14).

“Ela só precisa de um lento calor externo”

(por lento, entenda-se mantido durante largo tempo, a um nível relativamente fraco). Para que serve este “lento calor externo” do verso 13? O verso 11, “Ela aquece tanto por si mesma”, descreve apropriadamente o que um químico actual qualificaria de imediato de reação exotérmica, mas que, para os alquimistas, se revestia de um profundo significado.

Os versos 11 e 13 contrastam nas espécies de calor: um *lento* e *externo*, tal como o calor das cinzas “sobre o qual o ovo Filosofal se conserva, e que tem um calor doce proveniente do vapor temperado da lamparina”\*; outro aquecimento *violento* e *interno* da Pedra em contacto com o seu líquido de dissolução que ela própria gera, de modo suicida. Este segundo fogo, qualificado pelos alquimistas de *fogo natural*, segregado pela Pedra e secreto, é igualmente qualificado, com frequência, de *água seca*. Trata-se de um “operador universal”\*\*, absolutamente indispensável à Obra, e que no séc. 16 Gerhard Dorn assim descrevia\*\*:

“um fogo vaporoso, nebuloso, durável, capaz de permitir digestão e cozedura, que não faz chama, que não realiza volatilizações nem ebulições, mas que está fechado e rodeado de ar, que não se consome nem se destrói, mas que altera e penetra. [...] um fogo corrosivo que recobre de algum modo o ar, por cima do nosso recipiente, de uma nuvem [...] (um) orvalho do caos.

Este fogo, o do Sol segundo nos diz o *Dicionário Hermético*\*\*\*, é o da energia cósmica, de um plasma pulsátil de batimento harmonioso, regular, animador do universo. É através deste fogo que se aquece a Pedra, que passa a *transpirar lágrimas*, de acordo com verso 12 do nosso texto.

### Cristologia

A *pequena fonte* do poema evoca a *fonte da vida*, de que nos fala Basile Valentin, na sua “Primeira Chave”\*\*\*\*:

Mas, meu amigo, previna-se diligentemente, de modo a que a fonte da vida seja encontrada pura e clara. Nenhuma água estranha deve ser misturada com a nossa fonte, que nenhum malogro aconteça e que do peixe saudável não nasça uma serpente.

Nestes momentos, o texto alquímico parece utilizar um discurso teológico. O tema cristão é trazido para primeiro plano. Parece inclusive escutar-se o *Requiem* de Mozart:

\* (Guillaume Salmon), op. cit., pag. 62.

\*\* Bernard Gorceix, *Alquimia*, Paris, Fayard, 1980.

\*\*\* (Guillaume Salmon), op. cit.

\*\*\*\* Basile Valentin, op. cit., pag. 109.

*Rex tremendae majestatis  
Qui salvandos salvas gratis  
Salva me, fons pietatis!*

O poema incita à dissolução (do corpo) como preparação da exalação da alma e do espírito. E, no seu eixo médio, onde se adivinham múltiplos sentidos, a expressão “transpire lágrimas” deve ser tomada como uma alusão evidente ao Golgatha. *Transpirar lágrimas*: o terceiro termo, ausente neste “Tratado do Sal” que descreve a parte de elaboração alquímica denominada “Obra ao Negro”, o outro humor trazido à evidência por esta conjugação do suor e das lágrimas, é o sangue de Cristo. O objectivo da Obra é a elevação final do vermelho do sangue de Cristo, que se segue à mortificação da Obra ao Negro, na qual o sofrimento tem o carácter de iniciação. Neste estádio da Obra ao Negro, o sangue não aparece explicitamente, e o vermelho encontra-se dissimulado. Tudo se passa como no quadro “São Jerónimo penitente” de Georges de La Tour, no Museu de Grenoble: o quadro *não mostra* os ferimentos que o santo se infligiu, e que o espectador adivinha, dolorosos, no seu ombro esquerdo, em segundo plano. Nesta tela, o santo é-nos apresentado de perfil, numa postura sofredora e ambígua, o joelho esquerdo em terra, a perna direita semi-flectida semi-distendida: penitente, por um lado, e mundano, por outro, evocando curiosamente um cavaleiro. Na sua mão esquerda segura firmemente uma cruz simples. Da mão direita pende um pedaço de corda cuja extremidade está vermelha de sangue. O outro elemento vermelho deste quadro é um pano onde se enrola, meio-nu, São Jerónimo. No solo, algumas pedras; e, de pé quase miraculosamente, como se sobre uma estante (ausente, é claro), um grande livro, o das Escrituras, aberto ao meio, e do qual o santo, na sua meditação, inclinado sobre a cruz, se desviou.

Nesta tela, tal como no poema alquímico que examinámos, a realidade está por assim dizer suspensa: a personagem está isolada dos seus semelhantes; quase nu e numa espécie de deserto; as suas feridas não são visíveis; etc..

Georges de La Tour organizou na tela uma rede de *analogias* e de *inversões*. Analogias: o santo está só com o seu sofrimento, à semelhança de Cristo na cruz; a sua penitência lembra a de Cristo; a ponta da corda evoca os pregos e a coroa de espinhos. Inversões: o quadro mostra o que é invisível: a penitência; a renúncia; a piedade.

De modo paralelo/convém entender que a “pequena fonte” do poema alquímico:

- não tem nascente exterior
- não dá uma água qualquer
- não se encontra numa praça pública, mas sim no nosso foro íntimo

Assim, uma regra de leitura do poema podia ser: adoptar o sentido oposto, uma vez que se trata de um discurso paradoxal, invertido. Aplica-lo-emos mais tarde.

Porquê uma tal alteração da forma e do estilo do discurso, não só no poema alquímico como também no quadro de La Tour e em muitas outras obras clássicas\*?

Não será este o local indicado para desenvolver a resposta a esta questão. Limitar-me-ei a algumas indicações: o heliocentrismo generalizado do séc. 17 em França, o do Rei-Sol, organiza ligações entre esferas (o Rei, a sociedade,

a língua, as instituições públicas, a natureza animada e a natureza inanimada). Num tal panorama, a dinâmica destas passagens ou conexões irradia uma ideologia aumentativa da glória do Rei; isto é, literalmente, da luz que ele emite; o que implica também o desaparecimento dos sectores de sombra, de ambivalência ou de ambiguidade.

Por entre as subversões do discurso, ou da ideologia oficial e régia — que se caracteriza como tautologia e focalização no Rei —, encontram-se subversões por alteração da forma e do estilo do discurso\*; através das perturbações da palavra, que recorrem ao irracional; subversões *paradoxais*, por reforço quase anómalo a equivalências e conexões (exemplo: o antropomorfismo de La Fontaine, ao pôr os animais a falar); e ainda as subversões religiosas — as do jansenismo; do pietismo de Madame Guyon; de Fénelon; de Pascal.

Com efeito, em oposição surda ao discurso omnipresente e totalitário do Rei-Sol, encontramos o cristianismo e todas as *desconexões* que lhe são próprias: independência entre a esfera civil e a esfera religiosa (“dar a César...”); separação do *humano* do *divino*; a sociedade humana é uma imagem imperfeita da reunião dos bem-aventurados; os idiomas dos homens (pós-babilónicos) são também imagens imperfeitas duma comunicação infinitamente fácil; a figura humana é uma imagem imperfeita de Deus.

A convergência do discurso alquímico e do discurso cristão não é pois acidental, e assemelha-se porventura a uma aliança táctica!

### Permutações

Discurso paradoxal, diríamos nós, uma apresentação que interfere com a lógica, inverte a perspectiva. É assim o discurso alquímico, se acreditarmos de novo em Basile Valentin (“Da grande Pedra dos Antigos Sábios”)\*\*:

Faz com que o que está no alto fique em baixo e o que é visível, invisível, palpável, impalpável e de novo, faz com que o que está em baixo fique em cima, do invisível, o visível, do impalpável, o palpável. Isto é tudo arte [...]

Do mesmo modo, o texto do nosso poema, repartido entre oposições semelhantes — conveniente/sofisticado (v. 1 e 2); esconder / descobrir (v. 10 e 15); interno / externo (v. 10 e 13); por cima / por baixo (v. 17 e 16); negro / branco (v. 16 e 17, 22 e 24) —, organiza uma circulação da leitura entre os quatro elementos primordiais: a Água alia-se ao Fogo (vermelho) para originar, passando pelas trevas da melancolia, o Ar, rapidamente até à brancura luminosa; é no meio de operações realizadas sobre a Pedra, que participa o elemento Terra.

Como nos explica Guillaume Salmon\*\*\*:

Pôr o que está por cima em baixo e o por baixo em cima, é modificar as naturezas, isto é os elementos, ou fazer seco o que é húmido, e o que é corpo fazer-se espírito.

Tomemos um exemplo: experimentemos uma operação de inversão sistemática. Que se obtém? Qualquer coisa deste género:

\* J. D. Lyons, *op. cit.*; S. Meleuc, *op. cit.*.

\*\* Basile Valentin, *op. cit.*, pag. 95.

\*\*\* (Guillaume Salmon), *op. cit.*, pag. 40.

\* J. D. Lyons, *Romanic Review*, 72, 383-400 (1981); S. Meleuc, *Languages*, 13, 84, Março 1969.

bem no fundo, a cor branca;  
no alto, uma emanação (ou espírito) negro;  
um forte calor interno;  
a partir da dissolução de um líquido concretiza-se uma  
pedra;

ela arrefece por si própria;  
ela aparece finalmente ao Adepto;  
ela emite uma pequena fonte;  
é preciso juntar um agente corrosivo;  
e assim teremos coagulado a pedra.

Constatemos simplesmente que uma tal inversão, tão brutal quanto simplista, pode funcionar.

O discurso alquímico estabelece, provavelmente, toda uma combinatória. Será preciso esperar por Leibniz para que o pensamento racional experimente, por seu lado, toda a virtude geradora de novos conceitos, dum pensamento simbólico deste tipo operando por manipulações estritamente regidas por leis.

### Este poema é um texto pré-científico

O poeta, assim que considera a "pequena fonte", seja ela qual for, incita-nos a observar este objecto com um olhar muito particular. Com efeito, este objecto escapa às regras do nosso mundo comum. Entendo que aí existe a conceptualização pré-científica de um objecto — que mais tarde, no séc. 18, se tornará microscópica desde o momento em que, com Buffon, Needham, Spallanzani, Dalton, Lomonossov, etc. o pensamento científico se tornou atomista. Este texto pode igualmente ser considerado como científico atendendo à sua axiomática (procura da verdade); pelo seu carácter de protocolo, simultaneamente transmissão de um saber e papel maioritário conferido à experimentação; pela importância atribuída às observações (da destilação da pedra; da aparição de um fumo negro, por exemplo); e pelo seu carácter predictivo (se fizer isto, sucederá aquilo). Para além disso não convém esquecer a alquimia, pela importância que aí toma a noção de *transformação* que revitalizou toda a ciência ocidental.

Com o risco de parecer exagerar, direi que as exclusões e selecções que abundam na forma do poema são também testemunho do seu carácter anunciador do método científico dos tempos modernos: focalizar a atenção sobre um fenómeno natural, dele excluindo o resto do mundo.

Pelo contrário, este texto foge da ciência, pelo menos àquela que é definida (de uma forma imperfeita, sem dúvida) pelos nossos critérios científicos, uma vez que não integra qualquer *explicação* dos fenómenos observados; porque se pode e deve ler com *duplo* significado; e por causa da flutuação que daí resulta, devido às palavras não terem uma acepção única e precisa entre significante e significado.

Nos finais do séc. 17 princípios do séc. 18, assistiu-se em França a uma proliferação de livros e opúsculos alquímicos: este incremento, sugiro, pode ter sido uma resposta à submissão do espírito a uma religião de Estado, esvaziadora das consciências individuais, após a Revogação do Édito de Nantes. Ela foi talvez o acompanhamento e o sintoma de uma crise intelectual a partir da qual nasceu a ciência moderna.

Com efeito, a que atribuir uma tal vaga de alquimia no momento exacto em que o seu carácter científico era posto em dúvida? O exemplo, que nos é contemporâneo, de *O Des-*

*pertar dos Mágicos\** ajuda-nos um pouco. Quando a ciência triunfa, é tentador atacar-lhe vivamente as suas fronteiras, denunciando as insuficiências do racionalismo. Era isto que levava Descartes a considerar o discurso alquímico como não científico e errado, até mesmo perverso.

### Aplicabilidade dos instrumentos das ciências humanas aos textos científicos

Existe uma separação entre textos ditos científicos e textos ditos literários. Uma tal demarcação é, por certo, largamente arbitrária. Eu vejo-a, no entanto, fundamentada numa prática: os primeiros respondem a uma questão; os segundos propõem uma certa visão do mundo. O objectivo do estudo de um texto, pelo lado literário, é uma incorporação: a escrita de um comentário faz-se na margem de outro texto literário; ele visa a reconstituição, por via indirecta do dito texto, duma totalidade; e propõe-se compreender uma mensagem entre outras. Do lado da ciência, os objectivos são outros: fazer entrar o texto estudado na história da ciência, sendo esta concebida como uma totalidade em via de realização; representar a tradição e a inovação; descobrir um novo jogo, uma redistribuição dos conceitos, numa cronologia na qual se fixam os limites temporais de estabilidade ou de modificação.

A semelhança entre estas duas actividades encontra-se na sua multiplicação: a crítica literária é totalizante, quer ao nível do próprio texto, quer ao nível da sua base de construção. A história das ciências é também totalizante, quer interna quer externamente.

As diferenças, porém, são patentes. Se o comentário ao texto literário pode ser, ele próprio, literatura, o do texto científico distingue-se frequentemente de ciência. O idealismo da crítica literária recorre à pluralidade das mensagens. O positivismo da história (ou da filosofia) das ciências procura uma mensagem unívoca, tenta reconstituir o que ela realmente diz. Estas oposições fazem-nos retroceder a uma distinção fundamental. A crítica literária herdou a tradição hermenêutica de interpretação de textos sagrados (Bíblia); e ela teria tendência a reintegrar o sagrado na literatura pela via indirecta da estética (Mallarmé). O estudo do texto científico (que resolve um problema, responde a uma questão) situa-se inteiramente no registo do profano, cujos objectivos são muito raramente apoloéticos; a religião é posta entre parênteses; e os trabalhos que emanam do interior de um conjunto de crenças (ou paradigma) visam somente a supressão racionalista do carácter sagrado da natureza.

Esta distinção essencial, do sagrado e do profano, tem muitas consequências. O vaticínio (Sigogne; Antonin Artaud; Raymond Russel) aparece por seu lado como lirismo puro, e como alienação do conhecimento científico. O equivalente ao estudo de *um texto* literário, é talvez a análise de *um período* científico. Inversamente, o risco na aplicação dos instrumentos da crítica literária ao estudo dos textos científicos — que explica provavelmente o sectarismo generalizado entre os historiadores das ciências — é sobrepor ao "texto" científico noções subjectivas, anacrónicas, com o perigo de distorcer o seu verdadeiro sentido; e acompanhar-se de ignorância de outros textos científicos, anteriores ou contemporâneos, que permitem explicar aquele que se estuda.

Como responder a esta objecção? Ou adicionando ao discurso dos historiadores das ciências o que ainda não foi di-

\* L. Pauwels e J. Bergier, *O Despertar dos Mágicos*, Venda Nova, Bertrand, 1987 (12.<sup>a</sup> ed.).

to por meio de uma estratégia cruzada ou, e é essa a minha escolha, partindo do *não-dito* do texto científico. É neste ponto que eu vou insistir para terminar.

### O estudo dos textos alquímicos como modelo para a crítica literária

Voltemos ao nosso texto. Explorámos a pluralidade dos seus sentidos:

Mortificar o corpo para exaltar o espírito.  
(regra mística)

A morte de Cristo prefigura o Julgamento Final, os Justos para a Paraíso e os Maus para o Inferno.  
(teologia)

No princípio era a água;  
a terra emergiu das águas;  
a terra aqueceu,  
e a água rolou sobre a terra;  
a luz separou-se das trevas.  
(cosmogonia)

Em contacto com um solvente, o sólido (a pedra) sofre uma reacção, ou transição de fase, fortemente exotérmica, com formação de um líquido, se-

guida de um desprendimento de vapores brancos com formação de um precipitado ou de fumos negros mais pesados.

(química)

Acelerar o coração para estimular o cérebro.  
(iatroquímica)

Pelo contrário, a leitura de um texto alquímico como se se tratasse de um texto literário, exige a manutenção da união dos diversos significados. Num texto-Proteu, que se altera de leitura em leitura, as evidências que acompanham os vários pontos de vista sucedem-se.

A crítica literária negligenciou até agora a literatura alquímica\*. Esta foi abordada com sucesso por outras disciplinas: história intelectual (Alexandre Koyré); mitologia comparada (Mircea Eliade); psicanálise (Carl Jung). É, no entanto, um domínio rico, terreno e húmus simultaneamente, que me parece ao mesmo nível dos métodos e das preocupações da crítica contemporânea. Este foi um ensaio para o demonstrar.

\* Um encontro foi, todavia, organizado sobre este assunto em Junho de 1977 pela Sociedade do séc. 17. Os textos correspondentes podem ler-se em *Dix-septième siècle*, 120, 1978 e *Australian Journal of French studies*, 12, 1, 1981.

## Convite à Reflexão

### Os Defeitos do Realismo: a química do átomo

Em vez de se acrescentar directamente ao electrão propriedades e forças, vai-se-lhe acrescentar números quânticos e, segundo a repartição destes números, deduzir-se-á a repartição dos lugares destes números, deduzir-se-á a repartição dos lugares dos electrões no átomo e na molécula. Aprenda-se bem a súbita volatilização do realismo. Aqui, o *número torna-se um atributo, um predicado da substância*. . . assim, a Química, que foi durante muito tempo a ciência substancialista por excelência, vê o conhecimento das suas matérias volatilizar-se cada vez mais. Se julgamos o objecto segundo as provas da sua objectividade, devemos dizer que o objecto se matematiza e manifesta uma aproximação singular da prova experimental e da prova matemática. O abismo metafísico entre o espírito e o mundo exterior, tão intransponível para os

metafísicos intuitivos imediatos, aparece menor para uma metafísica discursiva que tenta seguir os progressos científicos. Pode-se mesmo conceber um verdadeiro deslocamento do real, um depuramento do realismo, uma sublimação metafísica da matéria. A realidade transforma-se, primeiro, em realismo matemático, depois o realismo matemático dissolve-se numa espécie de realismo das probabilidades quânticas. O filósofo que segue a disciplina dos quanta — *la schola quantorum* — aceita pensar todo o real na sua organização matemática, melhor ainda, habituar-se a medir metafisicamente o real pelo possível, numa direcção estritamente inversa do pensamento realista. Portanto, exprimamos esta dupla supremacia do número por uma fórmula polémica: a substância química não passa da sombra de um número.

Gaston Bachelard, "O Novo Espírito Científico"

6  
C  
12,011

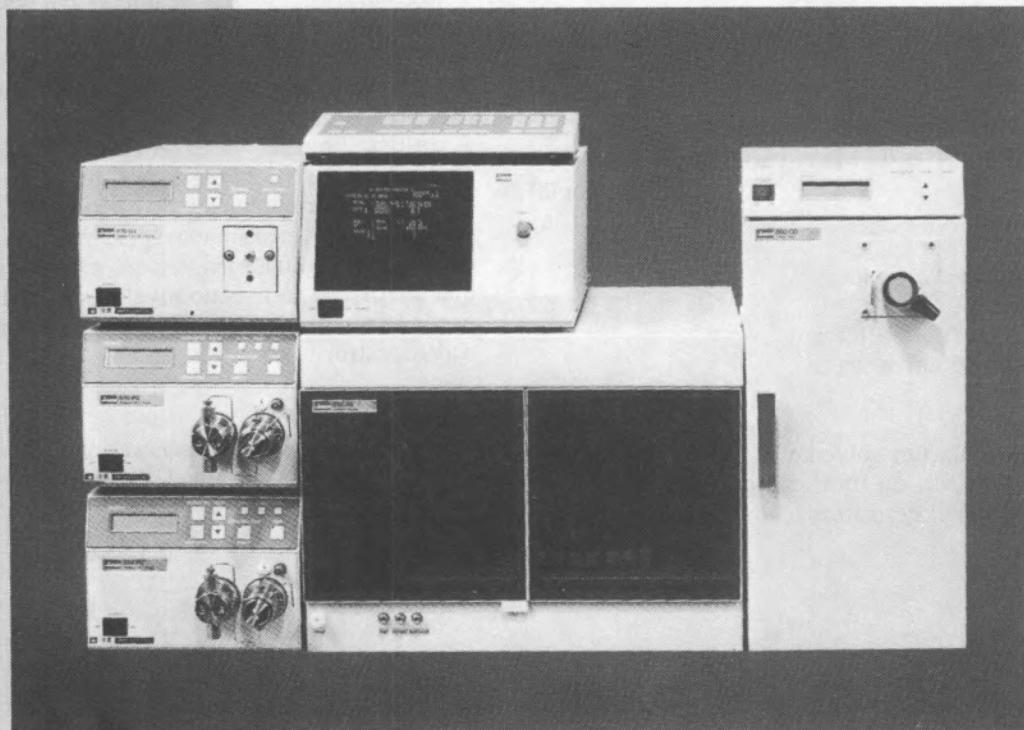
**CARBONO**, de *carbo*, ou carvão; pré-histórico. Existe em várias formas naturais: diamante, grafite e carvão. A sua variedade infundável de compostos é uma fonte indispensável ao fabrico de produtos de uso diário, como o "nylon" e a gasolina, os perfumes e os plásticos, graxas, DDT e TNT.

7  
N  
14,007

**AZOTO ou NITROGÉNIO**, de *nitron* e *génos*, ou gerador de nitro (salitre); descoberto em 1772; é um gás que constitui cerca de 78% do ar. O azoto entra na composição do "gás hilariante", do TNT, dos fertilizantes e dos aminoácidos (as unidades estruturais das proteínas).

# JASCO®

## O HPLC INTELIGENTE



### O ÚNICO SISTEMA MODULAR DE CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICÁCIA QUE LHE PODE OFERECER:

- Bomba controlada a microprocessador, totalmente programável, com possibilidade de formação de sistemas de baixa e alta pressão, da adaptação a técnicas analíticas e preparativas.
- Grande variedade de detectores (UV-VIS, Fluorimétrico, Índice de Refracção, Electroquímico).
- Possibilidade de automatização total com controlador e injector automático.

**O SISTEMA QUE CRESCE COM AS SUAS NECESSIDADES!**

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

R. Camões, 835 • 4000 PORTO  
- 40 25 05 • Telex 22177 ELNOR P  
R. Sarmento de Beires, 38-B • 1000 LISBOA  
- 80 54 45 • Fax 80 59 48

# ELNOR

EQUIPAMENTOS TÉCNICOS E DE LABORATÓRIO S. A.

# A Termodinâmica e o Efeito Montesquieu \* — as utilizações do conceito de entropia fora do campo da termodinâmica

Alain Fuchs <sup>a</sup>

*Um dos objectivos mais importantes (da escola) poderia ser o de inculcar o espírito crítico que as ciências da natureza e as ciências humanas nos ensinam. (...) Esta orientação pedagógica teria por finalidade desenvolver um respeito não idólatra pela ciência como forma realizada da actividade racional e, simultaneamente, desenvolver uma vigilância consciente contra determinadas utilizações da actividade científica e dos seus produtos.*

«Propostas para o ensino do futuro», Professores do Collège de France, 1985, pg. 13

*Em matéria de cultura a privação absoluta exclui a consciência da privação*

Pierre Bourdieu, «La Réproduction», Editions de Minuit, 1970, pg. 253

## INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma análise da utilização que é feita do conceito de entropia fora do domínio em que ele originalmente surgiu (a termodinâmica), e isto particularmente no contexto das ciências sociais e humanas.

