

## Homenagem a José Pinto Peixoto\*

José Carvalho Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Professor Emérito IADE-UEP

### Do Casal de Cinza à Miuzela

Mas foi nos meus dezoito anos, em 1965, no segundo ano da Licenciatura em Física que num exame no Anfiteatro da Física a paredes meias com o Instituto Geográfico D. Luis I, falei pela primeira vez com José Pinto Peixoto. Levei um calduço por erro que tinha feito. Perguntou-me de onde era, disse Casal de Cinza. Durante um semestre chamou-me Sr. Monteiro. Lá balbuciava Carvalho Rodrigues e com descrença e talvez um carolo dado sempre acompanhado de... com muita caridade... dizia: ... de Casal de Cinza só pode ser Monteiro. Só se remediou no ano e semestres seguintes onde muitas vezes foi meu Professor.

Era então Meteorologista, que era uma Profissão, dirigia o Instituto Geográfico D. Luis I e era Professor Extraordinário. No meu quarto ano foi feito Professor Catedrático, depois de umas provas de Agregação memoráveis.

Antes desse encontro tinha começado a frequentar as suas lições numa sala de aula que tinha janelas de um lado para o Jardim Botânico, de outro, a noventa graus, uma magnífica ardósia ladeada por duas outras enormes janelas por onde se viam as copas das Palmeiras e a Biblioteca da Faculdade de Ciências.

Fui um dos Senhores Alunos que teve. E teve muitos. Todos podemos dizer que nos conhecia e que se deixava aproximar e fazer sentir que cada um era especial. Que lhe era íntimo. E um sentir de unidade com o Professor José Pinto Peixoto une-nos a todos na garantia que era quase como só nosso.

Já vou a três quartos de século e a cinquenta e sete de o encontrar e nunca alguém que com ele aprendera, privara, ou trabalhara, ou a quem o Prof. Pinto Peixoto comprava os objectos mais diversos que se possam imaginar que não afirmasse a proximidade pessoal e afectiva ao Prof. José Pinto Peixoto. O que é quase inverosímil é que todos dizemos, sentimos, juramos com verdade, se necessário for, que assim era. Mais ... a afirmação de pertença, a quase sensação que só de cada um de nós era Amigo íntimo, que cada um é que o conhecia muito bem era em todos verdadeira.

Quando tive a incumbência de escrever a minha lembrança do Prof. Pinto Peixoto só senti que eu

era um igual a todos os que com ele se tocaram. Desde a mana Judite que idolatrava, até ao mano Acácio que lhe cuidava e supervisionava as terras e que tinha o encargo anual de lhe anunciar o prejuízo que a agricultura lhe dava, até aos Sobrinhos que acompanhava, protegia e estimava. O amor à Mariazinha, ao Palheiro e aos colegas que nele se albergaram vindos de todo o Portugal, ao Liceu Nacional de Gil Vicente na altura mesmo dentro do Convento de S. Vicente de Fora. À Joaninha onde almoçava. A todos os que lhe vendiam antiguidades, bugigangas e móveis e que por falta de espaço continuavam por anos e anos nas montanhas de lojas com o sinal de vendidos. Em alguns sábados fazíamos a romaria para, ainda hoje suponho, falar com as Pessoas donas das lojas e lhe apaziguar a saudade pelos objectos. Claro que o carro excelente que tinha fez uma primeira viagem até à garagem do seu amigo Major Rueff de onde nunca mais saiu. Era um dos locais da peregrinação às suas coisas. Bem, na Joaninha tinha em profusão serviços de jantar, café, chá e tudo o que se possa imaginar de artefactos de vidro. "Quando ao Domingo "O Belém" i.e. "Os Belenenses" jogavam em casa lá iam e o Professor, não estava um momento quieto e...muito sofria".

A nós que aprendíamos levávamos calduços e carolos, aos Senhores Ministros que lhe pediam dava conselhos sempre por escrito. Para um desses Ministérios produziu há mais de quarenta anos a melhor colectânea de livros sobre ambiente, física e clima. Do melhor que até hoje se produziu em Portugal. Aos Senhores Presidentes da República recusava todos os convites para recepções ou similares para que a Academia não pudesse jamais repetir o que fez com Junot. Os confrades Académicos, os funcionários, os taxistas, os condutores e revisores de autocarros, eléctricos e comboios, esses todos sempre me repetiram a verdade: Conheço o Prof. Pinto Peixoto muito bem, e é muito meu Amigo e muito me considera. Cada um sabia que era especial para o Professor e o prodígio é que era a verdade. É assim porque alguém como o Prof. Pinto Peixoto jamais parte, só deixamos de o ver.

Qualquer um desses todos podia fazer o que me atrevo a fazer hoje. Aqui estou só por causa da bondade da Senhora Presidente da Sociedade Portuguesa de Física a Prof<sup>ra</sup>. Catedrática Conceição Abreu que mo mandou fazer.

E hoje faço-o em casa de granito, em cima de terra que nos viu. Devo-lhe o que sou como Profissional. Devo-lhe o que de melhor haverá em mim.