Aquilo que em última análise se aborda através deste estudo é o problema das relações entre a ciência e a sócio-cultura na qual ela se insere. Com efeito a ciência produz modelos que, através de certos processos de metaforização, contribuem para modelar a nossa cultura\*. Esta, por sua vez, não deixa de influenciar a forma como a ciência se constrói (sobre este assunto a bibliografia é abundante e entre outras coisas podem consultá-lo as obras de Pierre Thuillier [1]). Para além da análise crítica pontual que aqui se apresenta, este artigo tem por objectivo fornecer aos professores de ciências físico-químicas elementos que lhes permitam completar o seu ensino através de uma esclarecedora abordagem epistemológica.

O postulado subjacente a este projecto é que a ciência ensinada deve conduzir a uma cultura. Segundo os termos do relatório do Collège de France atrás citado, uma das missões do ensino deveria ser a *de fornecer antídotos contra as antigas e novas formas de irracionalismo ou de fanatismo da razão*. É pois necessário formar estudantes não apenas instruídos mas também um pouco menos incultos, corrigindo os efeitos secundários induzidos pelo ensino con-

ceptual que muitas vezes apresenta o discurso científico como um dogma sagrado. Só assim poderemos ter esperança que o grande público possa algum dia desmascarar determinadas imposturas intelectuais que, por serem socialmente aceitáveis, assumem a aparência de discurso científico. Nas linhas que se seguem começaremos por constatar a utilização extensiva que, em diferentes disciplinas, se faz do conceito de entropia. Em seguida levaremos a cabo uma análise da forma como funciona a transferência do conceito da termodinâmica para os outros ramos do saber considerados.

## AS UTILIZAÇÕES DO CONCEITO DE ENTROPIA FORA DO SEU CONTEXTO ORIGINAL

A palavra entropia foi inventada no século XIX pelo termodinâmico Rudolf Clausius. Em anexo poderá encontrar-se um resumo breve da sua definição. Contrariamente a outros conceitos, como calor e energia, utilizados em termodinâmica, a entropia não é uma palavra de uso corrente. Só progressivamente se tornará (em parte) palavra de uso corrente ao longo do século XX como mostra a antologia de citações reproduzidas em anexo.

Analisaremos mais tarde o processo através do qual esta palavra inventada num contexto científico preciso, e portanto perfeitamente denotada, adquiriu uma polissemia característica das expressões do vocabulário corrente.

A nossa análise incidirá sobre três casos significativos, escolhidos entre o grande número de exemplos que a literatura em ciências humanas nos oferece, acerca das utilizações do conceito de entropia.

Estudaremos em primeiro lugar a forma como o conceito de entropia é utilizado na obra do antropólogo Levi-Strauss. Mostraremos que a termodinâmica só intervém, como referência explícita, quando o autor entende situar o seu trabalho no campo da história e da sociologia comparada, e não nas suas descobertas fundamentais. O conceito de entropia é quase sempre invocado em referência à teoria da informação de Shannon. Este aspecto, que parece ter escapado aos comentadores de Levi-Strauss, será analisado em pormenor.

Estudaremos em seguida um caso em que o segundo princípio da termodinâmica é explicitamente utilizado para construir uma teoria: o caso do economista Georgescu-Roegen e com ele o dos adeptos da "teoria entrópica" dos processos económicos.

\* Exemplos não faltam. Entre os mais evidentes podemos citar o modelo darwiniano da evolução das espécies que, numa das metamorfoses mais recentes, é aplicado no contexto do discurso sobre a competitividade industrial e a adaptabilidade das empresas. Noutra contexto, o modelo cosmológico do "Big-Bang" alimenta actualmente numerosas especulações metafísicas.

<sup>a</sup> Chargé de Recherches, CNRS, (U.A. 1104) Université Paris-Sud, Orsay.

\* Publicação do SESDIC (Service Enseignements Supérieurs — Didactique de la Chimie), 1988. Traduzido por Joaquim Moura Ramos com o consentimento do SESDIC.

Num terceiro tempo examinaremos a contribuição dos biólogos moleculares (Monod, Jacob, Danchin) para o problema filosófico da contradição entre o "devir imposto" pelo segundo princípio da termodinâmica e a "evolução revelada" pela paleontologia e o darwinismo.

Mostraremos que, nos dois primeiros casos, os autores se referem a uma interpretação errada do segundo princípio da termodinâmica, interpretação que, na linguagem de Ullmo [2], constitui o *protótipo de extrapolação ilegítima, contrária ao método científico*.

### Primeiro caso: a entropia na obra de Levi-Strauss

Pai da antropologia estrutural, Claude Levi-Strauss é sem dúvida o maior antropólogo vivo. O seu trabalho mais importante relaciona-se com o estudo das estruturas de parentesco e dos mitos nas sociedades ditas primitivas. Para abordar a sua obra podem utilizar-se os elementos que constam do notável *dossier* que o *Magazine Littéraire* lhe consagrou em 1985 [3].

Neste *dossier* sublinharemos as seguintes formulações produzidas por Levi-Strauss a propósito da ciência:

*A reflexão científica, tal como se manifesta em toda a sua grandeza na biologia e na física, é para mim como que um guia.*

É neste contexto que encontraremos nas suas obras, de forma dispersa mas insistente, alusões ao segundo princípio da termodinâmica. A citação mais conhecida encontra-se nas últimas páginas de "Tristes Trópicos" [4]:

*Desde o momento em que começou a respirar e a alimentar-se até à invenção dos engenhos atômicos e termonucleares, passando pela descoberta do fogo — e excepto quando se reproduz a si próprio — o homem não fez mais do que dissociar candidamente milhões de estruturas para as reduzir a um estado em que elas já não são susceptíveis de ser integradas. É certo que ele construiu cidades e cultivou os campos; mas quando pensamos nisso, essas realizações surgem como máquinas destinadas a produzir inércia a um ritmo e numa proporção infinitamente mais elevada do que a quantidade de organização que implicam. Quanto às criações de espírito humano, o seu sentido só existe em relação com ele próprio e confundir-se-ão com a desordem quando ele desaparecer. De tal modo que a civilização, no seu conjunto, pode ser descrita como um mecanismo extremamente complexo em que o nosso universo poderia sobreviver não fosse sua função a de fabricar aquilo que os físicos chamam de entropia, isto é, inércia. Cada palavra trocada, cada linha impressa estabelece uma comunicação entre dois interlocutores, conduzindo pois a uma maior organização, aniquilando um nível que antes se caracterizava por uma falta de informação. Em vez de antropologia dever-se-ia escrever "entropologia", uma disciplina destinada a estudar este processo de desintegração nas suas mais elevadas manifestações.*

A entropia aqui invocada remete para a noção de desordem (inércia, desintegração) e esta aumentaria inevitavelmente com o tempo. Isto não nos deve surpreender dado que o texto referido foi escrito em 1954; no anexo consagrado ao segundo princípio da Termodinâmica mostramos que esta visão, que era a dominante até há pouco tempo (e ainda hoje ensinada) resulta de uma interpretação incompleta ou mesmo incorrecta do segundo princípio. Em determinadas condições, a irreversibilidade (que conduz à produção de

entropia) pode ser fonte de organização ao contrário do que a citação precedente sugere. O paralelo que o autor estabelece entre informação e entropia já nos parece mais interessante. Esta alusão à teoria da informação de Shannon abre-nos uma via para melhor delimitarmos o lugar da termodinâmica na obra de Levi-Strauss e superar assim as interpretações demasiado superficiais da célebre citação de "Tristes Trópicos"\* (com efeito esta obra é a mais lida mas a menos fundamental do trabalho de Levi-Strauss).

Na sua análise dos sistemas de parentesco [6] das sociedades ditas primitivas, Levi-Strauss inspira-se na linguística estrutural. Ele mostra que os sistemas de parentesco são formalmente idênticos aos sistemas fonológicos e evidencia o papel central da troca matrimonial nas regras de parentesco e de aliança. A importância da noção de troca conduzirá Levi-Strauss a definir a vida social como uma combinação de três sistemas: troca de bens (economia), troca de palavras (linguagem), troca de mulheres (casamento e parentesco) [7]. Para Levi-Strauss, *o problema etnológico é pois, em última análise, um problema de comunicação* [8]. A partir desta análise magistral que constitui um dos aspectos fundamentais da sua obra, Levi-Strauss será incitado e conduzido a alargar a sua perspectiva de etnólogo situando o seu trabalho no plano mais geral da relação para com a ciência histórica ou da comparação entre as nossas sociedades e as ditas primitivas [9-11]. É neste contexto que as suas reflexões se inspirarão na teoria da informação de Shannon e, através desta, na termodinâmica (isto surge várias vezes de forma muito clara na sua obra "Antropologia estrutural" [12]. Shannon definiu com efeito o conteúdo de informação de uma mensagem recorrendo a uma grandeza formalmente análoga à entropia estatística de Boltzmann (ver Anexo 3). Mais tarde Brillouin prosseguiu a analogia entre estas duas teorias e enunciou o "princípio negentrópico da informação", o que conduziu Levi-Strauss a estabelecer o paralelo entre a uniformização dos níveis de informação e o aumento de entropia.

Nos escritos de Levi-Strauss a termodinâmica surge pois por via da teoria da informação, considerada pelo autor em sentido estrito como uma teoria geral da comunicação; a noção de comunicação é considerada como *o conceito unificador* da antropologia social [12]. Ora a teoria de Shannon apenas se interessa pelos processos físicos que intervêm na transferência de uma mensagem entre máquinas (o ruído por exemplo). Ela não pretende descrever os efeitos de significação que uma mensagem produz no receptor e não está portanto adaptada à descrição da comunicação entre seres humanos. Como faz notar Emmanuel Ferray [7], não podemos com efeito ignorar o facto de que, *no domínio cultural, qualquer empréstimo é simultaneamente reinterpretado, qualquer imitação é rearranjo, transformação*.

A mesma inspiração conduz Levi-Strauss [10] a descrever as nossas sociedades (ditas *quentes* por oposição às sociedades primitivas ou sem história que são ditas *frias*) como: *utilizando para o seu funcionamento uma diferença de potencial, a qual se realiza através de diferentes formas de hierarquia social, hierarquia esta que se torna necessário renovar permanentemente (isso chama-se a escravatura, a servidão, a divisão em classes, o colonialismo) pois os afastamentos diferenciais tendem a igualar-se*.

Em "Raça e história" [9] Levi-Strauss escrevia também: *Podemos conceber que uma diversificação, que se renova*

\* Ver H. Reeves, "L'heure de s'enivrer" [5].

*permanentemente noutra local, permita manter indefinidamente, através de formas variáveis | ... |, esse estado de desequilíbrio de que depende a sobrevivência biológica e cultural da humanidade.*

André Lapidus [13] mostrou claramente que uma tal extrapolação de segundo princípio da termodinâmica conduzia a colocar a existência de desigualdades como condição necessária para a actividade económica e social (tal como um fluxo de calor implica a existência de uma diferença de temperatura!). Esta *termodinâmica do social* surge como pouco pertinente em múltiplos aspectos e particularmente, como acabamos de ver, na sua construção teórica. Pode espantar que ela venha de um espírito tão brilhante como Levi-Strauss, mas resulta de um modo de funcionamento análogo e metafórico muito corrente. Mais adiante retomaremos a análise deste aspecto.

### Segundo caso: a “teoria entrópica” em economia

Vários economistas tentaram aproximações entre a termodinâmica e a economia analítica. O caso mais célebre é talvez o de Samuelson [14] que utilizou o princípio de Le Chatelier para descrever os efeitos de estabilização do mercado. O caso que escolhemos para tratar aqui é o de Georgescu-Roegen e dos seus discípulos, defensores de uma teoria económica directamente inspirada no segundo princípio da termodinâmica.

Georgescu-Roegen considera a economia como um processo físico-químico ao qual se aplica o segundo princípio da termodinâmica [15]: *a natureza fundamental do processo económico é entrópica, e a lei da entropia reina sobre este processo e a sua evolução* [15,16]. Consistindo a actividade económica na transformação pelo homem dos recursos naturais, daí resulta que: *os recursos naturais de todos os tipos devem ocupar um lugar preponderante no estudo dos fenómenos económicos*. Na maior parte dos modelos económicos o conjunto dos recursos naturais (terras cultiváveis, reservas mineiras,...) é considerado como constante. Segundo Georgescu-Roegen isto é um erro; com efeito: *o nosso meio acessível é continuamente submetido a uma degradação entrópica e qualquer produção implica um certo esgotamento irrevogável dos recursos* [17].

É evidente que a biosfera não é um sistema isolado e que o segundo princípio não obriga neste caso a entropia a aumentar *irrevogavelmente*; mas Georgescu-Roegen não se perturba com tal objecção. Argumentando que *a termodinâmica tradicional ignora completamente as transformações irrevogáveis sofridas pela matéria* [18], (voltaremos mais tarde a esta afirmação!), ele inventa uma *quarta lei da termodinâmica* que enuncia da seguinte maneira: *em todo o sistema fechado a matéria utilizável degrada-se irrevogavelmente em matéria não utilizável* [18]. Deste modo a entropia (generalizada?) aumenta *irrevogavelmente*, mesmo num sistema fechado não isolado.

Orgulhoso desta análise, Georgescu-Roegen propõe ao mundo um *programa bio-económico* que consiste em linhas gerais em utilizar o mais possível os recursos renováveis, ditos de *baixa entropia*. Pessimista, Georgescu-Roegen considera que se o homem é capaz de compreender aquilo que deve fazer para a sua sobrevivência ecológica, já a sua natureza o impede de seguir tal conselho que é o da sabedoria [18]. Estes argumentos foram retomados, sob formas semelhantes, por diferentes autores: Rifkin nos Estados Unidos [19], e em França por Montbrial, Gitton e, sob uma forma vulgarizada, por J. de Rosnay [20] do qual se encontrará uma citação em anexo.

Uma análise pormenorizada de cada um dos argumentos entropo-económicos de Georgescu-Roegen seria longa e fastidiosa (ver a sua produção abundante citada nas referências [17] e [18]. Poder-se-à encontrar em M. Gutschatz [21] uma primeira crítica (severa) das hipóteses socio-económicas subentendidas na abordagem de Georgescu-Roegen. Contentar-nos-emos em voltar aos argumentos que motivaram o enunciado de uma quarta lei da termodinâmica. De acordo com Georgescu-Roegen, à termodinâmica só lhe interessam as trocas de energia e não reconhece que a *matéria, tal como a energia* está submetida ao segundo princípio (*o facto incontestável é que no mundo macroscópico a matéria também sofre continuamente transformações irreversíveis* [18]).

Este facto é incontestável e não é aliás contestado pela termodinâmica! Recordemos mesmo assim que qualquer transformação físico-química (reação química, mudança de estado, ...) é susceptível de contribuir para a produção de entropia! (através dos termos  $\mu_i dn_i$  ou  $Ad\zeta$  segundo o formalismo escolhido). Não insistiremos mais sobre este assunto por termos aborrecer o leitor.

A entropia de um sistema físico-químico está contido na matéria que o compõe, e qualquer transformação irreversível desta matéria é contabilizada pelo segundo princípio. Não existe pois qualquer necessidade de uma lei suplementar para a matéria, a não ser que se insista a todo o preço em querer que “tudo se degrada”, mesmo num sistema não isolado!

Se bem que aparentemente marginal no campo da economia, Georgescu-Roegen adquiriu uma importante audiência nos anos 1975-80, como testemunha a sua participação em diversos colóquios como o de 1976 organizado pelo CNRS sobre Sadi Carnot. É espantoso que nessa altura não tenha havido, pelo menos que nós saibamos, um termodinâmico prestigiado que tenha denunciado essa enorme postura que é a chamada quarta lei. Pode certamente dizer-se, mas isso não desculpa nada, que a argumentação do autor se apoiava largamente no senso comum e em constatações elementares como a do esgotamento dos recursos em petróleo e carvão, e que ia ao encontro da má consciência ecológica dos cientistas da época. Retomaremos esta análise no capítulo “discussão”

### Terceiro caso: a contribuição dos biólogos moleculares para o debate filosófico “segundo princípio contra evolução”

O segundo princípio da termodinâmica foi frequentemente invocado por filósofos (Lalande, Meyerson, Brunschvicg, Bergson e, mais perto de nós, Serres). Um dos problemas essenciais dizia respeito à aparente contradição entre irreversibilidade termodinâmica, que deveria conduzir o mundo à sua desintegração, e a evolução darwiniana que sugere a existência de uma flecha de tempo dirigida para a organização e não para o caos. *Será possível que Carnot e Darwin tenham simultaneamente razão?* escrevia Roger Caillois. Após os trabalhos da Escola de Bruxelas, entre outros, (ver Anexo 2), existe actualmente consenso sobre o facto de a auto-organização espontânea da matéria ser um fenómeno corrente na natureza e de ela não constituir um privilégio da matéria viva desde que as condições de afastamento ao equilíbrio termodinâmico sejam satisfeitas. O debate segundo princípio contra evolução deixou pois de ter objecto. Decidimos debruçar-nos brevemente sobre um dos últimos episódios deste debate. Nos anos 70, os biólogos Jacob e Monod foram levados, nos seus ensaios célebres (“A Ló-

gica da vida" [22] e "O acaso e a necessidade" [23]), a confrontar o segundo princípio com os modelos da evolução extraídos da biologia molecular. A conclusão é idêntica: *Dado que apenas formula uma predição estatística, o segundo princípio não exclui obviamente que um dado sistema macroscópico possa, num movimento de muito fraca amplitude (...) contrariar a barreira da entropia (...)* escrevia Monod [23]. Para Jacob: *A termodinâmica (...) não impede que alguns elementos possam subir a contra-corrente à custa dos seus vizinhos* [22].

Para Monod e Jacob não há pois contradição entre segundo princípio e evolução: a entropia pode localmente (e por acaso) diminuir, desde que globalmente a entropia do universo aumente. Nesta época eles ignoravam claramente os trabalhos da Escola de Bruxelas, à data já bem avançados mas que só seriam de facto amplamente divulgados depois de o prémio Nobel ter sido atribuído a Prigogine em 1977. No entanto Jacob e Monod tinham a intuição essencial de que a flecha do tempo era a mesma para a matéria viva ou inerte:

Para Jacob [22]: *Quer se trate do mundo orgânico quer do mundo físico, as sequências do filme que descreve a evolução não podem ser projectadas ao invés* (página 216). E para Monod [23]: *A evolução da biosfera é um processo necessariamente irreversível que define uma direcção no tempo; direcção que é a mesma que a que é imposta (...) pelo segundo princípio da termodinâmica* (página 160). Como se explica então que não tenham transposto o degrau e contestado a validade do enunciado cosmológico de Clausius? A resposta é dada talvez por Ullmo [2] que escreve: *(...) sem dúvida porque lisonjeava o pendor metafísico do espírito humano, o segundo princípio foi imediatamente generalizado a todo o Universo.*

*Este salto perigoso dá, no fim do século XIX, origem a toda uma mitologia: o mito da morte térmica do mundo por degradação total da energia nele contida (...).*

*Nada garante que uma tal mitologia não tenha deixado marcas na consciência pública, e mesmo entre alguns cientistas. Voltaremos mais tarde a esta observação penetrante de Ullmo.*

Para terminar esta evocação das relações entre termodinâmica e biologia poderá encontrar-se no Anexo 4 uma discussão de um erro conceptual em que os biólogos frequentemente incorrem quando utilizam o segundo princípio.

## DISCUSSÃO

### Contribuição para a análise do modo de transferência de um conceito das ciências físicas para as ciências sociais

*O ar frio retrai as extremidades das fibras exteriores do corpo; isso aumenta a sua força e favorece o retorno do sangue das extremidades para o coração. Diminui o comprimento dessas mesmas fibras; também por isso aumenta ainda mais a sua força. O ar quente, pelo contrário, torna mais frouxas as extremidades das fibras e alonga-as diminuindo ainda a sua força e a sua tensão (XIV,2).*

*Já dissemos que o calor intenso debilitava a força e a coragem dos homens e que, nos climas frios havia uma certa força do corpo e do espírito que tornava os homens capazes de acções longas, penosas, grandiosas e intrépidas (...). Não é pois de espantar que a moleza dos povos dos climas quentes os tenha quase sempre tornado escravos e que a coragem dos povos dos climas frios os tenha mantido livres (XVII,2).*

Montesquieu, "O Espírito das Leis, Gêneve 1748, Classiques Garnier, 1973. Citado por Pierre Bourdieu, "Ce que parler veut dire", Paris, Fayard, 1982, pages 229-233.

Como vimos atrás, e como testemunham também as citações do Anexo 1, as metáforas termodinâmicas são utilizadas em debates de conteúdo muito afastado do objecto de estudo original desta ciência. Quanto a nós só existirá outro exemplo de tal obstinação em querer dar uma resposta unitária e total a qualquer questão filosófica ou social a partir de um conceito científico; esse será o dos adeptos do "biologismo", cujo exemplo mais conhecido é o da sociobiologia [24]. A vantagem da metáfora termodinâmica é a de ter uma marca ideológica menos explícita. Por isso possibilita uma análise mais desapaixonada.

De uma maneira geral, as construções teóricas baseiam-se num dos três enunciados seguintes (e frequentemente numa combinação implícita deles):

- 1) A entropia do Universo aumenta
- 2) A entropia é uma medida física da desordem
- 3) A troca de informação equivale a um aumento de entropia

Estes enunciados têm em comum o facto de terem a sua origem numa vulgarização dos trabalhos fundamentais da termodinâmica macroscópica, da termodinâmica estatística e da teoria da informação (ver Anexos 2, 3); nunca são as formas originais destes enunciados que são utilizadas. Ora esta vulgarização não é apenas uma simplificação dos enunciados formais originais mas também opera por extrapolação. Mostraremos que esta dupla operação conduz a um efeito de ambiguidade semântica de que se servem directamente os nossos autores.

É sabido que a extrapolação (neste caso do sistema isolado para o universo) de um conceito, de uma teoria é uma operação extremamente delicada que quando mal conduzida rapidamente se torna ilegítima (H. Alfvén escrevia: *escrever um grande drama cósmico conduz obrigatoriamente ao mito* [25]). A generalização do segundo princípio a qualquer sistema necessita de um trabalho aprofundado de identificação e caracterização das variáveis pertinentes necessárias para o definir. Assim, por exemplo, num sistema em que ocorre um processo económico será que a entropia depende apenas das variáveis definidoras desse processo? Se, como fazia notar A. Jaumotte [26], a entropia do sistema depender também de variáveis não directamente económicas (por exemplo o metabolismo dos seres vivos), então nada nos permite afastar a possibilidade de uma variação não monótona da contribuição económica e nada poderemos pois extrair de significativo da aplicação do segundo princípio. Uma vez alargado a um sistema complexo, o segundo princípio já não permite aceder a um nível autónomo de descrição de cada processo (social, económico, político, biológico, ...).

Para além disso a operação de simplificação (intrínseca a toda a vulgarização) conduz a associar um conceito perfeitamente denotado (a entropia) com termos fortemente conotados da linguagem corrente (a ordem, a informação). Este efeito é ainda agravado pela operação de extrapolação: com efeito, as noções de desordem e de informação encontram-se bem definidas no quadro dos sistemas simplificados que são o objecto das teorias de Boltzmann e Shannon: quando se generaliza o segundo princípio a qualquer sistema estas noções tornam-se extremamente vagas (como definir desordem numa sociedade?) e abrem caminho às mais arbitrarias interpretações. Os pressupostos culturais do autor (assim como os do domínio do saber para o

qual ele extrapola o segundo princípio) introduzem-se então facilmente na ambiguidade semântica que rodeia o conceito de entropia, e a sua utilização passa a servir apenas para conferir uma pseudo-legitimidade científica às noções vagas do seu utilizador. Esta operação, maravilhosamente ilustrada pelos extractos citados a abrir este capítulo, foi baptizada de **efeito Montesquieu** por Pierre Bordieu [27] que dá dela a seguinte definição:

*Efeito de imposição simbólica (...) que se produz sobrepondo às projecções do fantasma social ou às pré-construções do preconceito a aparência de ciência que se obtém através da transferência de métodos ou de operações de uma ciência mais realizada ou simplesmente mais prestigiada.*

É assim que o fantasma da decadência ("tudo se degrada") encontra a sua legitimação no segundo princípio e permite confortar uma filosofia social para a qual a existência de desigualdades surge como necessária para a actividade económica e social. A referência à termodinâmica permite estabelecer uma conexão entre factos *a priori* independentes, economizando assim uma verdadeira análise racional do objecto estudado [13].

Em homenagem a Levi-Strauss, e como caso particular do efeito Montesquieu, sugerimos que se chame "entropomorfismo" à utilização que é feita da termodinâmica fora do seu domínio original.

Através do exemplo da entropia vemos bem, de uma forma mais geral, o perigo em que incorre uma disciplina, seja ela qual for, ao copiar o seu desenvolvimento de um movimento criativo importado de um outro campo do saber. Por um lado os pressupostos culturais não são menos abundantes nas ciências físicas do que nas ciências humanas e, por outro lado, uma inversão de paradigma como a que ocorreu em termodinâmica (ver Anexo 2) obrigaria esta disciplina a mudar de modelo ao sabor das interpretações variáveis dos conceitos importados. Será que a pluridisciplinaridade estará então condenada? É sem dúvida útil que exista comunicação entre investigadores de diversos horizontes, mas com a condição de cada um criar os seus próprios conceitos. Assim será possível, como escrevia Gilles Deleuze [28], instaurar relações de ressonância mútuas entre campos criativos, *como espécies de linhas melódicas estranhas umas às outras e que interferem permanentemente. Organizar ressonâncias, traçar imperturbavelmente caminhos possíveis*, tal é a missão a que se devem entregar os investigadores. Para este trabalho permanentemente renovado a comunidade científica (em sentido lato) precisa de intercessores e não de "gurus" pluridisciplinares que acumulam incompetências em várias disciplinas e dão respostas definitivas a questões mal formuladas.

Numa época em que os saberes irracionais avançam disfarçados sob as aparências de discursos científicos (ver a obra notável de Pracontal [29]), os professores devem, a todos os níveis, fazer prova de vigilância epistemológica. Isso deve traduzir-se explicitamente no ensino das ciências de forma que o estudante possa assimilar completamente (e transmitir junto de um público mais vasto) o modo de funcionamento dos saberes, dos modelos que, *hic et nunc*, permitem ler o mundo de que fazemos parte.

## ANEXO 1: FLORILÉGIO \*

Nos anos cinquenta eu ocupava dois lugares no ensino. Dava por um lado aulas a estudantes em psiquiatria (...) e por outro lado a jovens *beatniks* da Academia de Belas-Artes (...) (...) Aos psiquiatras eu propunha um pequeno exame escrito (...). A primeira pergunta consistia em pedir uma breve definição das palavras "sacramento" e "entropia".

A maior parte dos jovens psiquiatras dos anos cinquenta não eram capazes de responder a nenhuma destas questões.

G. Bateson, "La nature de la pensée", Paris, Seuil, 1984, página 14

(...) graças à lei da entropia descoberta por R. Clausius, demo-nos conta de que os processos espontâneos da natureza são sempre acompanhados de uma diminuição da energia livre e utilizável: o que, num sistema material fechado, deve conduzir à cessação dos processos à escala macroscópica. Este destino fatal, (...) que resulta da experiência científica positiva, postula eloquentemente a existência de um ser necessário.

Pio XII, Comunicação à Academia Pontifical das Ciências, 1952. Citado por H. Alfvén, La Recherche, n.º 69, Julho de 1975, página 612

— Você sabe, certamente, o que é a entropia?

— Sim, diz ela tentando sem sucesso lembrar-se da fórmula

— Pois bem, a entropia, isto é, a usura, a decadência da energia espreita o erotismo como aliás todo o universo

Emmanuelle Arsan, "Emmanuelle", Paris, U.G.E., Presses Pocket, 1983, página 184

É (...) em minha opinião, o melhor filme de Woody Allen desde há muito. Um "pequeno" filme se se quiser, mas que vai ao sítio, sem entropia (...)

S. Daney, Libération, 11 de Outubro de 1984

Ver (um filme de) Zulawski é sempre uma prova (...) Há muita entropia, gritos, desregramento físico, (...).

L. Skorecki, Libération, 27 de Fevereiro de 1985

Ambivalência da corda, diz Oliveira. Sua função natural minada por uma misteriosa tendência para a neutralidade. Creio que a isto se chama entropia.

Júlio Cortazar, "Marelle", Gallimard, L'imaginaire, 1979, página 259

Para mim, por exemplo, (a entropia) é a quantidade de energia não utilizável, é a degradação... Sei muito bem que isto não satisfaz nenhum homem de ciência, mas não é tanto o conceito que importa, é a lei — a lei do aumento desta grandeza — que é significativa para o filósofo.

J. Grinevald, Entropie, número fora de série, "Termodinâmica e ciências do homem", 1982, página 32

Como revela a lei implacável da entropia, quando criamos ordem num sistema, há necessariamente uma desordem suplementar criada algures.

J. de Rosnay, "Les chemins de la vie", Paris, Seuil, 1983, página 90

A minha opinião é a de que cometemos um erro fundamental ao tomar em consideração uma grandeza, a entropia, que tem as dimensões de uma energia.

J. Tonnelat, Entropia, n.º fora de série, 1982, página 32

\* As traduções destes extractos foram realizadas a partir dos textos apresentados pelo autor, sem consulta das obras originais.

A frequência crescente das violações ao segundo princípio da termodinâmica e o acréscimo potencial da energia coerente deverão conduzir a uma mutação de singularidade semelhante às seis catástrofes de René Thom. (...) Posso ver o universo dobrar em dois sobre si mesmo tal um "black hole" único em forma de arco parabólico, como uma apoteose da negentropia (...).

Salvador Dali, 10 de Maio de 1985, citado por J.F. Fogel, Libération, 15 de Janeiro de 1985

Desde que o Tao de Duyvendak não seja imutável mas variável e destinado à entropia, (...)

Etiemble, Filósofos Taoístas, Prefácio, (LI), Paris, Gallimard, La Pleiade

## ANEXO 2: O SEGUNDO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

A termodinâmica nasceu no começo do século XIX da vontade de compreender o funcionamento das máquinas a vapor inventadas algum tempo antes (J. Watt, 1769).

O trabalho de Sadi Carnot, em 1824, constitui a primeira etapa importante de um conjunto de investigações que conduzirão em 1865 à formalização do segundo princípio com a invenção, por Rudolph Clausius, do conceito de entropia. Eis um resumo sucinto.

Determinadas grandezas físicas (ditas "extensivas") são objecto de um balanço. Escreve-se então:

(a variação de uma grandeza X no objecto estudado X com o destruição de — sistema — durante um intervalo de tempo) = (a troca de + (a criação ou meio exterior X no sistema) ma)

o que, no formalismo do cálculo diferencial, se escreve:

$$\frac{dX}{dt} = \left(\frac{dX}{dt}\right)_{\text{troca}} + \left(\frac{dX}{dt}\right)_{\text{interno}}$$

ou

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dX}{dt} + \frac{d_i X}{dt}$$

Uma grandeza X para a qual  $d_i X$  é nulo diz-se "conservativa": toda a variação de X no sistema estudado só pode ser devida a uma troca (ganho ou perda) com o meio exterior. É este o caso da massa e da energia no quadro da física clássica (não relativista e não quântica) sendo essa a situação nos sistemas geralmente estudados em termodinâmica.

As transformações físico-químicas ocorrem espontaneamente num dado sentido e não no sentido contrário. Dizem-se "irreversíveis". Eis um exemplo: quando se põem em contacto dois corpos a temperaturas inicialmente diferentes, a evolução espontânea, na ausência de qualquer acção exterior, tem como efeito a tendência para a igualização das temperaturas através de trocas de calor. Uma vez atingida a igualdade das temperaturas os corpos não voltarão espontaneamente às suas temperaturas iniciais. É no entanto possível actuar do exterior para repôr o sistema no seu estado original. A transformação é "inversível" mas não "reversível", isto é não se pode voltar ao estado inicial seguindo o mesmo "caminho" termodinâmico.

No quadro da equação de balanço atrás escrita podemos descrever esta assimetria do fenómeno relativamente ao tempo dizendo que "algo" foi criado (ou destruído) ao longo da transformação. É pois necessário inventar uma grande-

za não conservativa para descrever a irreversibilidade dos fenómenos naturais. Essa grandeza pertinente é a **entropia**. Clausius escreveu então:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt}$$

com  $\frac{d_e S}{dt} = \frac{dQ}{T dt}$  ( $dQ$  é a troca de calor com o meio exterior, T a temperatura do sistema)

e  $\frac{d_i S}{dt} > 0$  para qualquer transformação. (na ausência de transformação, isto é no equilíbrio,  $d_i S/dt = 0$ )

Isto é o segundo princípio da termodinâmica.

Sublinhamos que o sinal (neste caso positivo) da parte interna da variação de entropia resulta de uma convenção. O que interessa é que  $d_i S/dt$  seja não nulo e tenha sempre o mesmo sinal.

Num sistema isolado, isto é em que não há trocas nem de matéria nem de energia com o meio exterior, o termo  $d_e S/dt$  é nulo e assim a entropia só pode aumentar, até atingir um máximo no equilíbrio. Em qualquer outro sistema, o termo de troca de entropia poderá, segundo o sinal de  $dQ$  (considera-se como negativo o calor que sai do sistema), ser positivo ou negativo. **Para uma transformação que ocorre num sistema não isolado, o sinal da variação total de entropia não pode ser definido a priori.** Um ser vivo, o planeta Terra, são exemplos de sistemas não isolados.

Podemos naturalmente imaginar um sistema fictício que englobe o objecto de estudo e para o qual a variação total de entropia seja sempre positiva em todos os casos. Na prática a escolha deste sistema é no entanto extremamente delicada. Que sistema isolado escolher, por exemplo, para englobar o nosso planeta? O sistema solar, a galáxia, o agregado ou o super-agregado de galáxias, o universo? É sabido que nestas escalas de espaço, de tempo e de energia a descrição física muda não só de natureza como de ponto de vista. As forças que se exercem entre os elementos constituintes do sistema são essencialmente de natureza gravítica (de longo alcance) e já não de curto alcance como na física "terrestre" que é aquela em que a termodinâmica se interessa. É preciso renunciar à extensão ingénuo da termodinâmica clássica para a escala cosmológica. (Notemos de passagem que a imagem do universo que a astrofísica hoje nos fornece é mais a de uma fase de ordenação do que o inverso).

Sabemos para além disso que os sistemas físico-químicos simples (não biológicos) são susceptíveis de apresentar espontaneamente estruturas espaço-temporais. Os exemplos mais conhecidos são as reacções químicas oscilantes e o fenómeno de convecção de Rayleigh-Bénard [30]. A termodinâmica contemporânea (sobretudo a Escola de Bruxelas [31] e a de Bordéus [32] no que diz respeito às reacções oscilantes) mostrou que essas auto-organizações se produzem quando os respectivos sistemas são levados e mantidos em situações afastadas do equilíbrio termodinâmico, isto é em situações de forte produção entrópica. Nestes exemplos a irreversibilidade é fonte de ordenação. Pensar que estes fenómenos longe do equilíbrio poderiam ter participado no aparecimento da vida na Terra é actualmente uma hipótese séria de trabalho.

O conceito de irreversibilidade evoluiu pois desde o século XIX. Originalmente ele estava associado à imperfeição das transformações físico-químicas que ocorriam numa máquina térmica. Se o rendimento dos motores é fraco isso deve-se em parte aos atritos e outros geradores de entropia. A irreversibilidade já não é hoje em dia concebida apenas como a perda do reversível (ideal), mas pode ser também fonte de auto-organização e não apenas de degradação. Esta mudança de estatuto (inversão de paradigma) constitui sem dúvida uma das mais importantes revoluções científicas do nosso século\*.

### ANEXO 3: ENTROPIA, DESORDEM E INFORMAÇÃO

#### Entropia e desordem, a relação de Boltzmann

A analogia entre desordem molecular e entropia tem a sua origem nos trabalhos de Ludwig Boltzmann [33], no fim do século XIX. Depois de Dalton ter enunciado a hipótese atômica (por volta de 1850), Boltzmann procurou estabelecer a ligação entre as propriedades microscópicas de um conjunto de partículas (átomos ou moléculas) e as leis da termodinâmica macroscópica. Ele estabeleceu assim os fundamentos de uma **termodinâmica estatística** que, após os trabalhos de Gibbs, se desenvolveu ao longo de todo o século vinte.

A expressão mais célebre dos trabalhos de Boltzmann:  $S = k \ln \Omega$  foi objecto de numerosos comentários; daremos dela aqui apenas uma interpretação elementar mas que será suficiente para mostrar como é que a noção de desordem foi associada à de entropia.

A título de preâmbulo (e de aviso) vamos dar a definição exacta da grandeza  $\Omega(E)$ . A descrição mais completa de um sistema formado por  $N$  partículas exige o conhecimento do hamiltoniano quântico total do sistema. Os valores próprios deste hamiltoniano são as energias  $E_j$  que o sistema pode assumir. Os níveis de energia podem ser degenerados: existem  $\Omega(E_j)$  estados possíveis com a mesma energia  $E_j$ . No formalismo dos conjuntos estatísticos de Gibbs considera-se o caso de um conjunto de  $A$  sistemas equivalentes (com  $A \rightarrow \infty$ ), cada sistema sendo isolado e tendo energia  $E$ . Uma estatística efectuada sobre este conjunto (chamado micro-canónico) conduz à expressão  $S = k \ln \Omega(E)$  que só é portanto estritamente válida para um sistema isolado [34]. É no entanto possível mostrar que, quando  $N$  for grande, os diferentes conjuntos estatísticos são virtualmente equivalentes e que então a expressão de Boltzmann é válida para qualquer sistema.

O cálculo explícito completo de  $\Omega(E)$  está longe de ser imediato. A situação mais comum é sermos levados a fazer aproximações (separabilidade do hamiltoniano, aproximação do limite clássico, ...), e só em casos muito simples é que  $\Omega(E)$  adquire um significado físico claro. Daremos em seguida um exemplo de um desses casos.

Consideremos a repartição de  $N$  partículas por um sistema isolado formado por dois compartimentos de igual tamanho e comunicando entre si. Consideraremos que as partículas são idênticas mas discerníveis.

O número de maneiras de obter uma dada repartição  $\{N_1, N_2\}$  das  $N$  partículas, sendo  $N_1$  o número delas no primeiro compartimento e  $N_1 + N_2 = N$ , pode escrever-se:

$$W(N_1, N_2) = \frac{N!}{N_1! N_2!}$$

Existem  $W_{\text{tot}} = \sum_{j=0}^N W(j, N-j)$  repartições possíveis destas  $N$  partículas pelos dois compartimentos. A probabilidade de observar uma destas repartições escreve-se:

$$P_j = \frac{W(j, N-j)}{W_{\text{tot}}}$$

$W(j, N-j)$  assume um valor máximo para  $j = N/2$ , e este máximo é tanto mais acentuado quanto maior for  $N$ . (Para  $N = 10^{23}$ , por exemplo, a repartição central,  $j = N/2$ , é cerca de  $10^{10^{23}}$  vezes mais provável do que a repartição extrema,  $j = 0$ ).

A partir destes argumentos podemos interpretar a experiência da expansão espontânea e irreversível de um gás perfeito desde uma repartição  $\{0, N\}$  até uma repartição  $\{N/2, N/2\}$  como correspondendo à passagem de um estado infinitamente pouco provável para o estado mais provável. Dado que, de acordo com o segundo princípio, a entropia do gás aumenta no decorrer desta evolução irreversível de um sistema isolado, existe a tentação de relacionar a entropia com  $P_j$ , a probabilidade de observar um dado estado (ou repartição), ou ainda a de relacionar a entropia com  $W$ . Com efeito neste exemplo  $W$  é proporcional a  $\Omega(E)$  e a relação escreve-se  $S = k' \ln W$  (o logaritmo intervém aqui de forma não trivial — ver [34] — e é possível compreender a sua necessidade se nos lembrarmos que a entropia é uma propriedade extensiva).

Neste exemplo extremamente simplificado tratámos um caso em que a evolução do sistema apenas tem a ver com as configurações das partículas entre si e não com a energia. Na generalidade  $\Omega$  é função da energia e a sua interpretação é muito menos evidente.

No caso aqui tratado vemos que a entropia é máxima para a repartição mais provável, e que esta é mais “dispersa”, “homogénea”, “desordenada” do que a repartição na situação inicial. É neste sentido, **extremamente restrito**, que a entropia é uma medida da “desordem”.

#### Informação, entropia e negentropia

Em 1948, Claude Shannon, engenheiro na “Bell Telephone”, publicou um artigo sobre a transmissão das mensagens telegráficas e particularmente sobre os efeitos de ruído no canal de transmissão. Vários dos seus artigos serão retomados em 1949 e publicados sob o título “Teoria matemática da comunicação” [35]. A expressão central do trabalho de Shannon é a seguinte:

$$H = - \sum_i P_i \log_2 P_i$$

em que  $H$  é a quantidade de informação contida numa mensagem que circula num canal discreto e sem ruído, entre um emissor e um receptor.  $P_i$  é a probabilidade de emissão da mensagem  $i$ .

Consideremos um exemplo para esclarecer o significado desta expressão. Suponhamos que o emissor só dispõe de duas mensagens e que a probabilidade de emissão é  $P_1 = P_2 = 1/2$ . A informação contida em cada mensagem será então máxima, e valerá 1 bit (unidade de conteúdo de informação). Se as probabilidades forem  $P_1 = 0$   $P_2 = 1$ , en-

\* Os leitores interessados nesta problemática poderão encontrar no n.º 20 do Boletim (Junho de 1985) alguns textos que constituem um aprofundamento destas ideias.

tão o conteúdo de informação da única mensagem que circulará será nulo. O conteúdo de informação de uma mensagem será importante se a sua probabilidade de emissão for  $1/2$ . Pelo contrário, se já se sabe à partida que uma dada mensagem vai ser emitida ( $P_1=1$ ), tal não nos trará nenhuma informação.

Segundo Shannon e Weaver a situação em que as probabilidades de emissão são idênticas é a da "liberdade de escolha", a da "incerteza". A situação em que uma das mensagens tem probabilidade unitária (e em que a informação é portanto nula) é a da "ordem", da "escolha limitada". Por analogia com a expressão de Boltzmann, e na sequência das interpretações atrás referidas, Shannon dará o nome de "entropia da mensagem" à quantidade  $H$  atrás definida.

Esta analogia entre informação e entropia fez correr muita tinta. Em 1956, Léon Brillouin [36] retoma este problema do ponto de vista da teoria da medida em física. O seu raciocínio é, esquematicamente, o seguinte: um observador de um fenómeno físico vai registar um acontecimento que é um dos  $W_0$  acontecimentos possíveis. Se considerarmos que os  $W_0$  acontecimentos são equiprováveis, a informação contida em cada um desses acontecimentos será  $H=K \ln W_0$  em que  $K$  é uma constante. Esta formulação está de acordo com a teoria de Shannon: se só um acontecimento for possível a informação que ao acontecer ele transmite ao observador é nula. Consideremos de novo o exemplo atrás evocado para comentar a expressão de Boltzmann. Quando o gás perfeito se encontra na repartição  $\{0, N\}$  (ou  $\{N, 0\}$ ), o número de maneiras de realizar esta repartição é  $W(0,N)=1$ . Em cada medida o observador encontrará as  $N$  moléculas no mesmo compartimento sendo nula a informação transmitida por esta medida. Poder-se-á dizer que o observador possui sobre o sistema uma informação máxima ("todas as partículas estão no compartimento 2"). Pelo contrário quando a repartição for  $\{N/2, N/2\}$ ,  $W(N/2, N/2)$  será muito grande e a informação transmitida por cada observação é grande (não esqueçamos que as partículas são discerníveis e que o estado do sistema ficará então completamente definido se se conhecer a posição de cada partícula). Relativamente à situação precedente o observador **perdeu** informação acerca do sistema (ele já não sabe exactamente em que compartimento se encontra cada molécula). O aumento de entropia que resulta da evolução espontânea da primeira para a segunda situação conduz pois, para o observador, a uma perda de informação. É o *princípio negentrópico da informação* enunciado por Brillouin. Vemos pois agora até que ponto é restritivo o paralelo entre ordem e informação. A ordem remete para o arranjo geométrico da disposição relativa das partículas e a informação para o conhecimento que um observador exterior tem desse arranjo. Estamos muito longe da comunicação entre dois interlocutores e da sua eventual contribuição para o processo de desintegração do mundo! (ver a citação de Levi-Strauss extraída de "Tristes Trópicos" e atrás referida). Notemos finalmente que a teoria de Shannon não é uma teoria geral de comunicação. Um acontecimento, uma mensagem só contém informação como resultado da sua probabilidade de ocorrência e não pelo significado que o receptor lhe atribui. Shannon e sobretudo Brillouin insistiram bem no facto de as considerações semânticas estarem ausentes da sua teoria (*ignoramos totalmente o valor humano de uma informação*, referência [36], página 9). Brillouin distinguia claramente a informação em sentido lato que ele designava por *informação livre* e cujo significado físico não é necessariamente especificável, da *informação*

*ligada* que está relacionada com a noção de arranjo (de repartição) num sistema físico e que constituía, essa sim, o objecto do seu trabalho. A maior parte dos utilizadores destas teorias esqueceram-se depressa destas restrições.

#### ANEXO 4: ACERCA DE UM ERRO FREQUENTE DOS BIOLÓGICOS

Fraçois Jacob escreveu [22]: *Qualquer sistema físico se deteriora se não receber energia do exterior e mais à frente: Dado que recebeu energia proveniente do meio sob a forma de alimentos, os seres vivos são capazes de preservar (...) o seu fraco nível de entropia* (página 213).

Ora, se é certo que qualquer ser vivo se tem que alimentar para sobreviver, a termodinâmica acrescenta que, para que a entropia de um sistema diminua ou se mantenha constante, é necessário que ele dissipe entropia o que, na maior parte dos casos, implica que ele tem que ceder ao meio exterior mais energia do que aquela que recebeu. Aparantemente este facto nem sempre foi bem compreendido pelos biólogos. Com efeito A. Danchin escrevia [37]:

*Os biólogos sabem que sem fornecimento de energia, basta muitas vezes misturar RNA e proteínas de capsídeos em proporções convenientes para se obter um vírus (...) e que se obtêm portanto, por evolução espontânea para o estado de equilíbrio, formas macroscópicas organizadas a partir de uma aparente desordem inicial.*

Estes factos são evocados para concluir que *não existe identidade entre aumento de entropia e desordem num sistema fechado.*

O erro conceptual aqui cometido é o mesmo que aquele que tínhamos acabado de descrever. A reacção bioquímica ocorre espontaneamente e as condições cinéticas e termodinâmicas não impõem aparentemente um fornecimento de energia a partir do meio exterior. Isso não significa que o sistema seja isolado. A entropia do sistema diminui e a energia de Gibbs tende para um mínimo, para o que basta que a entalpia de reacção seja negativa ou, por outras palavras, que a reacção seja exotérmica (com  $\Delta H > T\Delta S$  em valor absoluto). O argumento de Danchin não é convincente porque parece confundir sistema isolado com ausência de fornecimento de energia. Para que a entropia de um sistema diminua é sobretudo preciso que ele a dissipe, o que a maior parte das vezes acontece quando ele cede globalmente mais energia ao meio exterior do que a que recebeu.

#### Referências

- [1] Pierre THUILLER. "Les savoirs ventriloques", Paris, Seuil, 1983. "Les petit savant illustré", Paris, Seuil, 1980
- [2] Jean ULLMO. "Le principe de Carnot et la philosophie", in "Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique", Ed. du C.N.R.S., 1976, pág. 399
- [2b] "Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique", Ed. du C.N.R.S., 1976
- [3] Magazine Littéraire n.º 223, Outubro 1985 (dossier Levi-Strauss) 40, rue des Saints-Pères, 75007 Paris
- [4] Claude LEVI-STRAUSS. "Tristes Tropiques", Paris, Plon, 1955, nouvelle édition, Press Pocket, 1984, página 496. Edição portuguesa, Edições 70, col. Perspectivas do Homem, 1986
- [5] Hubert REEVES. "L'heure de s'enivrer", Paris, Seuil, 1986. Edição portuguesa, Gradiva, 1987.
- [6] Claude LEVI-STRAUSS. "Les structures élémentaires de la parenté", Paris, PUF, 1949, reedição La Haye, Mouton, 1967. Para uma introdução a este trabalho ler os artigos de J. Pouillon e S. de Beauvoir no dossier do Magazine Littéraire (referência 3, páginas 31-37)
- [7] Emmanuel TERRAY, in Magazine Littéraire, referência 3 página 55
- [8] Claude LEVI-STRAUSS. Introdução à obra de Marcel Mauss. Prefácio a: Marcel Mauss, "Sociologie et anthropologie", Paris, PUF, Quadrige, 1983) (reedição), página XXXII

- [9] Claude LEVI-STRAUSS. "Race et histoire", Unesco, 1952, reedição, Paris, Denoël, bibliothèque Médiations, 1987. Edição portuguesa, Presença, 3.ª edição, 1980
- [10] Georges CHARBONNIER. "Entretiens avec Claude Levi-Strauss", Paris, Plon, Julliard, 1961, reedição U.G.E. 10/18, 1969 (esgotado)
- [11] Claude LEVI-STRAUSS. Lição inaugural no Collège de France, 1960, retomado em "Anthropologie structurale deux", Paris, Plon, 1973
- [12] Claude LEVI-STRAUSS. "Anthropologie Structurale", Paris, Plon, 1958, reedição Plon, Press Pocket (Agora), 1985. As referências aos trabalhos de Wiener, Shannon e à termodinâmica encontram-se nas páginas: 70, 341, 356, 377 e 427
- [13] André LAPIDUS. "Une thermodynamique du social?". *Cahiers Internationaux de Sociologie*, LXX, 1981. "Une méthodologie pour les sciences sociales: la thermodynamique?" *Entropie*, n.º fora de série "Thermodynamique et sciences de l'homme", 1982
- [14] Paul SAMUELSON. "An extension of the Le Chatelier principle", *Econometrica*, 1960. Citado por T. de Montbrial, referência 2 bis, página 327
- [15] Thierry de MONTBRIAL. Referência 2 bis, página 321
- [16] Nicholas GEORGESCU-ROEGEN. "The entropy law and the economic process", Harvard University Press, 1971
- [17] Nicholas GEORGESCU-ROEGEN. Referência 2 bis, página 351-353
- [18] Nicholas GEORGESCU-ROEGEN. "La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine", *Entropie*, n.º fora de série "Thermodynamique et sciences de l'homme", 1982, página 76
- [19] Jeremy RIFKIN. "Entropy: a new world view", New-York, Viking Press, 1981
- [20] Joel de ROSNAY. "Les chemins de la vie", Paris, Seuil, 1983, páginas 88-91
- [21] Michel GUTSATZ. "Au-delà du second principe de la thermodynamique, ou l'entropie et ses analogies", C.E.R.S., Aix, ronéo, 1981
- [22] François JACOB. "La logique du vivant, une histoire de l'hérédité", Paris, Gallimard, 1970, reedição Tel, Gallimard, 1976. Edição portuguesa, Dom Quixote, 1985
- [23] Jacques MONOD. "Le hasard et la nécessité, essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne", Paris, Seuil, 1960. Reedição Points Seuil, 1973. Edição portuguesa, Europa-América, 2.ª edição, 1986
- [24] Pierre THUILLIER. "Les biologistes vont-ils prendre le pouvoir?" "Darwin & Co". Paris, Editions Complexes, 1981
- [25] Hannes ALFVEN. "La cosmologie: mythe ou science?", *La Recherche*, n.º 69, Julho 1975, página 610
- [26] Alain JAUMOTTE. Referência 2 bis, página 325
- [27] Pierre BOURDIEU. "Ce que parler veut dire", Paris, Fayard, 1984
- [28] Gilles DELEUZE. Conversa com A. Delaure e C. Parnet, *L'autre Journal*, n.º 8, Outubro 1985
- [29] Michel de PRACONTAL. "L'imposture scientifique en dix leçons", Paris, Editions de la Découverte, 1986
- [30] Pierre BERGE, Yves POMEAU e Christian VIDAL. "L'ordre dans le chaos", Paris, Hermann, 1984
- [31] Ilya PRIGOGINE e Isabelle STENGERS. "La nouvelle alliance", Paris, Gallimard, Folio (2.ª edição), 1986. Edição portuguesa, Gradi-va, 1987
- Ilya PRIGOGINE. "Physique, temps et devenir", Paris, Masson, 1982
- [32] Adolphe PACAULT e Christian VIDAL. "Structures chimiques spatiales, ondes chimiques - Mise au point", *Journal de Chimie Physique* 79 (1982) 691
- Christian VIDAL. "Etude expérimentale du comportement des systèmes chimiques loin de l'équilibre". *Journal de Chimie Physique* 84 (1987) 1279
- [33] Ludwig BOLTZMANN. "Leçons sur la théorie des gaz", Paris, Gauthier Villars, 1905. Reedição Paris, J. Gabay, 1987
- [34] Donald A. McQUARRIE. "Statistical Mechanics", New-York, Harper and Row, 1976
- [35] Warren WEAVER e Claude SHANNON. "Théorie mathématique de la communication" Edição francesa: C.E.P.L., 1975. Edição original: University of Illinois Press, 1949
- [36] Léon BRILLOUIN. "Science and information theory", New-York, Academic Press, 1956
- [37] Antoine DANCHIN. *La recherche*, n.º 92, Setembro 1978



LAVOISIER, Antoine (1743-1794)

Ilustre químico francês criador da Química moderna.

Temas: nomenclatura química; composição do ar; oxigênio e combustões; lei da conservação da matéria; propriedades dos gases; calor e calorimetria; o sistema métrico.

Foi decapitado no tempo da Revolução Francesa.

---

1789

---

Publicação do livro «*Traité Élémentaire de Chimie dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*» (Tratado Elementar de Química com nova sistematização e contendo as descobertas modernas). Este trabalho é calssificado, a par de «Origin of Species» de Darwin e «Principia Mathematica» de Newton, de obra revolucionária científica. A Química como Ciência tem a data da sua publicação.

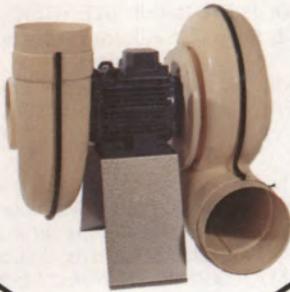
# ventiladores centrifugos

**PARA FLUIDOS CORROSIVOS**

- Corpo e turbina em PVC/PPH
- Motor trifásico blindado IP 55
- Especialmente concebido para movimentação de fluidos com características corrosivas.

- Aplicação:

- indústria química
- indústria farmacêutica
- petroquímica
- laboratórios químicos
- etc.



com motor eléctrico **EFACEC**



**EFACEC, Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, S.A.**

Capital Social 1 500 000 contos

CRC Porto — n.º 13 298

Contribuinte n.º 500091480

C. A. E. 383 100

Divisão VENTILADORES

NORTE: Av. Eng.º Frederico Ulrich — Apartado 31 — Guardéiras — 4470 MAIA  
Tel. 9482210 — Telex 25491 EFAMA P

SUL: R. Rodrigo da Fonseca, 76 - 3.º — 1200 LISBOA  
Tels. 530161-563351 — Telex 12124 EFALIS P

# Por um Ensino relevante da Química: Que papel para o Trabalho Experimental?

António F. Cachapuz<sup>a</sup>

*«Temos talvez o instrumento adequado mas não o estamos usando adequadamente»*

A. Johnstone

## Posição do problema

Uma das maneiras pela qual a investigação em Educação em Química pode ser útil aos professores é ajudá-los a reflectir sobre as suas próprias práticas. Este breve estudo insere-se nessa lógica e o seu objectivo é contribuir para um maior escrutínio no que respeita ao uso do trabalho experimental (TE) no ensino da Química (14/17 anos). Na verdade, sendo o TE uma actividade em relação à qual os professores investem normalmente grandes expectativas pedagógicas e que consome grande parte do tempo e dos recursos dedicados ao ensino, nem sempre é claro se um dado tipo de TE é o mais adequado tendo em vista um determinado objectivo de ensino [1, 2]. Tal falta de convergência tem provavelmente a ver com a própria falta de consenso (entre investigadores e/ou professores) sobre os quais os objectivos do TE, apesar de extensa investigação sobre este tema [3, 4]. De líquido fica a certeza de que os objectivos do TE são múltiplos e função do nível de ensino a que esse trabalho se dirige.

Da falta de consenso sobre quais os objectivos do TE resulta ser pouco aconselhável propor aos professores modelos normativos de TE, situação no entanto frequentemente encontrada na literatura da especialidade. Por essa razão, desenvolve-se neste estudo uma metodologia alternativa de análise do uso de TE que, embora menos formal, pode eventualmente ser mais útil aos professores de Química. Tal metodologia consiste, no essencial, em sistematizar numa matriz de decisões atributos e vantagens relativas à aplicação de formatos correntes de TE de modo a dar aos professores a possibilidade de escolhas individuais mais informadas em função dos seus próprios objectivos e condições concretas de trabalho, i.e., contextualizar as suas decisões. O problema deixa pois de ser "qual o formato de TE que se deve seguir" para ser "qual o formato de TE mais aconselhável para os meus alunos".

Na discussão dos diferentes formatos adoptou-se um modelo de ensino/aprendizagem de raiz construtivista [5] de modo a realçar o carácter problemático do conhecimento. De notar que tal perspectiva não coincide com pressupostos psicopedagógicos e epistemológicos frequentes e que no caso do TE são sede de alguma confusão sobre o sentido que se lhe deve atribuir, nomeadamente: (i) Activismo, i.e., pelo facto dos alunos estarem fisicamente em actividade eles aprendem necessariamente melhor. Com efeito, "... é uma ilusão acreditar que a acção ainda que levada a cabo pelos alunos, contém em si mesma o poder de produzir conhecimento" [6]. Há pois que distinguir entre o su-

jeito activo na construção do seu conhecimento e uma mera expressão do operacionalismo pedagógico, (ii) Cientismo, i.e., pretensa correspondência do TE, nomeadamente no caso do chamado método de descoberta (pura), à fase experimental da investigação científica no pressuposto que tal conduz a uma superior formação dos conceitos pelos alunos. Uma tal perspectiva, frequentemente assumida pelos próprios alunos [7], tem subjacente o empirismo lógico e é naturalmente falaciosa já que a descoberta científica exige sólidos conhecimentos prévios. Acresce que se corre o risco de promover nos alunos uma visão deturpada da Química, dado que parece difícil de conciliar a natureza problemática do conhecimento com o uso do TE conduzindo o mais das vezes a uma só solução, a solução do professor [8]. A este respeito pode ser útil a distinção feita entre "descobrir que" e "descobrir porquê" [9]. Por exemplo, descobrir que a temperatura influencia a velocidade das reacções químicas é bem menos problemático para os alunos do que descobrir porque é que tal efeito tem lugar.

## Tipologia do trabalho experimental

A nível do 3.º ciclo do Ensino Básico e Ensino Secundário, o TE em Portugal envolve no essencial três formatos: Demonstrações (D), Verificações (V) e Explorações (E). Os dois primeiros são os mais típicos (mais de 95%, em especial as D), qualquer que seja a formação académica dos professores, sua situação e experiência profissionais [10]. As V e E são geralmente levadas a cabo por grupos de alunos. Exemplos correntes são, a ilustração experimental da lei de Lavoisier pelo professor (D) ou alunos (V) e diferentes processos de separação dos componentes de uma mistura NaCl/areia (E), desde que o exemplo não seja familiar ao aluno. Na Tabela 1 apresentam-se possíveis dimensões do TE e seus atributos (indicação tendencial) para cada um dos três formatos. Na selecção de tais dimensões privilegiou-se o grau de envolvimento dos alunos no TE (i.e., lógica construtivista).

Os atributos de cada dimensão na Tabela 1 representam, naturalmente, posições limite. Assim, são previsíveis situações de ensino em que, por exemplo, a iniciativa do planeamento seja negociada entre o professor e o aluno embora se proponha no essencial dever centrar-se neste último. Do mesmo modo, aquilo que pode parecer uma tarefa aberta pode não o ser se o professor só aceitar uma solução. Isto é, uma tarefa aberta não é só aquela que tem mais do que uma solução possível (usualmente centrada nos processos mais do que sobre os conteúdos) mas depende também se e do modo como, o professor aceita as diferentes soluções propostas pelo aluno.

<sup>a</sup> Universidade de Aveiro.

TABELA 1

Atributos correspondentes às dimensões e formatos do TE

Dimensões	Formatos		
	D	V	E
1 — Grau de abertura	fechada	fechada	aberta
2 — Iniciativa do planeamento	P	P	A
3 — Execução	P	A	A
4 — Princípio de análise de dados e sua exploração	P	P	A
5 — Interações	P-A	A-A	A-A

P: professor      A: aluno

## (i) Dimensões 1, 2 e 4

Se a intenção é aproximar a realização do TE do tipo de situações problema encontradas na investigação científica, as tarefas abertas são usualmente reconhecidas como mais vantajosas [11]. Pelo mesmo motivo, a iniciativa do planeamento e princípio da análise de dados (Dimensões 2 e 4) devem estar centradas nos alunos de modo a dar-lhes a oportunidade de p.ex.: tentar definir operacionalmente variáveis e sugerir modos de as controlar. Estudos de casos recentemente descritos envolvendo alunos Portugueses parecem adaptados a estas duas dimensões [12]. De acordo com a Tabela 1 resulta que o formato de TE que melhor se adapta às dimensões 1, 2 e 4 são as Explorações. Neste caso, o ênfase do TE não é pois a mera ilustração dos conteúdos (caso das D nomeadamente) mas sim um compromisso entre conteúdos e processos.

## (ii) Dimensões 3 e 5

Se o objectivo do professor é promover o desenvolvimento de habilidades manipulativas, o formato mais adequado é, Verificações ou Explorações. De notar que a execução experimental pelos alunos pode ainda servir dois importantes fins:

- Apreciar a Química como ciência experimental (cheiros, frustração de uma experiência mal sucedida...).
- Permitir-lhes melhor gerir o seu ritmo de aprendizagem já que o ritmo da informação passou agora a poder ser também controlado pelo aluno e não apenas pelo professor.

Finalmente, interações verbais (dimensão 5) do tipo aluno-aluno (mais frequentes em princípio quando estes trabalham em grupo) favorecem a função ideacional da linguagem [13] e por isso mesmo a construção do conhecimento, já que permitem aos alunos um maior grau de especulação, espontaneidade e problematização das situações. Também aqui o formato de TE melhor adaptado é, Verificações ou Explorações.

A ausência das Demonstrações na discussão anterior nem por isso significa que não haja razões para as usar (ver Tabela 2). De notar que a lógica de construção da Tabela 2 tem agora a ver com aspectos relativos à organização do ensino na sala de aula.

TABELA 2

Vantagem relativa das condições de realização dos diferentes formatos de TE

Condições	Formato		
	D	V	E
Recursos disponíveis (instalações/equipamento)	+	-	-
Segurança	+	-	-
Tempo	+	-	-

+/-: maior/menor vantagem relativa.

A análise das Tabelas 1 e 2 sugere duas conclusões:

- A escolha do formato de TE cujo uso é actualmente privilegiado nas aulas de Química, as Demonstrações [10], só se justifica por factores ligados à organização e gestão do ensino na sala de aula e não por aspectos centrados na aprendizagem dos alunos. Não é pois de admirar a existência de falsas expectativas nos professores no que respeita ao papel desempenhado pelo TE na aprendizagem da Química.
- Nenhum dos formatos de TE apresentados encerra em si as virtualidades suficientes que o façam preferir de um modo absoluto a qualquer outro. Tal significa que os professores devem estar preparados para usar diferentes opções de TE. A escolha do formato mais adequado deve ser feita de acordo com os seus próprios objectivos e condições de trabalho. As Tabelas 1 e 2, como matrizes de decisão que são, poderão eventualmente ajudar a tomar opções mais criteriosas.

## Conclusões

A sistematização feita sobre aspectos da problemática do TE teve como objectivo central facilitar aos professores de Química a reflexão sobre as suas práticas de ensino. Numa 1.ª fase, tal reflexão passa pela(s) resposta(s) a três questões:

- o que pretendo eu com uma dada experiência?
- que formato de TE é o mais adequado (ver Tabelas 1 e 2) para esse fim?
- não haverá outros métodos mais vantajosos para atingir esses mesmos objectivos?

A resposta satisfatória a estas questões nem por isso significa que o TE se realize com sucesso. Em particular, a implementação do TE sofre frequentemente de falta de contexto, uma vez que os alunos não sabem muitas vezes porque é que estão realizando uma dada experiência. É pois importante que se lhes esclareça quais os fins da experiência que vão realizar, os procedimentos experimentais a adoptar (caso de V) e a articulação entre uns e outros [14]. Um dos lugares privilegiados para iniciar a reflexão cuidada sobre o sentido e a dar ao TE em Química é no contexto da formação inicial e em serviço dos professores de Química. Tal reflexão deve basear-se em investigação educacional, se possível participada pelos professores em formação. O papel do Boletim da Sociedade Portuguesa de Química na difusão dos frutos de tal reflexão será no meu entender insubstituível.

## Referências

- [1] WOOLNOUGH, B.E. (1983). «Towards a rationale for practical work in school science: implications for training teachers». In Tamir, P., Hofstein, A. and Ben-Peretz, M., (Ed.), Proceedings of the Internacional Seminar «Preservice and Inservice Education of Science Teachers», University of Jerusalem, p. 415-421
- [2] GARRETT, R.M. and ROBERTS, I.F. (1982). «Demonstration versus small group practical work in science education. A critical review of studies since 1900». Studies in Science Education, n.º 9
- [3] SOLOMON, J. (1980). «Teaching children in the laboratory». Croom Helm
- [4] HOFSTEIN, A. and LUNETTA, V. (1982). «The role of the laboratory in science teaching: neglected aspects of research». Review of Educational Research, 52(2), p. 201-207
- [5] OSBORNE, R. and WITTROCK, M. (1985). «The generative learning model and its implications for science education». Studies Sci. Educ., 12, p. 59-87
- [6] KUBLI, F. (1979). «Piaget's cognitive psychology and its consequence for the teaching of science». Eur. Journal of Science Education, 1(1), p. 5-20
- [7] KYLE, W.C. (1980). «The distinction between inquiry and scientific inquiry and why high school students should be cognizant of the distinction». J. Res. Sci. Teaching, 17, p. 123-130
- [8] DRIVER, R. (1975). «The name of the game». S.S.R., 56 (197), p. 800-805
- [9] WELLINGTON, J. (1981). «What's supposed to happen sir?». S.S.R., 63 (222), p. 167-173
- [10] CACHAPUZ, A., MALAQUIAS, I., MARTINS, I., THOMAZ, M. e VASCONCELOS, N., (Grupo INEA/FQ). «O trabalho experimental nas aulas de Física e Química: uma perspectiva nacional». Trabalho de investigação submetido para publicação na Gazeta de Física, em 1988
- [11] PAVELICH, M. and ABRAHAM, M. (1979). «An Inquiry format laboratory program for general chemistry», J. Chem. Educ., 56, (2), p. 100-103
- [12] CACHAPUZ, A., ROCHA, J. e JESUS, H. «Química e Ambiente: como de um problema ambiental se construiu uma estratégia de ensino do conceito de reacção química — ensino básico». Trabalho de investigação submetido para publicação no Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, em 1989
- [13] The Association for Science Education (1980). «Language in Science». College Lane, Hatfield, Herts, England
- [14] GALLAGHER, J. and TOBIN, K. (1987). «Teacher management and student engagement in high school science». Science Education, 71(4), p. 535-555

COLABORE  
COM A  
SOCIEDADE

NÃO ATRASE  
O PAGAMENTO  
DAS  
SUAS QUOTAS

## **ENCONTRO**

### **COMPUTADORES NO ENSINO DA FÍSICA E DA QUÍMICA**

A Sociedade Portuguesa de Física, a Sociedade Portuguesa de Química e o Projecto Minerva organizam um encontro sobre Computadores no Ensino da Física e da Química, na Universidade de Coimbra, de 22 a 24 de Fevereiro de 1990.

#### **OBJECTIVOS:**

- Reunir ...
- Divulgar ...
- Discutir ...

Os interessados devem enviar uma pré-inscrição até ao dia 30 de Julho próximo para:  
Departamento de Física da Universidade de Coimbra, 3000 COIMBRA.



#### **Ficha de pré-inscrição**

**COMPUTADORES NO ENSINO DA FÍSICA E DA QUÍMICA**  
Departamento de Física da Universidade de Coimbra, 3000 COIMBRA

22-24 Fevereiro de 1990

Nome .....

Morada .....

Telefone ..... Escola .....

Sócio SPF

Sócio SPQ

Delegado Projecto Minerva

Tenciona apresentar uma comunicação? .....

# Análise da Variância

## — dois casos estudados

A. Correia Cardoso <sup>a</sup>  
 Maria da Graça Miguel <sup>a</sup>  
 S. J. Formosinho <sup>a</sup>

A análise da variância a um critério de classificação ou a um factor é uma técnica estatística correntemente utilizada para comparar as médias de várias populações supostas normais e com a mesma variância, a partir de amostras aleatórias, simples e independentes. Tem essencialmente por princípio dividir a variância total em duas quantidades: o quadrado médio *factorial* ou *entre amostras* — definida a partir dos desvios entre as médias das diferentes amostras e a média geral — e o quadrado médio *residual* ou *dentro das amostras* que é função dos desvios existentes entre os valores observados e a média das amostras correspondentes. As diferenças entre médias são testadas pelo cálculo do índice estatístico F que compara a variabilidade de valores entre grupos com a variabilidade entre valores individuais dentro do grupo.

### Caso estudado I

O estudo tem por finalidade analisar o comportamento de um grupo de estudantes ao longo do trabalho de laboratório, TL, estabelecido para o curso de Química Geral desenvolvido em regime de acompanhamento de ritmo próprio [1]. A Tabela 1 refere as classificações médias atribuídas ao grupo nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro. Os valores de F obtidos por execução do programa "Análise da variância a um factor" estão referidos no Quadro I. A comparação dos valores F observados com os valores teóricos [2] permite-nos as seguintes conclusões: o valor (3,67) de F para as amostras é menor do que o valor teórico (3,72) para 2 e 14 graus de liberdade, ao nível 0,05, o que conduz à aceitação da hipótese nula e, conseqüentemente, à conclusão de que não há diferenças nas classificações médias ao longo do período referido. Contudo, o valor F (5,26) para os estudantes é superior ao valor teórico (3,65) para 14 graus de liberdade, ao nível 0,05, pelo que temos de rejeitar a hipótese nula e concluir que há diferenças significativas entre os estudantes, quando considerados dentro de cada uma das amostras.

A análise da variância a um critério de classificação pode ser generalizada a dois critérios de classificação. Neste caso a soma total dos quadrados dos desvios divide-se em quatro componentes: duas são as somas factoriais, a terceira ligada à *interacção* dos dois factores controlados e a quarta é uma soma residual.

TABELA 1

Classificação média dos estudantes (amostra: N=15 estudantes do C.E. do ano lectivo de 1986/87)

Estudante	Classificações médias		
	Outubro	Novembro	Dezembro
E1	55	65	50
E2	60	65	60
E3	75	65	60
E4	65	70	75
E5	45	65	70
E6	40	60	60
E7	60	70	60
E8	70	80	75
E9	45	55	60
E10	75	80	80
E11	70	75	80
E12	50	65	55
E13	65	60	65
E14	70	60	60
E15	75	75	80

### QUADRO I

RUN  
 ANÁLISE DE VARIÂNCIA A UM FACTOR

```
INPUT THE NO.OF TRIALS!3
INPUT THE NO.OF OBSERVATIONS
IN EACH TRIAL
!15
INPUT DATA ONE TRIAL AT A TIME
ERRORS ON INPUT CAN BE
CORRECTED AFTER EACH TRIAL
ENTRY
```

```
TRIAL 1
OBSERVATION1=!55
OBSERVATION2=!60
OBSERVATION3=75
OBSERVATION4=!65
OBSERVATION5=!45
OBSERVATION6=!40
OBSERVATION7=!60
OBSERVATION8=!70
OBSERVATION9=!45
OBSERVATION10=!75
OBSERVATION11=!70
OBSERVATION12=!50
OBSERVATION13=!65
OBSERVATION14=!70
OBSERVATION15=!75
ARE DATA CORRECT(Y OR N)!Y
```

<sup>a</sup> Departamento de Química, Universidade de Coimbra.

## TRIAL 2

OBSERVATION1=!65  
 OBSERVATION2=!65  
 OBSERVATION3=!65  
 OBSERVATION4=!70  
 OBSERVATION5=!65  
 OBSERVATION6=!60  
 OBSERVATION7=!70  
 OBSERVATION8=!80  
 OBSERVATION9=!55  
 OBSERVATION10=!80  
 OBSERVATION11=!80  
 OBSERVATION12=!55  
 OBSERVATION13=!65  
 OBSERVATION14=!60  
 OBSERVATION15=!80  
 ARE DATA CORRECT(Y OR N)!Y

## TRIAL 3

OBSERVATION1=50  
 OBSERVATION2=!60  
 OBSERVATION3=!60  
 OBSERVATION4=!75  
 OBSERVATION5=!70  
 OBSERVATION6=!60  
 OBSERVATION7=!60  
 OBSERVATION8=!75  
 OBSERVATION9=!60  
 OBSERVATION10=!80  
 OBSERVATION11=!80  
 OBSERVATION12=!55  
 OBSERVATION13=!65  
 OBSERVATION14=!60  
 OBSERVATION15=!80

## SOURCE OF VARIATION

## BETWEEN TRIALS

S.O.S=297,777893  
 DF=2  
 VAR=148,888947  
 \*\*\* F3,67123454 \*\*\*

## BETWEEN SUBJECTS

S.O.S=2991,11102  
 DF=14  
 VAR=213,650787  
 \*\*\* F=5,26810195 \*\*\*

## INTERACTION

S.O.S=1135,55548  
 DF=28  
 VAR=40,555529

## Caso estudado II

O estudo tem por finalidade verificar se a atitude dos estudantes em relação ao TL é afectada pelo uso de módulos de aprendizagem assistida por computador.

Os grupos e os tópicos envolvidos nas experiências usadas na simulação e no laboratório foram as seguintes:

- GRUPO 1 Cinética da reacção do iodo com acetona
- GRUPO 2 Lei de Beer e determinação de concentrações
- GRUPO 3 Efeito da concentração no potencial de eléctrodo
- GRUPO 4 Determinação da energia de activação

Os Grupos 2 e 4 nas experiências simulada/laboratório e o Grupo 1 na experiência simulada utilizam um espectrofotómetro de absorção no visível. Os estudantes do Grupo

1 antes de realizarem as experiências no laboratório foram instruídos sobre o funcionamento do espectrofotómetro. Para estudos de correlação foi fornecido a cada estudante um teste escrito de resposta múltipla (4 opções) (Tabela 2). Os coeficientes de fidelidade dos testes foram determinados pelo método das metades. As metades foram organizadas a partir das somas das pontuações dos itens ímpares (variável 1) e a soma das pontuações dos itens pares (variável 2), calculando-se, posteriormente, a correlação entre as duas variáveis e, a seguir o coeficiente de fidelidade pela fórmula de Spearman-Brown [3,4]. Uma amostragem dos resultados obtidos por execução do programa "Coeficiente de correlação" para a Experiência 2 relativa ao uso do espectrofotómetro, está indicada no Quadro II.

TABELA 2

Testes, número de questões (N) e coeficientes de fidelidade

Teste	N	Coeficiente de fidelidade
Exp 1		
Uso Esp.	14	0,64
Cinética	27	0,82
Exp 2		
Uso Esp.	17	0,69
Lei de Beer	29	0,86
Exp. 3	20	0,75
Exp. 4	18	0,91

## QUADRO II

RUN  
COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

INPUT THE NO. OF OBS. (ROWS)  
 FOR EACH VARIABLE! 10

INPUT DATA ONE ROW AT A TIME  
 ERRORS ON INPUT CAN BE  
 CORRECTED AFTER 5 (OR ALL)  
 ROWS ARE ENTERED

ROW 1  
 VARIABLE 1=!3  
 VARIABLE 2=!2

ROW 2  
 VARIABLE 1=!3  
 VARIABLE 2=!5

ROW 3  
 VARIABLE 1=!5  
 VARIABLE 2=!4

ROW 4  
 VARIABLE 1=!5  
 VARIABLE 2=!3

ROW 5  
 VARIABLE 1=!2  
 VARIABLE 1=!2

ROW 6  
 VARIABLE 1=!3  
 VARIABLE 2=!5

ROW 7  
 VARIABLE 1=!2  
 VARIABLE 2=!3

ROW 8  
 VARIABLE 1=!5  
 VARIABLE 2=!5

ROW 9  
 VARIABLE 1=!4  
 VARIABLE 2=!4

ROW 10  
 VARIABLE 1=!4  
 VARIABLE 2=!5  
 ARE DATA CORRECT (Y OR N)!Y

CORRELATION COEFICIENT=0,516129035  
 COEFF. OF DETERMINATION =0,26638918  
 N=10  
 DEGREES OF FREEDOM=8

A fidelidade para o teste com metade do número de itens é 0,52. Aplicando a fórmula de Spearman-Brown, para a estimativa da fidelidade do teste com o dobro do número de itens, tem-se

$$rn(2) = 2 \times 0,52 / (1 + 0,52) = 0,68$$

Referem-se de seguida os valores F gerados pelo programa "Análise de variância a dois factores": factor A, atitude do estudante (atitude elevada (H) × atitude baixa (L)), factor B, método de ensino utilizado (simulação × laboratório) e interacção (I) (Tabela 3). No Quadro III refere-se uma amostragem dos valores obtidos por execução do programa para o Teste 3.

TABELA 3  
 Valores F

	Simulação		Laboratório		A	Valor F	
	H	L	H	L		B	I
Exp 1							
Cinética	11,66	9,54	10,83	8,95	8,73 <sup>(3)</sup>	1,05	0,03
Uso Esp	23,92	21,60	20,29	15,18	24,10 <sup>(4)</sup>	34,79 <sup>(4)</sup>	2,78 <sup>(1)</sup>
Exp 2							
λ <sub>max</sub>	12,00	8,21	10,07	6,92	22,13 <sup>(4)</sup>	4,73 <sup>(2)</sup>	0,19
Cu-λ <sub>max</sub>	26,56	20,36	25,13	16,58	28,80 <sup>(3)</sup>	3,67	0,70
Exp 3							
Teste 3	19,90	16,17	20,11	14,54	42,48 <sup>(4)</sup>	0,22	1,14
Exp 4							
Teste 4	18,14	14,14	12,90	7,50	6,38 <sup>(2)</sup>	11,19 <sup>(2)</sup>	0,14

<sup>(1)</sup> p<0,1; <sup>(2)</sup> p<0,05; <sup>(3)</sup> p<0,01; <sup>(4)</sup> p<0,001 [2]

### QUADRO III

RUN  
 PROGRAMA ANÁLISE DE VARIÂNCIA A DOIS FACTORES

ARRANGE DATA INTO A MATRIX  
 WITH FACTOR 1 LEVELS IN ROWS  
 AND FACTOR 2 LEVELS IN COLS

INPUT NO.OF LEVELS IN  
 FACTOR 1! 2

INPUT NO.OF LEVELS IN  
 FACTOR 2! 2  
 INPUT NO.OF OBS. IN EACH EACH  
 SAMPLE (CEL)!4

INPUT DATA.ERRORS ON INPUT  
 CAN BE CORRECTED AFTER EACH  
 SAMPLE INPUT

FACTOR 1,LEVEL(ROW) 1  
 FACTOR 2,LEVEL(COLUMN)1  
 OBSERVATION 1=!10.0  
 OBSERVATION 2=!11.1  
 OBSERVATION 3=!13.3  
 OBSERVATION 4=!12.2  
 ARE DATA CORRECT(Y OR N)!Y  
 FACTOR 1,LEVEL(ROW) 1  
 FACTOR 2,LEVEL(COLUMN)2  
 OBSERVATION 1=!9.7  
 OBSERVATION 2=!9.7  
 OBSERVATION 3=!10.8  
 OBSERVATION 4=!13.0  
 ARE DATA CORRECT(Y OR N)!Y

FACTOR 1,LEVEL(ROW) 2  
 FACTOR 2,LEVEL(COLUMN)1  
 OBSERVATION 1=!7.2  
 OBSERVATION 2=!7.5  
 OBSERVATION 3=!7.7  
 OBSERVATION 4=!7.9  
 ARE DATA CORRECT(Y OR N)!Y  
 FACTOR 1,LEVEL(ROW) 2  
 FACTOR 2,LEVEL(COLUMN)2  
 OBSERVATION 1=!8.1  
 OBSERVATION 2=!7.8  
 OBSERVATION 3=!8.0  
 OBSERVATION 4=!7.8  
 ARE DATA CORRECT(Y OR N)!Y

SOURCE OF VARIATION

BETWEEN GROUPS

FACTOR A  
 S.O.S=48.3025026  
 DF=1  
 VAR=48.3025029  
 \*\*\* F=42.4793018 \*\*\*  
 FACTOR B  
 S.O.S=0.250002384  
 DF=1  
 VAR=0.250002384  
 \*\*\* F=0.2198628667 \*\*\*

INTERACTION

S.O.S=1.43999767  
 DF=1  
 VAR=1.43999767  
 \*\*\* F=1.26639599 \*\*\*

WITHIN GROUPS

S.O.S=13.644999  
 DF=12  
 VAR=1.13708325

O estudo mostra que o nível de *performance* atingido pelos estudantes dos grupos de simulação iguala o atingido pelos grupos laboratoriais. Atente-se, contudo, que as experiências seleccionadas para a simulação utilizam um instrumento muito específico e os resultados obtidos são expressos apenas em números. Não é pois de admirar, que para este tipo de experiência o nível de sucesso obtido seja superior ao alcançado em outro tipo de experiências que envolvem observações mais rigorosas ou uma elevada destreza manual. A utilidade da experimentação simulada neste tipo de experiências é reforçada pelo facto de não haver diferenças significativas entre as classificações obtidas nos testes práticos, quer pelos grupos de simulação quer pelos de laboratório, embora estes últimos evidenciem uma maior capacidade de destreza. Foi também evidenciada a utilidade da simulação como suplemento do laboratório e não como uma actividade extra. Os valores H são em todos os

testes significativamente melhores, o que está de acordo com estudos realizados por outros investigadores no mesmo domínio [5,6]. Facto a salientar é o apoio que as experiências simuladas dão aos estudantes que trabalham no laboratório em ritmo individual. Neste caso, dado que não há limite de tempo, a percepção por parte do estudante do seu nível de sucesso é adiada para o fim da recolha e análise de dados, e do relato de resultados. Note-se ainda para os estudantes pertencentes à categoria atitude elevada, há uma tendência para serem mais cuidadosos e repetirem a experiência ou cálculos mais vezes, a fim de obterem uma maior segurança nos resultados. Os módulos de simulação, ao facilitarem o conhecimento imediato dos resultados, permi-

tem aos estudantes progredirem na experiência mais rapidamente.

#### Referências

- [1] A. Correia Cardoso, Maria Graça Miguel e S.J. Formosinho, Bol. Soc. Port. Química, 32/33, Junho/Setembro, 1988
- [2] Pearson, E.S. e Hertley, H.O., (ed.): *Biometrika Table for Statisticians*, Cambridge Univ. Press, 1966
- [3] Guilford, J.P., *Psychometric Methods* (2nd edition), New York, McGrawHill, 1954
- [4] Gulliksen, H., *Theory of Mental Tests*, New York, 1950
- [5] Porter, M.R. e Anderson, K.E., *Science Education*, 1969, 43, 12-19
- [6] Reid, J.B., Palmer, R.I., Whitlock J., e Jones, J., *Journal of Educational Psychology*, 1973, 65, 65-73

## Convite à Reflexão...

### As Virtudes da Metafísica: a química do átomo

O carácter metafísico da teoria corpuscular, antes de Avogrado pelo menos, é evidente. Não havia possibilidade de a refutar. Podia-se sempre explicar o facto de não se conseguirem detectar os corpúsculos, nem qualquer prova deles, afirmando que eles eram demasiadamente pequenos para serem detectados. Só com uma teoria que levou a um cálculo do tamanho das moléculas é que se bloqueou mais ou menos esta via de fuga, de tal maneira que a refutação passou, em princípio, a ser possível. (As «verificações» eram, em princípio, possíveis antes disso: a invenção do microscópio, digamos, poderia, imaginariamente, ter levado à descoberta de moléculas microscopicamente visíveis). Assim, o atomismo passou a ser testável logo que foi sujeito a um cálculo do tamanho de uma molécula. Este exemplo mostra que uma teoria não testável — uma teoria metafísica — se pode desenvolver e fortalecer até que se torne testável. Mas, a isto ser assim, parece grosseiramente enganador descrevê-la como não tendo significado.

[...] O atomismo primitivo era um sistema metafísico não só no sentido em que não era testável, mas também no sentido em que concebia o mundo em termos de uma vasta generalização, à maior escala possível: «*não há mais*

*nada senão os átomos e o vazio*» (Leucipo, Demócrito). Os seus dois conceitos fundamentais, átomos e vazio, eram inobserváveis e, portanto, desconhecidos — como Demócrito salientou com uma lógica devastadora. Assim, o atomismo *explicava o conhecido através do desconhecido*: construía um mundo desconhecido e invisível por detrás do nosso mundo conhecido. E, precisamente por esta razão, foi consistentemente atacado por positivistas (mesmo depois de 1905), por todos os indutivistas de Bacon a Mach, e por todos os instrumentalistas de Barkeley a Duhem. A partir de 1905, os positivistas passaram a ser compreensivelmente mais reticentes sobre essa questão. Mas nunca explicaram como é que pode acontecer que um palanfrório sem significado possa ser substanciado em sentido. De facto, o exemplo do atomismo estabelece a inadequação da doutrina de que a metafísica é um mero palanfrório sem significado. Estabelece a inadequação da política de fazer pequenas mudanças subreptícias aqui e ali na doutrina de ausência de significado, com a esperança vã de a salvar.

Seja como for, o atomismo é um excelente exemplo de uma teoria não testável cuja influência sobre a ciência ultrapassou a de muitas teorias científicas testáveis.

Karl Popper, "O Realismo e o Objectivo da Ciência"

8  
O  
15,999

**OXIGÉNIO**, de *oxys egenos*, ou gerador de ácidos; descoberto em 1774; é o elemento mais abundante, constituindo cerca de metade do que existe na crosta terrestre, 21% da atmosfera, em volume, e 2/3 do corpo humano. É respirado pelos animais e restituído à atmosfera pelas plantas.

9  
F  
18,998

**FLUOR**, de *fluo*, ou fluir; descoberto em 1771. O fluor é o mais reactivo dos não metais; apenas alguns gases nobres lhe resistem. Corroi a platina, material que resiste à maioria das outras substâncias químicas. Numa corrente de fluor gasoso, a madeira e a borracha inflamam-se e mesmo o amianto incandesce.

10  
Ne  
20,18

**NEON**, de *neos*, ou novo; descoberto em 1898. É o mais conhecido dos gases inertes e é usado principalmente em reclames. A lâmpada de neon é um tubo de vidro ao qual se fez o vácuo e introduziu uma quantidade muito pequena de neon gasoso: quando passa uma corrente eléctrica produz uma luz vermelha alaranjada muito brilhante.

# O Carbono Orgânico e a Arqueologia — interesse, métodos de doseamento e resultados

António João de Carvalho da Cruz <sup>a</sup>

Embora não seja frequente a determinação do teor em carbono orgânico em materiais arqueológicos, há algumas situações em que essa análise pode fornecer informações úteis aos arqueólogos.

É o que sucede, por exemplo, quando é necessário estimar as quantidades de amostras, no caso em que estas são constituídas essencialmente por materiais inorgânicos, necessárias para a datação por carbono-14. [1]. Outras situações são aquelas em que se procede à análise química de estruturas arqueológicas [2] ou à análise química dos preenchimentos sedimentares de grutas e de abrigos.

## O carbono orgânico nos sedimentos

A determinação do carbono orgânico em sedimentos pode ter vários objectivos.

Quando a pesquisa é feita segundo uma estratigrafia horizontal, a variação do teor em carbono orgânico numa camada pode ajudar à delimitação de espaços ocupados e de zonas de actividade [3]. Por outro lado, nos casos em que é seguida uma estratigrafia vertical, o teor em carbono orgânico, como medida da quantidade de matéria orgânica, pode ser relacionado com o tipo de clima e de vegetação [4-5] ou pode ser utilizado como um parâmetro a ter em conta na interpretação de perfis geoquímicos, pois a forma em que alguns elementos se encontram no solo é condicionada pela presença de matéria orgânica [6-8].

Essa acção da matéria orgânica manifesta-se através de dois tipos de reacções: reacções de oxidação-redução, pelas quais a matéria orgânica (tal como os outros constituintes do solo) desloca o equilíbrio entre as formas oxidada e reduzida das espécies que podem ter diferentes estados de oxidação; reacções de complexação, pelas quais se formam compostos organometálicos. Estas reacções surgem frequentemente associadas no mesmo processo [8] e têm consequências na mobilidade dos diferentes elementos; conforme as espécies oxidadas ou as espécies complexadas são mais ou menos solúveis que as espécies reduzidas ou as espécies não complexadas, a matéria orgânica acelera ou retarda, respectivamente, a velocidade de migração.

O que sucede com o ferro é um exemplo dessa acção da matéria orgânica.

O ferro está presente nos minerais primários, sobretudo, na forma reduzida. Devido às condições oxidantes do meio, para as quais se estiver presente no solo, contribui a matéria orgânica, o ferro liberta-se, de um modo geral, na forma oxidada, a qual se hidroliza e dá origem a geles ou compostos policatiónicos que, sendo altamente instáveis, evoluem para formas cristalinas. A matéria orgânica, quando existe, inibe a recristalização do ferro através da formação de compostos organometálicos, os quais, porque são solúveis, permitem a migração do ferro no estado de oxidação

+3 [8]. No caso do ferro a migração é, portanto, favorecida pela presença de matéria orgânica, mas com outros metais é o contrário que se verifica [7-9].

## Os métodos de determinação do carbono orgânico

A determinação, de um modo sistemático, do teor em carbono orgânico em sedimentos com interesse arqueológico pressupõe a utilização duma técnica rápida, acessível e que, evidentemente, permita obter resultados com precisão e rigor adequados a cada caso [10].

Existem dois grandes tipos de métodos para a determinação do carbono orgânico no solo [11]: os métodos de combustão, em que se procede à calcinação das amostras e à determinação, normalmente por gravimetria, da quantidade de CO<sub>2</sub> libertado; e os métodos de oxidação por via húmida, os quais recorrem a um agente fortemente oxidante (permanganato de potássio, dicromato de potássio ou persulfato de potássio), para a oxidação do carbono orgânico, e ao doseamento do CO<sub>2</sub> libertado ou ao doseamento, frequentemente por titulação de retorno, do excesso de oxidante.

De um modo geral, os métodos de combustão são mais rigorosos e bastante mais lentos, enquanto, para a comparação de resultados, os métodos de oxidação por via húmida recorrem à utilização de um factor de conversão que dá conta do facto de, neste caso, a oxidação não ser completa.

Os métodos de combustão são usualmente utilizados como métodos de referência, enquanto os métodos por via húmida são utilizados nas análises de rotina.

## Métodos ensaiados, amostras e resultados

Procedeu-se à determinação do carbono orgânico em amostras recolhidas na gruta do Caldeirão (Tomar), no âmbito de um projecto de estudo geoquímico de preenchimentos sedimentares com vestígios de ocupação humana pré-histórica [12-13].

As amostras analisadas, correspondentes à fracção inferior a 2 mm, foram previamente trituradas num almofariz de ágata e secas em estufa a 105°C.

As primeiras determinações foram feitas recorrendo a um método, proposto pela Estação Agronómica Nacional, que utiliza o permanganato de potássio como agente oxidante [14-15].

<sup>a</sup> Bolseiro da Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica. Centro de Química-Física e Radioquímica da Universidade de Lisboa (INIC), Faculdade de Ciências — 1294 Lisboa Codex.

Segundo esse método, o carbono inorgânico é eliminado por tratamento, a quente, com ácido sulfúrico e ácido nítrico e a oxidação da matéria orgânica é realizada, também a quente, pelo permanganato. O excesso de oxidante é titulado com ácido oxálico.

Relativamente à técnica original, introduziu-se uma modificação, que consistiu na filtração da solução antes da titulação, que teve como objectivo o melhoramento das condições de determinação do ponto de equivalência.

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos em diferentes ensaios referentes à amostra D2. Outros ensaios realizados com outras amostras levaram à conclusão de que a falta de precisão evidenciada por esses resultados era consequência da auto-decomposição do ião permanganato — reacção que ocorre em meio ácido, por aquecimento, com evolução de oxigénio [16-17].

TABELA 1

Teor em carbono orgânico na amostra D2 (método de  $KMnO_4$ )

Ensaio	Massa / g	C / %
1	0,97356	2,74
2	0,57137	2,80
3	0,33094	2,39
4	0,29118	2,98
5	0,31119	2,68
6	0,21391	3,15
7	0,26051	2,17
8	0,25111	2,17
9	0,19925	2,56
Média		2,6 ± 0,3

Foi experimentado, então, o método de Walkley-Black, pelo qual a matéria orgânica é oxidada com dicromato de potássio, a quente [18]. Neste caso, porém, o aquecimento faz-se, apenas, aproveitando o calor libertado pela reacção com ácido sulfúrico concentrado, o qual é utilizado, também, para a eliminação dos carbonatos. A titulação do excesso de dicromato é feita com sulfato de ferro (II).

Os resultados obtidos, em diferentes ensaios, para a amostra D2 são apresentados na Tabela 2.

Como o método de Walkley-Black se mostrou mais preciso (a diferença entre os dois valores de variância é significativa, segundo o teste F, para uma probabilidade superior a 99%) e mais simples e rápido do ponto de vista laboratorial, foi adoptado para as restantes análises.

TABELA 2

Teor em carbono orgânico na amostra D2 (método de Walkley-Black)

Ensaio	Massa / g	C / %
1	0,60752	2,18
2	0,32216	2,20
3	0,37935	2,22
4	0,37343	2,01
5	0,32041	2,30
6	0,37263	2,25
7	0,46264	2,20
8	0,48483	2,22
Média		2,20 ± 0,08

Na Tabela 3 mostram-se os valores médios e o respectivo desvio-padrão obtidos para o teor em carbono orgânico em 19 amostras.

TABELA 3

Teor em carbono orgânico nas amostras analisadas (valores médios)

Amostra	Cota / cm	n	C / %	s
D1	320-340	2	3,03	0,01
D2	340-360	8	2,20	0,08
D3	360-380	5	2,04	0,04
D4	380-390	3	2,08	0,05
D5	390-400	2	1,90	0,03
D6	400-417	6	1,73	0,06
D7	417-441	3	1,61	0,07
D8	441-451	2	1,65	0,00
D9	451-471	3	1,69	0,04
D10	471-482	2	1,67	0,01
E1	733-743	3	0,26	0,03
E2	743-753	2	0,25	0,02
E3	753-765	2	0,25	0,01
E4	765-770	2	0,29	0,00
E5	770-775	2	0,32	0,03
E6	775-780	2	0,32	0,01
E7	780-788	2	0,37	0,04
E8	788-805	2	0,17	0,01
E9	805-820	2	0,07	0,03

n: número de determinações

s: desvio-padrão

Essas amostras formam duas colunas, respectivamente com 162 e 87 cm, separadas na vertical por 251 cm e na horizontal por cerca de 2,5 m. Segundo a mais recente interpretação estratigráfica, as amostras D1 a D5 correspondem a uma camada (A/B/C/D), superficial, muito remexida e com materiais arqueológicos de todas as épocas que vão do Neolítico médio ou final aos nossos dias. As amostras D6 a D10 correspondem à camada E<sub>b</sub>, atribuída ao Solutrense (Paleolítico Superior), com duas datações por carbono-14: 10 700 ± 380 BP e 14 450 ± 890 BP. As amostras da coluna E correspondem às camadas K (E1 a E3), L (E4 a E7) e M (E8 e E9), Pré-solutrenses [19-21].

### Problemas e limitações

A interpretação dos resultados depara, logo de início, com dois problemas, um inerente ao doseamento, o outro inerente aos métodos.

O primeiro consiste no facto de que não se sabe o que é que se doseou: a matéria orgânica presente no solo é uma mistura heterogénea de compostos de diversos tipos, com diferentes grupos funcionais, com reactividades diferentes e com um número variável de átomos de carbono por cada molécula [22]. A identificação e a determinação dos diferentes tipos de compostos é tecnicamente possível, mas não é viável integrá-la num esquema analítico, que se quer rápido e acessível, voltado para as análises de rotina.

Como consequência, os teores em carbono orgânico não podem ser interpretados como teores da matéria orgânica no solo, mas apenas como índices dessa quantidade.

O segundo problema reside no facto de o método analítico utilizado, como todos os métodos de oxidação por via húmida, permitir apenas o doseamento de uma fracção do carbono orgânico — aquela que é mais facilmente oxidada [11]. Esse problema pode, contudo, ser ultrapassado, procedendo-se, para cada tipo de amostra, à calibração do método de oxidação por via húmida por um método de combustão, e pelo cálculo de um factor de conversão (ou factor de recuperação) [11-18]. Frequentemente, esse factor toma um valor compreendido entre 1 e 2 [14-23].

Esta, porém, não foi a solução adoptada no presente caso.

mais do que valores absolutos, aqui, interessam variações de amostra para amostra ou de camada para camada, ou cálculos de correlações com outras propriedades, pelo que não existe qualquer vantagem em multiplicar os valores obtidos por um factor constante. Além do mais, se os próprios valores experimentalmente obtidos não são mais do que índices do teor em matéria orgânica, quaisquer cálculos desse tipo são inconsequentes — excepto no caso em que se quer comparar valores obtidos por diferentes métodos.

Pode notar-se que a utilização de índices no estudo dos solos não introduz nenhuma limitação a objectivos ou a programas; pelo contrário, permite abordagens quantitativas que doutro modo não seriam possíveis [24].

### Interpretação dos resultados

A diminuição do teor em carbono orgânico com a profundidade é uma característica comum aos perfis pedológicos e é consequência dos processos de mineralização [2, 22, 25, 26]. No presente caso, os resultados podem ser ajustados por diversas equações lineares (Tabela 4), obtendo-se valores de correlação significativos para uma probabilidade superior a 99%. A equação que melhor correlaciona os resultados (equação tipo 2) é aquela que, de um modo geral, dá origem aos valores mais elevados do coeficiente de correlação quando propriedades do solo são representadas em função do tempo (cronofunções) [27]. A equação tipo 3 permite descrever o teor em azoto nos ossos em função do tempo que estiveram depositados no solo [28]. Por outro lado, a equação tipo 4 tem a mesma forma que uma equação de velocidade de primeira ordem, se a profundidade  $X$  for substituída pelo tempo [29].

TABELA 4

Parâmetros das equações ajustadas aos resultados da Tabela 3

Equação	$a \pm s$	$b \pm s$	$r$
1: $Y = a + bX$	$3,8 \pm 0,2$	$-0,0047 \pm 0,0003$	$-0,975$
2: $Y = a + b \log X$	$17,8 \pm 0,8$	$-6,1 \pm 0,3$	$-0,983$
3: $\log Y = a + b \log X$	$8,5 \pm 0,7$	$-3,1 \pm 0,2$	$-0,953$
4: $\log Y = a + b X$	$1,3 \pm 0,1$	$-0,0025 \pm 0,0002$	$-0,963$

$X$ : valor médio da cota (em cm)

$Y$ : teor em carbono orgânico (em %)

$a, b$ : parâmetros obtidos por ajuste de mínimos quadrados

$s$ : desvio-padrão

$r$ : coeficiente de correlação

Numa sequência estratigráfica sem hiatos, a substituição, numa cronofunção, do tempo pela profundidade ou cota de camada não deve originar alterações significativas nos valores de correlação. No caso da sequência estratigráfica da gruta do Caldeirão essa substituição coloca alguns problemas: entre a amostra D5 e a amostra D6, segundo a mais recente interpretação da estratigrafia e da arqueologia [21], há um hiato de alguns milénios, para o qual não existe registo estratigráfico.

A ausência de descontinuidade geoquímica entre essas duas amostras, seja no que se refere ao carbono orgânico, seja no que se refere a outras propriedades geoquímicas [30], ou significa que essas propriedades, em geral, e o teor em carbono orgânico, em particular, são funções directas da profundidade e não do tempo — hipótese sem justificação do ponto de vista químico —, ou significa que entre as amostras D5 e D6 não existe um hiato — hipótese que contraria as evidências arqueológicas e sedimentológicas.

Esta contradição pressupõe, no entanto, que a velocidade a que ocorre a mineralização é independente da matriz e do tipo de matéria orgânica — situação que pode não se verificar no presente caso.

Assim, se os processos de mineralização forem mais rápidos nas camadas correspondentes à amostra D5 e superiores do que nas camadas correspondentes à amostra D6 e inferiores é possível, ao fim de algum tempo, encontrar-se um perfil contínuo se, entretanto, os factores que contribuíram para o gradiente de velocidade deixarem de actuar. A temperatura e a humidade são dois factores, de que depende a velocidade de degradação da matéria orgânica, que podem verificar a condição, acima mencionada, de a sua contribuição para o gradiente de velocidade diminuir com o tempo.

Para o intervalo de temperaturas a que os solos estão sujeitos, a intensidade da degradação da matéria orgânica diminui com a diminuição da temperatura e com a existência de excessiva humidade no solo [4, 6, 22].

Embora, de um modo geral, as camadas da gruta do Caldeirão se tenham depositado em condições húmidas [21], não se encontram na coluna D vestígios de acções de lixiviação intensas [30], pelo que o factor humidade não pode, neste caso, explicar o gradiente da velocidade de mineralização. Sendo assim, essa explicação terá que se basear na temperatura.

Será necessário, então que as camadas correspondentes à amostra D6 e inferiores tenham estado expostas a temperaturas bastante baixas e durante um período de tempo extenso (relativamente ao hiato existente entre as amostras D5 e D6), sem que as camadas correspondentes à amostra D5 e superiores tenham sido submetidas a essas condições. Esta hipótese é aceitável uma vez que a camada  $E_b$  é contemporânea da última glaciação.

Assim, a matéria orgânica existente na camada  $E_b$ , durante o tempo em que a temperatura foi muito baixa, esteve sujeita a processos de mineralização bastante lentos, pelo que após o período glacial estava presente em concentração superior àquela a que temperaturas moderadas teriam conduzido. Os fenómenos de erosão que vieram a dar origem ao hiato entre as camadas e oscilações no teor inicial de carbono orgânico, quer por causas bioclimáticas quer por acções humanas, são outros factores que podem ter diminuído ainda mais a diferença de concentração do carbono orgânico entre a amostra D5 e superiores e a amostra D6 e inferiores.

Aceitando-se a diminuição da temperatura como a principal causa para a existência de camadas com teores em carbono orgânico superiores àqueles que resultariam de uma velocidade de mineralização constante, a camada L deve ser contemporânea de um mínimo de temperatura.

Há, porém, uma terceira explicação possível para o perfil obtido para a coluna de amostragem D: existe o hiato na estratigrafia, mas não entre as amostras D5 e D6. A observação da Figura 1 sugere que, sendo válida essa hipótese, a descontinuidade situa-se entre as amostras D7 e D8, pois as três últimas amostras da coluna apresentam uma concentração em carbono orgânico superior àquela que a diminuição que se verifica entre a amostra D2 e a amostra D7 poderia levar a prever.

Nesta situação, esse excesso interpretar-se-ia como resultado de uma sobre-exposição das camadas correspondentes às amostras D8 a D10 às fontes de matéria orgânica, em resultado dos fenómenos que conduziram à descontinuidade estratigráfica. Por exemplo, essas camadas podem ter sido camadas superficiais durante um tempo demasiado

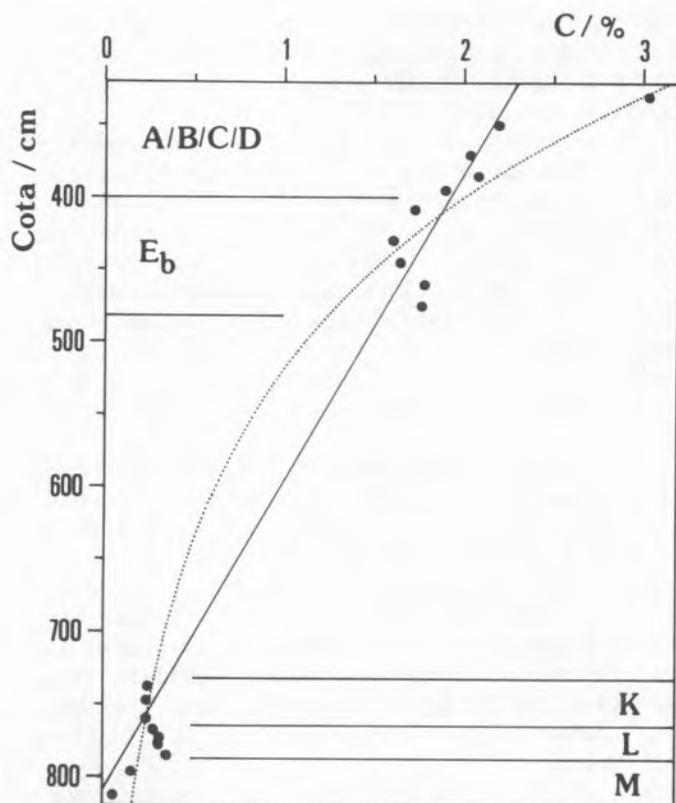


FIGURA 1

O teor em carbono orgânico na coluna de amostragem D da gruta do Caldeirão: estão traçadas as equações 1 (traço contínuo) e 2 (traço interrompido) (ver Tabela 4). As letras nas zonas superior esquerda e inferior direita indicam as camadas estratigráficas

longo ou por mais de uma vez. Esta hipótese implica que, de algum modo, exista uma diminuição considerável da concentração do carbono orgânico na camada imediatamente abaixo da camada E<sub>b</sub>.

Segundo esta perspectiva, o aumento do teor em carbono orgânico nas amostras correspondentes à camada L seria resultado de um aumento da quantidade de matéria orgânica existente na gruta durante a formação dessa camada, seja como consequência de uma maior actividade vegetal, seja como consequência de acções humanas.

A avaliação das três hipóteses aqui avançadas (não existe o hiato; existe entre as amostras D5 e D6; existe entre as amostras D7 e D8) só é possível, porém, após a interpretação dos outros resultados geoquímicos obtidos para a colu-

na D (30) e depois de analisadas amostras recolhidas nas camadas imediatamente inferiores a E<sub>b</sub>.

#### Referências

- [1] Dorn, Ronald I.; *et alli*, *Science*, 231, 830-833 (1986).
- [2] Ricardo, R. Pinto; Madeira, Manuel A.V., *Arqueologia*, 17, 179-189 (1988).
- [3] Griffith, M.A., *Geoderma*, 25(1/2), 27-34 (1981).
- [4] Jenny, Hans; Gessel, S.P.; Bingham, F.T., *Soil Sci.*, 68(6), 419-432 (1949).
- [5] Grim, Ralph E., *Clay Mineralogy*, New York, McGraw-Will, 2nd ed. (1968).
- [6] Duchaufour, Philippe, *Pédologie I. Pédogénese et classification*, Paris, Masson (1977).
- [7] Tessier, A.; Campbell, P.G.C.; Bisson, M., *Anal Chem*, 51(7), 844-851 (1979).
- [8] Abreu, Maria Manuela Silva Reis, *Aspectos do Comportamento do Ferro na Crusta de Meteorização. Alto e Baixo Alentejo*, Lisboa, I.S.A. (1986).
- [9] Khan, Samiullah; Nandan, Devki; Khan, N. Nazar, *Environ Pollut Ser. B*, 4, 119-125 (1982).
- [10] Popper, Karl R., *O Realismo e o Objectivo da Ciência*, Lisboa, Dom Quixote (1987).
- [11] Charles, M. Judith; Simmons, Milagros S., *Analyst*, 111(4), 385-390 (1986).
- [12] Cruz, António João de Carvalho, *Arqueologia*, 16, 130-134 (1987).
- [13] Cruz, António João de Carvalho, *Ler História*, 13, 143-146 (1988).
- [14] Malha, Victor H.S. Ferreira, *Agronomia Lusit*, 25(6), 981-989 (1963).
- [15] Silva, A. Antunes; Alvim, A.J. Sousa; Santos, Maria Júlia (org.), "Métodos de análise de solos, plantas e águas", *Pedologia, Oeiras*, 10(3), 1-668 (1975).
- [16] Kolthoff, I.M.; Sandell, E.B.; Meehan, E.J.; Bruchenstein, Satantley, *Quantitative Chemical Analysis*, London, Collier-Macmillan, 4th ed. (1969).
- [17] Vogel, Arthur I. *A Text-Book of Quantitative Inorganic Analysis*, London, Longmans, 3rd ed. (1961).
- [18] Walkley, Allan, *Soil Sci.*, 63(4), 251-264 (1947).
- [19] Real, Fernando C. de S., in *Actas. I Reunião do Quaternário Ibérico*, Lisboa, vol. I, 127-139 (1985).
- [20] Zilhão, J. in *Actas. I Reunião do Quaternário Ibérico*, Lisboa, vol. II, 135-146 (1985).
- [21] Zilhão, João, *O Solutrense da Estremadura Portuguesa. Uma proposta de interpretação paleoantropológica*, Lisboa, IPPC (1987).
- [22] Costa, Joaquim Botelho da, *Caracterização e Constituição do Solo*, 3.ª ed., Lisboa, Fund. Calouste Gulbenkian (1985).
- [23] Gillman, G.P.; Sinclair, D.F.; Beech, T.A., *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 17(8), 885-892 (1986).
- [24] Harden, Jennifer W., *Geoderma*, 28(1), 1-28 (1982).
- [25] Yonker, C.M.; Schimel, D.S.; Paroussis, E.; Heil, R. D., *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52(2), 478-483 (1988).
- [26] Aguilar, R.; Heil, R.D., *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52(4), 1076-1081 (1988).
- [27] Bockhein, J. G., *Geoderma*, 24(1), 71-85 (1980).
- [28] Buczko, Cs. M.; Vas, L., *Nature*, 269, 792-793 (1977).
- [29] Laidler, Keith, *Chemical Kinetics*, New York, McGraw-Will, 2nd ed. (1965).
- [30] Cruz, António João de Carvalho, "Análise geoquímica do preenchimento sedimentar da gruta do Caldeirão: coluna D" (em preparação).

11  
Na  
22,990

**SÓDIO**, de soda; o símbolo deriva do nome latino *natrium*; descoberto em 1807; é o sexto elemento mais abundante. O sódio metálico reage de forma violenta para usos comuns e é geralmente armazenado em parafina. Entre os seus compostos úteis incluem-se o sal de mesa, a soda cáustica, o borax e a lixívia.

12  
Mg  
24,31

**MAGNÉSIO**, de Magnésia, antiga cidade da Ásia Menor; descoberto em 1775; é o oitavo elemento mais abundante; arde quando em pó ou em folhas, em foguetes, bombas e "flashes". Tem um efeito biológico estranho; a sua deficiência no homem pode causar o mesmo que o alcoolismo: *delirium-tremens*.

# Macroalgas Marinhas

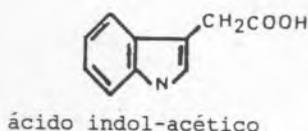
## — um campo de investigação sempre novo

Maria Eduarda Machado de Araújo<sup>a</sup>

Numa curta definição botânica [1] pode dizer-se que algas são plantas simples, principalmente aquáticas, que possuem clorofila, com corpo não diferenciado em raízes, talos ou folhas verdadeiras, carecendo de sistema vascular e reproduzindo-se mediante esporos. As algas macroscópicas estão agrupadas em três grandes divisões: clorofíceas (algas verdes), feofíceas (algas castanhas) em que a clorofila se encontra mascarada por um pigmento laranja, a fucoxantina, e rodofíceas (algas vermelhas) em que a clorofila está mascarada por um pigmento vermelho, a ficoeritrina. Membros destas três classes encontram-se representados na costa portuguesa [2].

As macroalgas marinhas, tal como outros recursos naturais, têm sido utilizadas pelo Homem. A utilização mais simples e que requer menos conhecimentos técnicos é como adubo. As espécies usadas são algas castanhas de grandes dimensões (laminárias) ou verdes, como a *Ulva lactuca*, vulgarmente conhecida por alface do mar, muito ricas em azoto e potássio e pobres em fósforo. Porém o uso prolongado obriga à adição suplementar de fosfatos. Pelo seu alto conteúdo em potássio, são especialmente indicadas em culturas de hortaliças como a cenoura, o nabo e praticamente todo o tipo de couve. Comparando com a adubação tradicional com estrume, a utilização de algas apresenta a vantagem de estas se encontrarem livres de sementes e fungos.

Alguns autores [3] pensam que o valor como adubo das macroalgas marinhas é devido à presença de hormonas de crescimento das plantas. De facto, foram identificados, em várias espécies de algas castanhas (como *Ascophyllum* e *Fucus*) os ácidos indol-acético e giberélico que favorecem o crescimento e divisão celular em plantas superiores e aceleram a germinação das sementes.



A medicina popular também tem utilizado várias algas com fins curativos [4]. Do *Condrus crispus*, conhecido por alga perlada ou musgo-da-Irlanda, faz-se uma geleia com água fervente aconselhada para o tratamento da diarreia. Um banho com uma decocção desta alga, ou de laminárias completamente secas, é recomendado para casos de raquitismo. O banho com decocção de bodelha, nome por que é conhecido o *Fucus vesiculosus*, é aconselhado para emagrecer.

É também indicada a fricção com bodelha fresca como remédio contra a celulite. Outra alga cuja utilização já vem da Idade Média é o musgo-da-Córsega, designação popular do *Alsidium helminthocorton*, pequena alga vermelha muito rica em iodo, que é um óptimo estimulante da tiróide e um vermífugo potente. Segundo a tradição, era frequentemente utilizado por Napoleão.

### INTERESSE INDUSTRIAL DAS MACROALGAS MARINHAS

#### Como fonte de elementos

A utilização das algas tem variado ao longo dos tempos, de acordo com as condições económicas da altura. Nos séculos XVII e XVIII, houve uma grande recolha das espécies *Laminária* e *Fucus* para produção de soda a partir das cinzas. Com a descoberta, em 1811, da presença de iodo nestas cinzas e sua aplicação em Medicina, a recolha de algas para a produção industrial de iodo sofreu um grande incremento, tendo-se mantido uma indústria florescente até aos anos trinta do século actual. As algas mais utilizadas pertenciam às espécies *Laminária*, *Ecklonia* e *Sargassum*. De facto, embora a quantidade de iodo na água do mar seja de 0,01 a 0,07 ppm, uma alga da família das fucóides, como o *Ascophyllum*, pode concentrá-lo mais de 220 vezes. Nos E.U.A., para além da recolha para a produção de iodo, foram utilizadas as grandes algas castanhas da costa do Pacífico — *Macrocystis* e *Nereocystis* — como matéria-prima para a produção de potassa em virtude do seu elevado teor em potássio: 15,5 e 19,6%, respectivamente.

#### Na alimentação humana

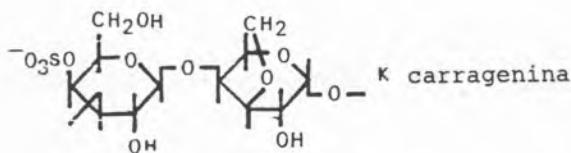
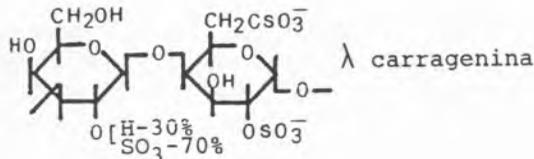
Várias espécies de *Porphyra*, alga vermelho-escuro formada por várias "folhas" semitransparentes e que cresce na zona de maré, são cultivadas no Japão para a preparação do Nori, que é comercializado na forma de finas folhas roxo-escuro. Depois de cozido ou grelhado muda de cor para verde e é introduzido em sopas, molhos ou enrolado com carne, como uma sande. O valor nutritivo do Nori é devido ao elevado conteúdo em proteínas (25-35%), vitaminas, sais minerais e, especialmente, iodo. O conteúdo em vitamina C é uma vez e meia o das laranjas. Os seres humanos digerem cerca de 75% das proteínas e dos glúcidos da respectiva composição.

<sup>a</sup> CECUL — Departamento de Química da Faculdade de Ciências de Lisboa, Instituto Bento da Rocha Cabral, Calçada Bento da Rocha Cabral, 14, 1200 Lisboa.

### Como fonte de carragenina

As algas vermelhas *Condrus crispus* e *Gigartina stellata*, espécies muito abundantes na costa irlandesa e que se encontram ao longo da costa atlântica até Portugal, são produtoras de uma mucilagem — a carragenina — com importantes propriedades gelificantes.

As carrageninas são formadas por polissacáridos com unidades de galactose sulfatada, sendo as unidades principais conhecidas por  $\lambda$  — e  $k$  — carragenina.

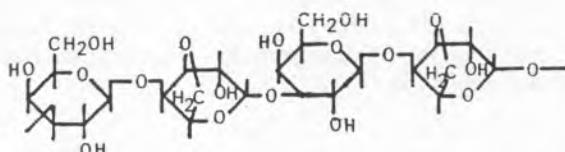


Tem utilizações muito diversas: usa-se em pastas dentífricas, loções para as mãos, cremes de barbear, xaropes para a tosse (como emulsionante do princípio activo), leites achocolatados (provoca uma melhor dispersão do chocolate no leite), pudins instantâneos, gelados, queijos de pasta mole, etc... É também utilizada na indústria têxtil, para obtenção de uma melhor estampagem dos tecidos, e na indústria dos curtumes para amaciar e dar brilho ao cabedal.

A carragenina faz ainda parte de géis para perfumar o ambiente: o aroma é libertado pela secagem gradual do gel.

### Como fonte de agar-agar

O agar-agar é outra substância com a propriedade de formar géis. A designação agar é de origem malaia e é o nome da alga vermelha da qual ele era extraído. É constituído por dois polissacáridos: agarose e agarpectina. A primeira é responsável pelas propriedades gelificantes enquanto a viscosidade depende da segunda. Estudos efectuados para determinar a estrutura da agarose [3] mostram que esta é formada por unidades de D-galactose ligadas entre si pelas posições 1-3 e por unidades de 3,6-anidro-L-galactose ligadas pelas posições 1-4.



Conforme a proveniência (o agar pode ser extraído de diferentes algas vermelhas) a proporção de agarose e agarpectina varia. Em Portugal, a principal alga colhida para a obtenção de agar é o *Gelidium sesquipedale*.

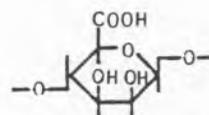
Em traços gerais, a produção de agar-agar processa-se do seguinte modo: depois da colheita, a alga é escolhida e posta de molho durante 12 a 14 horas, após o que é transferida para uns autoclaves especiais e "cozida" durante 6 horas, sendo o processo repetido 3 vezes. A solução obtida é descorada com carvão activado, filtrada e colocada em tanques abertos, durante 24 horas, para tomar a consistência de geleia. O gel formado é cortado em fatias e levado para uma câmara onde é arrefecido a  $-10^{\circ}$  durante dois dias. Em seguida é removido, deixado descongelar e colocado num dispositivo que permite que a água esorra e arraste as impurezas solúveis. É seco com uma corrente de ar quente até conter apenas 35% de humidade e branqueado com hipoclorito de sódio a 1%. O hipoclorito é reduzido com sulfito de sódio e o agar-agar é recolhido, lavado e deixado secar até conter apenas 20% de humidade.

Uma das utilizações mais importantes do agar é em trabalhos de bacteriologia ou cultura de fungos pois, após adicionados os nutrientes necessários, forma um óptimo meio no qual bactérias e fungos podem crescer. A indústria farmacêutica utiliza-o como excipiente em comprimidos e supositórios e, só ou associado a outros compostos, como um lubrificante valioso em casos de obstipação.

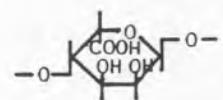
Na indústria alimentar, é utilizado como espessante de sopas e molhos, de leites com aromas, de geleias, doces e bolos. É utilizado nos gelados para impedir que a água congele em cristais e se separe dos restantes constituintes. É ainda usado no fabrico de geleias de frutos, substituindo com vantagens a gelatina devido ao seu baixo custo e rapidez de solidificação. O agar não é praticamente digerido, pelo que não modifica o valor nutritivo dos alimentos.

### Como fonte de alginatos

O ácido alginico é um polissacárido complexo, formado por unidades dos ácidos D-manurónico e L-gulurónico, ligados pelas posições 1-4. O arranjo dos vários monómeros e a massa molecular varia conforme a alga donde é extraído. Existe sobretudo nas algas castanhas, tanto nas grandes laminárias como nos pequenos fucus. O modo mais simples de o obter é macerar a alga com ácido clorídrico diluído para remover os sais minerais solúveis, seguindo-se uma extracção com uma solução de carbonato de sódio. O líquido resultante, bastante viscoso, é tratado com mais ácido. O precipitado formado é filtrado e lavado, obtendo-se então o ácido alginico.



ácido D-manurónico



ácido  $\beta$ -gulurónico

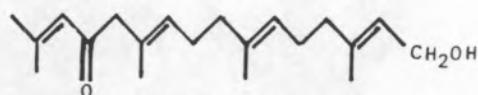
A utilização do ácido alginico ou do respectivo sal sódico estende-se a vários campos:

— na indústria têxtil, para dar brilho às fibras e como espessante dos corantes utilizados no tingimento dos tecidos;

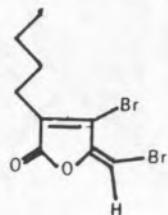
— na indústria farmacêutica, para promover a suspensão de alguns princípios activos, nomeadamente a penicilina;  
 — na indústria das tintas, para melhorar a suspensão dos pigmentos e a estabilização das emulsões;  
 — e na indústria alimentar, onde é largamente utilizado como estabilizante de batidos ou sumos de fruta, para evitar a formação de cristais de gelo nos gelados e para dar uma melhor textura aos pudins instantâneos.

### NOVAS PERSPECTIVAS NO CAMPO FARMACOLÓGICO

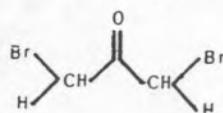
O campo de aplicação dos produtos extraídos das algas não se restringe aos atrás enumerados. Actualmente, a flora e a fauna marinhas são encaradas como uma fonte altamente prometedora de substâncias com actividade farmacológica. Num estudo efectuado na Faculdade de Farmácia de Nantes [5], foram investigadas 91 espécies de algas bênticas da costa atlântica francesa, tendo seis delas apresentado actividade bactericida e quatro outras actividade antifúngica. Os compostos isolados apresentam estrutura muito diversa, desde um álcool cetónico diterpénico, como a eleganolona, extraída da *Bifurcaria bifurcata* e *Cystoseira elegans*, a lactonas, como os fimbrolidos da *Delisia fimbriata* ou, ainda, a compostos halogenados, como as poli-halopropanonas, extraídas da *Bonnemaisonia sp.*



eleganolona



fimbrolido

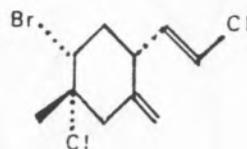


poli-halopropanona

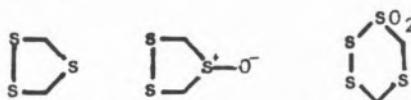
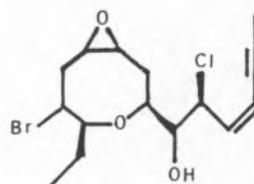
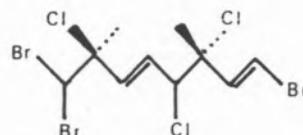
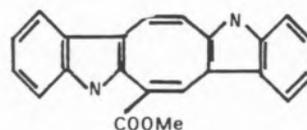
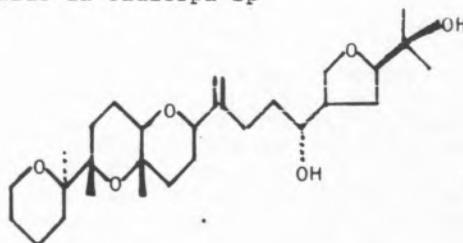
Um outro estudo, efectuado sobre 31 espécies da costa mediterrânica [6], assinala onze espécies biologicamente activas: três bactericidas, três antifúngicas e cinco com as duas propriedades. Infelizmente, este estudo foi efectuado com os extractos brutos, pelo que não foram isolados os princípios activos.

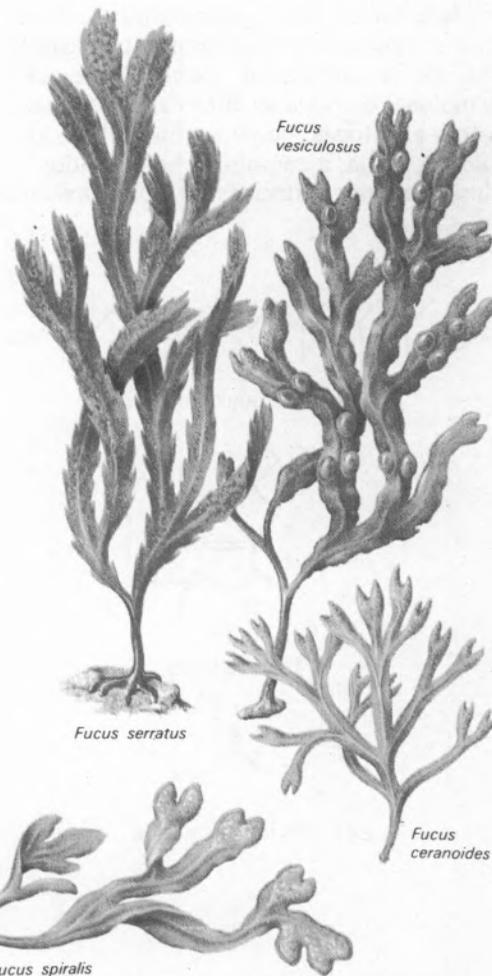
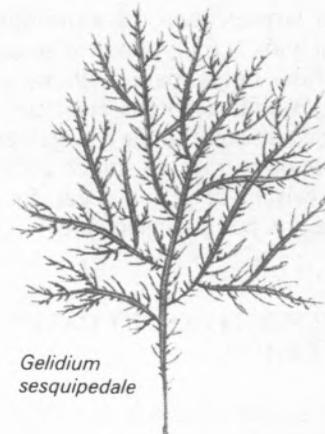
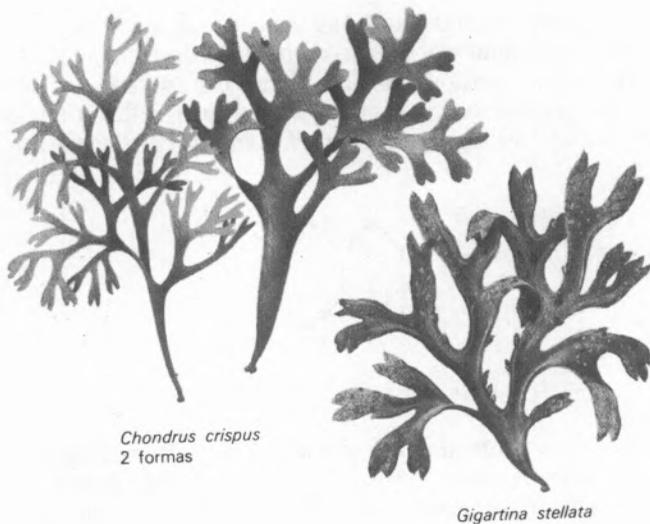
O potencial interesse do estudo das algas está bem patente no esforço desenvolvido pela multinacional Hoffman-La Roche, que financiou um instituto de investigação marinha na Austrália, o Roche Research Institute of Marine Pharmacology, durante sete anos (1974-81) [7]. Nesse período, foram colhidas e testadas do ponto de vista farmacológico (anti-tumoral, bactericida, fungicida, anti-alérgico, analgé-

sico, cardiovascular, etc.) 159 espécies de algas da costa australiana, tanto macroalgas como microalgas, tendo sido vários os compostos isolados. Como curiosidade, refere-se um composto activo em casos de hiper-reflexia e que foi isolado da alga vermelha *Plocamium cartilagineum*.



Esta alga é também muito abundante na costa portuguesa, onde aparece como epífita do *Gelidium sesquipedale*. Para além do interesse no aproveitamento industrial dos compostos extraídos de macroalgas marinhas, outros aspectos há que constituem um permanente desafio ao químico orgânico, tanto na elucidação de estruturas como na síntese desses compostos. Os exemplos a seguir apresentados recolhidos ao acaso da literatura especializada [8-10], ilustram bem as dificuldades que o estudo dos Produtos Naturais marinhos encerram.

extraídos da *Condria californica*extraído da *Laurência potei*extraído do *Plocamium cartilagineum*extraído da *Caulerpa sp*extraído da *Laurência pinatifida*  
(muito abundante na costa portuguesa)



### Referências

- [1] A.C. Campbell — "Guia de campo de la Flora y Fauna de las Costas de España y de Europa", Ed. Omega, S.A., Barcelona, 1979
- [2] F. Ardré — "Contribution à l'Étude des Algues marines du Portugal: I La Flore", Port. Acta Biol. (B), 1970, **10**, 137-352
- [3] V. J. Chapman e D. J. Chapman — "Seaweeds and their uses", Chapman and Hall, 3ª ed., New York, 1980
- [4] "Segredos e Virtudes das Plantas Medicinais", Selecções do Reader's Digest, Lisboa, 1983
- [5] J. F. Biard — "Recherche et Étude de Substances Antimicrobiennes et Antineoplasiques dans les Algues Benthiques des Côtes Atlantiques Françaises", Thèse pour le Doctorat d'État en Sciences Pharmaceutiques, Universidade de Nantes, 1980
- [6] D. Pesando e B. Caram — "Screening of Marine Algae from the French Mediterranean Coast for Antibacterial and Antifungal Activity", Botânica Marina, 1984, **27**, 381-86
- [7] J. T. Baker — "Seaweeds in Pharmaceutical Studies and Applications", Hydrobiologica, 1984, **116-17**, 29-30
- [8] D. J. Faulkner — "Interesting Aspects of Marine Natural Product Chemistry", Tetrahedron, 1977, **33**, 1421-43
- [9] D. J. Faulkner — "Marine Natural Products: Metabolites of Marine Algae and Herbivorous Marine Molluscs", Natural Product Reports, 1984, **1**, 251-80
- [10] D. J. Faulkner — "Marine Natural Products", Natural Product Reports, 1986, **3**, 1-33

# Lactonas Sesquiterpénicas

## — aplicações farmacológicas e quimiotaxonómicas

Susana M. B. P. Santos <sup>a</sup>

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a Fitoquímica, ou Química das Plantas, desenvolveu-se como disciplina autónoma num campo intermédio entre a Bioquímica e a Química Orgânica. Ela diz respeito a uma enorme variedade de substâncias orgânicas, elaboradas e acumuladas pelas plantas, sua estrutura química, biossíntese, metabolismo, distribuição natural e também à sua função biológica.

Já que os metabolitos primários das plantas são objecto de estudo por parte dos Bioquímicos, os Fitoquímicos debruçam-se essencialmente sobre os metabolitos secundários, substâncias que, embora não tenham qualquer função aparente nos processos metabólicos essenciais, podem ser de enorme interesse, não só para a preservação das espécies vegetais, como também para aplicações fisiológicas ou farmacológicas.

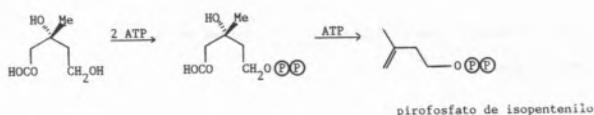
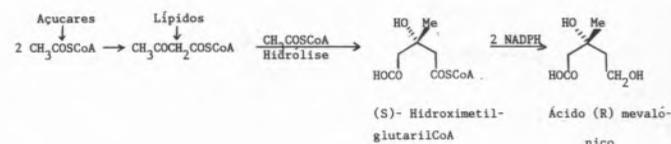
Enquanto que a enorme variação química das vias metabólicas secundárias já é conhecida de há muito, só bastante recentemente se verificou que essa variação também se estende ao metabolismo primário das plantas (por exemplo, nos enzimas da respiração e nas vias fotossintéticas). Com esta descoberta de diversidade tanto nas moléculas pequenas como grandes do reino vegetal, os sistematas viraram-se para a Fitoquímica, como meio de aprofundar e clarificar o conhecimento das relações entre as plantas.

Recentemente os Fitoquímicos intensificaram o estudo das lactonas sesquiterpénicas, compostos que têm despertado enorme interesse, não só devido ao seu significado filogenético e quimiotaxonómico, como também devido à sua aplicação farmacológica. De facto, estas substâncias possuem, entre outras actividades, poder citostático, bactericida, fungicida e anti-inflamatório.

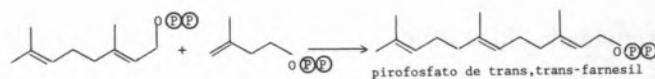
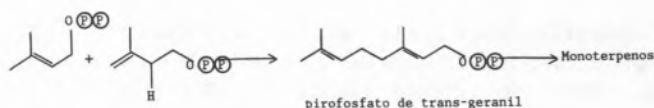
### ESTRUTURA E BIOSÍNTESE

As lactonas sesquiterpénicas são produtos naturais com quinze átomos de carbono, ou seus derivados, que teoricamente derivam da condensação de três fragmentos de isopreno (2-metil-1,3-butadieno). Estas unidades "C-5" são derivadas do ácido mevalónico que é o precursor utilizado pelas plantas na biossíntese de terpenos [1].

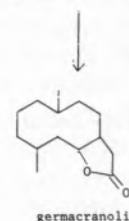
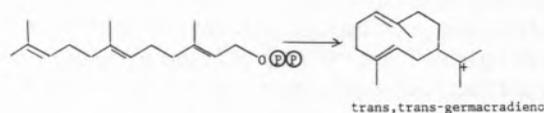
Existem quinze tipos de esqueletos básicos de lactonas sesquiterpénicas, podendo dizer-se que as germacranolidas, devido à sua origem biossintética, são o tipo mais primitivo destes compostos [2].



Biossíntese das unidades C-5

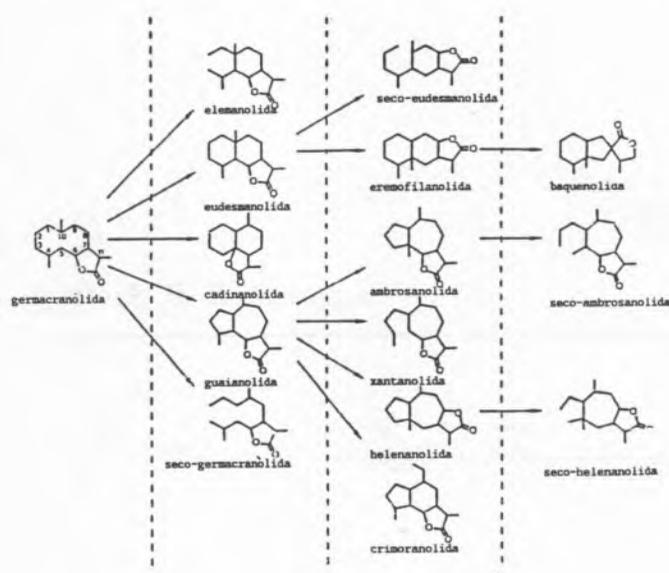


Sesquiterpenos



Biossíntese de lactonas sesquiterpénicas

<sup>a</sup> CECUL — Departamento de Química da Faculdade de Ciências de Lisboa, Instituto Bento da Rocha Cabral, Calçada Bento da Rocha Cabral, 14, 1200 Lisboa.



Esqueletos carbonados básicos, das principais classes de lactonas sesquiterpénicas.

## ACTIVIDADE BIOLÓGICA

Como já foi dito, o grande interesse da procura destes compostos deve-se à sua actividade fisiológica e farmacológica. Além dos efeitos citostático, anti-inflamatório e microbiano já citados anteriormente, os quais irão ser tratados em pormenor, pode também referir-se que as lactonas sesquiterpénicas possuem igualmente propriedades anti-helmínticas, anti-hiperlipidémicas e anti-ascaríidas.

### Actividade citostática

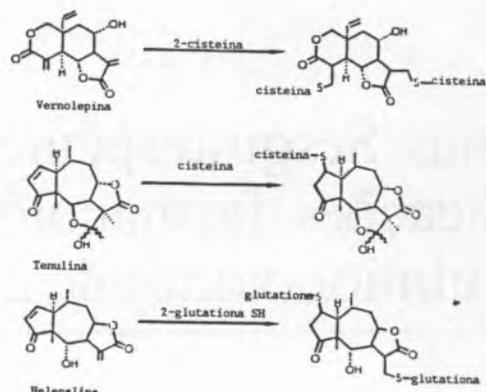
Uma das descobertas mais interessantes em relação às lactonas sesquiterpénicas é a marcada actividade citostática que exibem alguns destes compostos. Assim, tem sido estudado o comportamento citotóxico de numerosas lactonas sesquiterpénicas, com especial incidência no efeito destes compostos na síntese de macromoléculas. Os primeiros resultados sobre o seu mecanismo de acção indicam a necessidade da presença de um agrupamento  $-\text{CH}=\text{C}=\text{O}$ , quer como parte de um éster, quer como parte de uma cetona ou lactona, como principal requisito à sua actividade anti-tumoral e citostática [3,4].

Pensa-se que o mecanismo da citotoxicidade seja do tipo adição de Michael, entre a parte activa da lactona e os grupos sulfidrílo dos enzimas lisossomais [5-9].

A inibição destes enzimas conduz por seu turno à inibição da síntese de DNA e, portanto, à diminuição do crescimento anárquico das células neoplásicas.

Contudo, uma hipótese alternativa para a actividade das lactonas sesquiterpénicas sugere uma alquilação directa do DNA por parte daqueles compostos [10].

No entanto, apesar de todas as esperanças depositadas neste tipo de compostos como agentes anti-tumorais, a sua provável generalização e aplicação ao tratamento de neoplasias, está muito condicionado pelos seus efeitos citotóxicos gerais.



Reacção de algumas lactonas sesquiterpénicas, com nucleófilos biológicos, através de uma adição de Michael

### Actividade bactericida e fungicida

As lactonas sesquiterpénicas foram igualmente testadas como agentes bactericidas e fungicidas. Como anti-bacteriais mostraram ser particularmente activas contra bactérias Gram positivas, embora também possuam alguma actividade contra bactérias Gram-negativas [11-14].

Os estudos efectuados com o propósito de relacionar a estrutura química com a actividade bactericida, revelaram que esta última não pode ser explicada unicamente pela presença ou ausência do característico grupo exometilénico [15]. É provável que a actividade bactericida destes compostos seja determinada pela presença de vários grupos adicionais, da sua posição no esqueleto e da configuração dos grupos funcionais. A actividade de uma certa lactona pode também ser determinada pela existência, em bactérias específicas, de compostos vitais que possuam grupos tiol, ou afinidade química para a lactona.

Tal como para as bactérias, parece que a actividade fungicida das lactonas não pode ser explicada com base num único aspecto estrutural [16,17]. Pode ser necessária a presença de um ou mais centros activos para a actividade fungicida de algumas lactonas, ou estes podem reforçar a actividade de outros grupos funcionais. Igualmente a actividade contra os fungos pode ser determinada por diferenças de fisiologia das espécies individuais.

### Actividade anti-inflamatória

A actividade anti-inflamatória das lactonas sesquiterpénicas é conhecida de há muito, já que plantas contendo aqueles metabolitos secundários têm sido utilizadas como medicamentos anti-piréticos e anti-inflamatórios. Estudos recentes [2,18] demonstraram que muitas drogas anti-inflamatórias conhecidas, como a azotioprina e a D-penicilamina, utilizadas no tratamento da artrite reumática, actuam do mesmo modo que as lactonas sesquiterpénicas, ou seja através dos grupos sulfidrílo dos enzimas. De facto, embora não se conheça ainda a exacta etiologia de muitos dos processos inflamatórios que atacam o homem, pensa-se que exista um envolvimento dos grupos sulfidrílo dos enzimas celulares. Assim, drogas que se liguem a estes grupos, bloqueando-os, revertem o processo inflamatório.

Apesar dos estudos mecanísticos efectuados não serem de modo nenhum conclusivos, apontam mais uma vez para a necessidade da existência de um agrupamento  $\alpha$ -metileno- $\gamma$ -lactona ou de um anel de ciclopentanona  $\beta$  não substituída. Segundo alguns autores [2,18] as lactonas sesquiterpénicas oferecem uma alternativa à terapia anti-inflamatória corrente, já que além das doses terapêuticas necessárias serem extremamente reduzidas, quando comparadas com as drogas comercializadas, não possuem quaisquer dos efeitos secundários tão comuns aos agentes anti-inflamatórios.

### Significado filogenético e quimiotaxonómico

A taxonomia química, ou quimiotaxonomia, utiliza o conhecimento dos metabolitos secundários de um conjunto de organismos para determinar a sua posição numa escala evolutiva hierarquizada dos seres vivos. Ainda que na maioria dos casos, a quimiotaxonomia só venha confirmar as classificações dos taxónomos, é inquestionável que o acrescentar de informação química dos caracteres macro e micro morfológicos dos vegetais, só tornará mais segura as divisões taxonómicas.

A utilização dos tipos de esqueletos químicos na sistemática, pode resumir-se na seguinte sequência: um gene-um enzima-um passo biossintético-um composto.

As lactonas sesquiterpénicas, são precisamente uma classe de metabolitos secundários de interesse quimiotaxonómico, dado que, além de terem uma vasta distribuição nos vegetais superiores, possuem uma enorme variedade estrutural, o que facilita a sua identificação e correlação.

Estes compostos aparecem com frequência nas *Umbelliferae* e nas *Compositae*, sendo o tipo de esqueleto básico das lactonas uma característica da família de plantas. Por exemplo, na tribo *Helenieae* encontram-se essencialmente guaianolidas, enquanto na tribo *Senecioneae* se encontram lactonas do tipo eremofilenoide e, nas *Anthemidae*, as lactonas são do tipo xantanólido, guaianólido e germacranólido. Recentemente foi efectuado um estudo sobre as relações filogenéticas entre as famílias *Asteracea* (*Compositae*) e *Apiacea* (*Umbellifera*), com base nas estereoestruturas das lactonas sesquiterpénicas presentes em ambas as famílias [18].

O estudo químico destas duas famílias levou a concluir que os esqueletos básicos das lactonas sesquiterpénicas nelas existentes são semelhantes, pertencendo ao tipo germacranolida, guaianolida, eudesmanolida, eremofilanolida ou helenanolida. No entanto, uma observação mais profunda das lactonas existentes nas duas famílias mostrou que a sua estereoquímica é diferente e, conseqüentemente, o seu grau de hidroxilação, esterificação e substituição também o é.

Estes factos apontam para um paralelismo biogenético na formação das lactonas sesquiterpénicas existentes nas duas famílias. Pensa-se que a separação dos passos biossintéticos se dá na formação no precursor C-15 da cadeia básica, conduzindo a conformações diferentes. No entanto, a diferença na estereo-construção de ambos os precursores não é tão grande que impeça um passo biossintético análogo para as lactonas sesquiterpénicas das duas famílias.

Pode concluir-se portanto que, em contraste com as outras interpretações correntes, as semelhanças existentes entre os caracteres e os metabolitos secundários das duas famílias não indicam uma convergência ou correlação evolutiva, mas tão somente um paralelismo biogenético. Posteriormente ambas se desenvolveram independentemente, encontrando-se neste momento em níveis diferentes de ramos evolutivos paralelos nas Angiospermicas. Ao mesmo tempo, estes estudos representam a confirmação de que existe uma consonância entre a ocorrência dos caracteres químicos e botânicos nestas duas famílias.

### Referências

- [1] A. M. Lobo "Biossíntese de Produtos Naturais — metabolismo secundário" (1976), Universidade Nova de Lisboa
- [2] W.G. Ivie and D.A. Witzel in "Handbook of Natural Toxins", (1983), vol. II, pp. 543-584, R. T. Keeler and Tu, eds., Deker-New York
- [3] S.M. Kupchan, M.A. Eakin and A. M. Thomas, *J. Med. Chem.* (1971), **14**, 1147
- [4] K.H. Lee, H. Fumikawa and E. S. Huang, *J. Med. Chem.* (1972), **15**, 609
- [5] I.H. Hall, K. H. Lee, C. O. Starnes, S.A. El Gaby, T. Ibuka, Y.S. Wu and M. Haruna *J. Pharm. Sci.* (1978), **67**, 1235
- [6] I.H. Hall, K. H. Lee, M. Okano, D. Sims, D. Ibuka, Y.F. Liou and Y. Imakura, *J. Pharm. Sci.* (1981) **70**, 1147
- [7] I.K. Hall, K.H. Lee, C.O. Starnes and T.G. Wadell, *J. Med. Chem.* (1977), **20**, 233
- [8] A.G. Gonzalez, V. Darias, E. Alonso e Esteves, *Planta Med.* (1980), **40**, 179
- [9] A.G. Gonzalez, V. Darias, G. Alonso, J. N. Boada and M. Feria *Planta Med.*, (1978), **33**, 356
- [10] B.F. Abeysekera, Z. Abramowski and G.H.N. Towers, *Biochem. Syst. Ecol.* (1985), **13**, N° 3, 365
- [11] J. Calzada, J.F. Ciccio and G. Echandi, *Phytochemistry* (1980), **19**, 967
- [12] K.H. Lee, T. Ibuka, R. Y. Wu and T.A. Geissman, *Phytochemistry*, (1977), **16**, 1177
- [13] K.H. Lee, T. Ibuka and R.Y. Wu, *Chem. Pharm. Bull.* (1974), **22**, 2206
- [14] A.K. Picman and G.H.N. Towers, *Biochem. Syst. Ecol.* (1983), **11**, N° 4, 321
- [15] A.K. Picman, *Biochem. Syst. Ecol.* (1983), **11**, N° 3, 183
- [16] A.K. Picman *Biochem. Syst. Ecol.* (1984), **12**, N° 12, 13
- [17] I.H. Hall, K.H. Lee, C. O. Starnes, Y. Sumida, R.Y. Wu, T.G. Wadell, J.W. Cochran and K.G. Gerhart, *J. Pharm. Sci.* (1979), **68**, 537
- [18] M. Holub, J. Toman and V. Herout, *Biochem. Syst. Ecol.* (1987), **15**, N° 3, 321

# Anestésicos \*

Maria de Fátima D. A. Simões <sup>a</sup>

A anestesia é um termo, derivado do grego, que hoje é usado para descrever estados nos quais há perda de sensação, em particular aqueles estados produzidos por substâncias anestésicas.

Os anestésicos são quimicamente um grupo heterogéneo de fármacos e classificam-se segundo a sua acção em duas classes distintas: *anestésicos gerais* (que actuam no cérebro para produzir perda de consciência e consequentemente perda de todas as sensações) e *anestésicos locais* ( que actuam bloqueando a condução dos impulsos nos feixes das fibras nervosas).

## Anestésicos gerais

Os *anestésicos gerais* são fármacos que deprimem de forma generalizada o sistema nervoso central e provocam perda de consciência. Usam-se em intervenções cirúrgicas, sob ventilação controlada, ou outros processos dolorosos, sóis, ou, quase sempre, associados a outros fármacos, que provoquem a abolição da dor e o relaxamento muscular. O objectivo final da anestesia geral é, pois, a perda de consciência, a redução da actividade reflexa, deprimindo, não selectiva, mas reversivelmente o sistema nervoso central (SNC), a analgesia, e o relaxamento muscular esquelético, sem depressão respiratória ou cardiovascular.

Os compostos com actividade anestésica geral possuem uma grande diversidade química e, por isso, a sua classificação faz-se segundo as vias de administração, dividindo-se em dois grupos: *anestésicos gerais de inalação* (anestésicos voláteis) e *anestésicos gerais intravenosos*. Os primeiros são ainda subdivididos em: gases e líquidos voláteis (vapores). Os anestésicos gerais intravenosos são sólidos, administrando-se sob a forma de sais em solução. Na Tabela 1 estão indicados os anestésicos gerais mais importantes.

A anestesia geral está relacionada com uma alteração na transmissão dos impulsos nos neurónios do SNC. O mecanismo para esta mudança não é completamente conhecido. Pode resultar do bloqueio dos canais de iões da membrana nervosa (muitos anestésicos reduzem o fluxo transmembranar). Pode estar relacionado com uma modificação não específica dos lípidos da membrana, pois a potência dos anestésicos gerais gasosos está estreitamente ligada à sua solubilidade nos lípidos das membranas. Por último, pode estar ligado a um efeito nos mecanismos neurotransmissores centrais. A sua acção pode ser descrita em estádios: estágio I — analgesia; estágio II — excitação; estágio III — anestesia cirúrgica; estágio IV — depressão medular. Este comportamento deriva da diferente sensibilidade das várias zonas do SNC ao agente anestésico e, tradicionalmente é uma medida da profundidade da depressão. No entanto, com o uso dos anestésicos modernos estes estádios não são claramente observados devido à velocidade do seu efeito e aos seus efeitos irritantes mínimos.

<sup>a</sup> Faculdade de Farmácia de Lisboa.

\* No artigo «ANESTÉSICOS» publicado no Boletim SPQ, 35, 29 (1989), por lapso, não foi inserida a introdução. Aqui a deixamos, com o pedido de desculpas à autora e aos leitores.



BERZELIUS, Jacques, Barão (1779-1848)

Célebre químico sueco criador da Química moderna.  
Temas: notação química; catálise; teoria electrolítica.

---

1829

---

Descoberta do Tório por Berzelius, que assim o nomeou em honra do deus escandinávio Thor. A obtenção do elemento foi conseguida por reacção de óxido de tório com potássio.

# Segurança nos Laboratórios

Maria João Marcelo Curto <sup>a</sup>

## Acetaldeído (etanal)

O acetaldeído é um líquido incolor de cheiro penetrante a frutos, p. e. 21°C, miscível com a água.

É uma substância extremamente inflamável, que pode formar peróxidos explosivos, e libertar vapor tóxico que irrita os olhos e o aparelho respiratório. Evitar o contacto com os olhos e a inalação do vapor. VLT 100 ppm (180 mg m<sup>-3</sup>).

*Efeitos tóxicos:* O vapor irrita os olhos e causa dores de cabeça e tonturas. O líquido, quando ingerido, provoca irritação grave do aparelho digestivo.

*Reacções perigosas:* O acetaldeído é extremamente reactivo com anidridos de ácidos, álcoois, halogéneos, cetonas, fenóis, aminas, amoníaco, cianeto de hidrogénio e sulfureto de hidrogénio. Polimeriza exotermicamente com ácido acético. Pode provocar incêndio e explosão com ar, oxigénio e peróxido de hidrogénio.

*Perigo de incêndio:* Ponto de fulgor: -38°C; limites de explosividade 4-57%; temperatura de autoignição: 185°C. Extintores: água, pó químico seco, neve carbónica ou líquido vaporizante.

*Eliminação de resíduos:* Eliminar todas as possíveis fontes de ignição. Manter as pessoas afastadas do local afectado. Usar máscara respiratória e luvas. Deitar fora diluindo com muita água corrente. Ventilar muito bem a zona afectada para evaporar o líquido restante e remover o vapor.

## Cloreto de acetilo

O cloreto de acetilo é um líquido incolor volátil, fumante, de cheiro pungente, p.e. 51°C, que se decompõe rapidamente com a água formando ácido clorídrico e ácido acético. É uma substância muito inflamável, que provoca queimaduras e irrita a pele, os olhos e o aparelho respiratório. Evitar inalar o vapor e o contacto com os olhos e a pele.

*Efeitos tóxicos:* O vapor irrita gravemente os olhos e todas as partes do aparelho respiratório. O líquido provoca queimaduras nos olhos e na pele. Se ingerido, provoca de imediato lesões internas graves.

*Reacções perigosas:* Reage violentamente com água e sulfóxido de dimetilo (DMSO). Pode decompor violentamente ao ser preparado a partir de tricloreto de fósforo e ácido acético.

*Perigo de incêndio:* Ponto de fulgor: 4°C; temperatura de

autoignição: 390°C. Extintores: espuma, pó químico seco, neve carbónica ou líquido vaporizante.

*Eliminação de resíduos:* Eliminar todas as possíveis fontes de ignição. Manter as pessoas afastadas do local afectado. Usar máscara respiratória e luvas. Misturar com excesso de carbonato de sódio e lavar cuidadosamente com água. Deitar fora, diluindo com muita água corrente.

## Cloreto de alumínio anidro

O cloreto de alumínio anidro apresenta-se sob a forma de pedaços, grânulos ou pó amarelo ou esbranquiçado; decompõe-se violentamente na presença de água com formação de cloreto de hidrogénio.

É uma substância que provoca queimaduras e irrita a pele, os olhos e o aparelho respiratório. Evitar inalar a poeira e o contacto com a pele e os olhos.

*Efeitos tóxicos:* A inalação da poeira causa irritação ou queimaduras nas mucosas. O contacto com os olhos provoca queimaduras dolorosas. Quando a pele está húmida, produz-se calor por contacto, resultando queimaduras térmicas e químicas. Quando ingerido, provoca imediatamente lesões graves.

*Reacções perigosas:* Reage violentamente com água, óxido de etileno, e nitrobenzeno/fenol.

*Eliminação de resíduos:* Usar protecção facial e luvas. Misturar com areia seca, colocar num balde seco, transportar para local seguro no exterior e adicionar a mistura; em pequenas quantidades de cada vez, a um grande volume de água. Terminada a reacção, deitar fora, diluindo com muita água corrente.

## Amoníaco (gás)

O amoníaco é um gás incolor de cheiro penetrante, p.e. -33°C, fornecido em cilindros sob a forma de um líquido sob pressão.

É uma substância tóxica por inalação, que irrita a pele, os olhos e o aparelho respiratório. Evitar inalar o gás, VLT 25 ppm (18mg m<sup>-3</sup>).

*Efeitos tóxicos:* O gás irrita os olhos e o aparelho respiratório.

<sup>a</sup> LNETI — Departamento de Tecnologia de Indústria Química, Estrada das Palmeiras — 2795 Queluz.

**Reações perigosas:** Misturas de amoníaco e ar podem explodir. Reage violentamente ou com formação de produtos explosivos com halogéneos e compostos interhalogenados. Reage violentamente com haletos de boro. Provoca a polimerização explosiva do óxido de etileno. Forma compostos explosivos com mercúrio e compostos de prata.

**Perigo de incêndio:** Limites de explosividade 16-25%; temperatura de autoignição: 651°C. Sendo fornecido em cilindros, deve fechar-se a respectiva válvula e transportar o cilindro para fora do local do incêndio.

**Eliminação de resíduos:** Excesso de gás ou fugas de cilindros devem ser conduzidas através de uma coluna de lavagem com circulação de água ou para uma hote equipada com este sistema.

### Amónia (soluções)

A amónia é geralmente fornecida como uma solução aquosa 35% (densidade específica 0,88). Em tempo quente, esta solução cria pressão na respectiva embalagem, pelo que a tampa deve ser aberta com cuidado.

Esta solução provoca queimaduras e irrita os olhos, a pele e o aparelho respiratório. Evitar inalar o vapor e o contacto da solução com os olhos e a pele, VLT 25 ppm ( $18 \text{ mg m}^{-3}$ ).

**Efeitos tóxicos:** O vapor irrita o aparelho respiratório. A solução causa queimaduras graves nos olhos e queima a pele. Se ingerida, a solução provoca lesões internas graves.

**Eliminação de resíduos:** Usar óculos de protecção e luvas, e botas de borracha se o derrame for grande. Lavar com muita água e deitar fora diluindo com muita água corrente. Ventilar bem o local.



GAY-LUSSAC, Joseph (1778-1850)



THENARD, Louis, Barão (1777-1857)

---

1809

---

Gay-Lussac e Thenard comprovaram o enxofre como sendo um elemento, refutando trabalhos anteriores de químicos como Davy que o consideravam um composto.

Gay-Lussac estabelece que na combinação de dois gases os volumes envolvidos estão numa razão de números pequenos e inteiros.

Dalton, que considerava pesos e não volumes, refutou esta conclusão, mais tarde largamente aceite sob o nome de lei de Gay-Lussac.



DALTON, John (1766-1844)

# Congressos e Conferências

Maria Regina Tavares <sup>a</sup>

## Junho de 1989

5-9	Karlsruhe (RFA)	2nd International Conference on Analytical Chemistry in Nuclear Technology
5-9	Strasbourg (F)	9th International Symposium on Cationic Polymerization and Related Processes
6-9	Birmingham (GB)	Eurochem'89 International Chemical and Process Engineering, Show and Conference
6-9	Angers (F)	International Congress Chevreul on Study of Fats
19-22	Oslo (N)	6th International Symposium Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries
21-23	Avila (E)	III Jornadas de Química Orgânica
26-28	Seoul (C)	International Symposium on Molecular Design of Functional Polymers

## Julho de 1989

2-7	Queensland (Austrália)	27th International Conference on Coordination Chemistry
3-7	Tallinn (URSS)	11th International Conference on Phosphorus Chemistry
10-14	Amsterdam (H)	8th International Zeolite Conference
12-14	Madrid (E)	I Jornadas Ibericas de Plantas Medicinales, Aromaticas y de Aceites Essenciales
17-20	Praga (CH)	32nd Microsymposium on Macromolecules "Polymer Blends"
17-22	New York (USA)	2nd International Conference on Heteroatom Chemistry (ICHAC-2)
18-20	Bruxelas (B)	5th International Symposium on the Effect of Tin Upon Malignant Cell Growth
23-28	Bruxelas (B)	6th International Conference on the Organometallic and Coordination Chemistry of Germanium, Tin and Lead
24-28	Massachusetts (USA)	4th International Conference on Bioinorganic Chemistry
25-27	Oxford (GB)	11th International Symposium: Synthesis in Organic Chemistry
30-5/8	Cambridge (GB)	SAC89 International Conference on Analytical Chemistry

## Agosto de 1989

2-7	Estocolmo (S)	32nd International Congress of Pure and Applied Chemistry
6-11	Jerusalém (Israel)	20th International Conference on Solution Chemistry
9-17	Lund (Suécia)	35th IUPAC General Assembly
13-17	Jerusalém (Israel)	12th International Congress of Heterocyclic Chemistry

20-25	Tonaka (J)	6th International Symposium on Novel Aromatic Compounds
20-25	Waterloo (Canadá)	10th International Conference on Chemical Education
25-28	Pequim (China)	International Conference on Calorimetry and Chemical Thermodynamics
26-31	Viena (Áustria)	Euroanalysis VII European Conference on Analytical Chemistry
28-1/9	Wiesbaden (RFA)	11th International Symposium on Microchemical Techniques
27-1/9	Pádua (I)	2nd European Symposium on Organic Reactivity

## Setembro de 1989

3-8	Leicester (GB)	9th European Symposium on Fluorine Chemistry
3-8	Belgrado (Jugoslávia)	ESOC VI 6th European Symposium on Organic Chemistry
4-8	Budapeste (Hungria)	International Conference on the Applications of the Mössbauer Effect
4-8	Pugnochiuso (I)	9th International Symposium on Plasma Chemistry
11-13	Pau (F)	4ème Journées sur les Méthodes Informatiques dans L'Enseignement de la Chimie
11-13	Bristol (GB)	International Symposium on Thin Solid and Liquid Films
17-22	Kyoto (J)	40 th International Society of Electrochemistry Meeting
18-22	Novosibirsk (URSS)	International Conference on Nitroxide Radicals
18-22	Alma, Ata (URSS)	International Seminar on Flame Structure

## Outubro de 1989

2-6	Utreque (Holanda)	9th European Congress on Corrosion
3-6	Mulhouse (França)	Congress International sur la Chimie Organique du Brome et ses Applications
6-7	Viena (Áustria)	2nd International Symposium on Philosophy and History of Analytical Chemistry and their Consequences
9-13	Lisboa (P)	5th European Conference Biomass for Energy & Industry
9-14	Dusseldorf (RFA)	Interkama 89: 11th International Congress with Exhibition for Instrumentation and Automation
11-17	Pequim (China)	Achemasia'89

<sup>a</sup> LNETI — Departamento de Tecnologia de Indústria Química Estrada das Palmeiras — 2745 Queluz.

**Novembro de 1989**

**8-10** Lisboa (P) Ensino Superior de Química em Línguas Internacionais de Origem Latina

**Janeiro de 1990**

**23-24** Cádiz (E) V Seminário de Química Marina

**Fevereiro de 1990**

**4-9** New Delhi (Índia) 17th International Symposium on the Chemistry of Natural Products

**Março de 1990**

**1-7** New Delhi (Índia) Plastindia '90 International Trade Exhibition and Congress for the Plastics Industry

**Mai de 1990**

**6-9** Alicante (E) 2nd International Symposium on Characterization of Porous Solids

**Junho de 1990**

**5-8** Espoo (Finlândia) International Symposium on Trace Elements in Health and Disease

**Julho de 1990**

**1-1** Tubingen (RFA) International Conference on Synthetic Metals '90

**8-14** Copenhague (D) 5th European Congress of Biotechnology

**23-27** Helsínquia (Finlândia) 8th International Conference on Organic Synthesis

**Agosto de 1990**

? Yokohoma (J) 15th International Carbohydrate Symposium

**5-11** Hamburgo (RFA) 7th IUPAC Congress on Pesticide Chemistry

**6-10** Haifa (Israel) 10th International Conference on Physical Organic Chemistry

**26-31** Viena (A) Euroanalysis VII 7th European Conference on Analytical Chemistry

**Fevereiro de 1991**

**10-15** Melbourne (Austrália) International Conference Polymer 91

**Junho de 1991**

**16-21** Karlsruhe (RFA) World Congress IV on Chemical Engineering

**Agosto de 1991**

**1-1** Bochum (RFA) 13th International Fluor-Symposium

**SPQ — QUOTAS**

Sócio Efectivo .....	2 000\$00
Estudante .....	650\$00

**BOLETIM**

Assinatura (4 números) .....	1 500\$00 (no país)
	US\$35 (no estrangeiro)
Número avulso.....	330\$00
	(+ 150\$00 de porte de correio)

# boletim

SOCIEDADE  
PORTUGUESA  
DE  
QUIMICA



O Boletim da Sociedade Portuguesa de Química é o melhor suporte para tomar contacto com os químicos e engenheiros químicos portugueses e com as instituições e firmas que os empregam

**Para as suas inserções publicitárias** escreva para a Sociedade Portuguesa de Química, Av. da República, 37, 4.º - 1000 Lisboa ou telefone para 73 46 37 (Cristina Silva Macário)

## NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO DE ORIGINAIS NO BOLETIM

1. Os originais devem ser enviados em 3 exemplares (dactilografados) em envelope dirigido ao director do Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, Av. da República, 37, 4.º, 1000 LISBOA.
2. Os originais não devem exceder, na generalidade, 15 páginas dactilografadas a 2 espaços.
3. As gravuras, desenhos, esquemas e outras figuras que acompanhem os originais devem estar numeradas e acompanhadas das legendas correspondentes. A qualidade das ilustrações deve permitir uma boa reprodução. As fórmulas complexas devem ser preparadas como ilustrações.
4. Os artigos publicados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.
5. As regras de nomenclatura a utilizar devem ser exclusivamente as regras recomendadas pela IUPAC.
6. Compete à Direcção do Boletim a aceitação da publicação de qualquer original que lhe seja submetido. Em caso de dúvida sobre o interesse desta, o original será submetido a apreciação por, pelo menos, dois especialistas sócios da SPQ designados pela Direcção do Boletim.

## PREÇO DA PUBLICIDADE POR NÚMERO DO «BOLETIM»

### Página interior (só preto)

1/8 de página.....	5 000\$00
1/4 de página.....	7 000\$00
1/2 página.....	10 000\$00
1 página.....	15 000\$00

### Capa 3 (a duas cores)

1/8 de página.....	7 000\$00
1/4 de página.....	10 000\$00
1/2 página.....	15 000\$00
1 página.....	25 000\$00

<b>O Contra-senso em Imagens .....</b>	<b>7</b>
<b>A Termodinâmica e o Efeito Montesquieu .....</b>	<b>15</b>
<b>O Trabalho Experimental no Ensino da Química .....</b>	<b>25</b>
<b>Análise da Variância .....</b>	<b>29</b>
<b>O Carbono Orgânico e a Arqueologia .....</b>	<b>33</b>
<b>Macroalgas Marinhas .....</b>	<b>37</b>
<b>Lactonas Sesquiterpênicas .....</b>	<b>41</b>