Em primeiro lugar percebi que era Professor, mas que para ser Professor, tinha um ofício, era Meteorologista, fazia consultadoria, calculava e punha probabilidade no futuro, nas observáveis do futuro ou por curiosidade ou para quem lho encomendava.

E era esta combinação que hoje é quase vedada que fazia o Sublime Professor quando nos ensinava. Se me é permitido lembro o Prof. Carvalho Fernandes do Técnico, por ser de tão perto, do Soito. Era Professor com a mesma actividade global incluindo a de Director Geral da Standard Electric. O Prof. José Pinto Peixoto que vivia Física para lá do horizonte conhecido, aprendia e ensinava ao mais alto nível de saber disponível em cada momento. Como primeiro anexo vai um manuscrito que o Prof. Prigogine ofereceu ao Prof. Pinto Peixoto para comentários. E eu fiquei com esse manuscrito por onde aprendi sobre Entropia, Informação, Tempo e Irreversibilidade. Aliás nesse Anexo onde começa o Capítulo II no final da página está a celeberrima expressão da inexorabilidade do tempo e da informação, ambos “filhos” da entropia e como o Universo se pode descrever ou se se quiser organizar, ou pelo tempo ou pela informação. Como Professor deixou-nos também escritas o que eram as suas lições. O anexo II é um exemplo daquilo que ensinava, depois escrevia e nos dava.

Mas é claro que eu tal como todos os outros sentia que tinha...e era especial para o Prof. Pinto Peixoto. Como não me canso de repetir: era mesmo verdade para mim e para todos os outros.

Mas houve um que nunca conheci mas que era uma interacção, um contacto diferente. Chamava-se Vitorino Nemésio. É tal como o Prof. Dias Agudo escreveu no seu ensaio sobre “As “Duas Culturas”: “recordo a satisfação que o confrade Vitorino Nemésio sentia ao conversar na Academia das Ciências com ele (Pinto Peixoto) sobre os problemas da então física moderna. Por altura dessas conversas com Pinto Peixoto, Vitorino Nemésio já tinha sido levado com gosto até à biologia molecular e genética por outro Açoreano também da Terceira, Aurélio Quintanilha (1892-1987).

Mas das conversas com Pinto Peixoto, Vitorino Nemésio deixou notas e apontamentos que tirou. Alguns tenho-os e as suas reproduções constituem o anexo III.

Destas lições o Confrade Vitorino Nemésio escreveu o livro mais profundo sobre Filosofia da Ciência que jamais li publicado em 1972. Os Nemesianos só o descobriram em 2005. Já estava esgotado e a Imprensa Nacional apressou-se, e com um forte aplauso da minha parte, a publicar. O Prefácio é que foi entregue, nessa edição, a uma escola que toma o alinhar de palavras utilizando regras válidas e elegantes de linguagem como pensamento.

O livro é a “Era do Átomo / Crise do Homem”. A “Era do Átomo / Crise do Homem” é a prova da inspiração que o Prof. Pinto Peixoto gerava nos seus alunos.

E Vitorino Nemésio que já era sublime estava agora inspirado pela conversa, pela mente e produziu a melhor poesia de “Ciência Contemporânea” que se escreveu até hoje.

Rómulo de Carvalho é um soberbo Poeta mas de Ciência Clássica. Nemésio é o Poeta da modernidade da Ciência. Um das vezes o poema foi, quase, a Harmonia:

”O outro ainda vai com Newton como fogueiro  
Mas já leva ao emprego, a Berne, o amanuense de Patentes  
Que harmoniosamente, relativamente distraído,  
Escreveu a sigla  $E = mc^2$  no arco do seu violino”

E por vezes até radical com uma versão materialista, científica, da História baseada na irreversibilidade de Prigogine. E talvez o Prof. Pinto Peixoto lhe tenha mostrado que na nossa vida de hoje de entrega ao domicílio, sustentada, quase só em informação e não em observáveis que gera, é por isso eficaz. Eficaz, mas sem sentido. Na incerteza de para onde vamos não sabemos onde estamos. E a nós preenche a alma pelo menos consola-a porque explica e faz previsões. Talvez por isto a ciência não é o cimento da união dos povos. O credo científico une os homens na coerência matemática e nos laboratórios. Mas é só aí. Cá fora ficam desunidos, frios, lutam, destroem-se. Nem podiam ser de outro modo porque o íntimo não é do âmbito da Ciência.

Mas de Pinto Peixoto, Vitorino Nemésio absorveu, intuiu, deduziu, pelo menos, o que escreveu neste pedaço de “Era do Átomo/Crise do Homem”: “Suspendendo por hoje a meditação da crise do Homem confesso que esta “Entropologia” ou Sociologia da entropia me não é de todo antipática. Metade dos problemas do homem actual bem se resolveriam talvez pelo segundo princípio da termodinâmica e com a teoria da informação”.

Aprendendo com os dois fiz a minha vida. Não me saí nada mal e hoje em que a minha pele desperta ao amanhecer dos galos e na cor da luz agora que está em tempo de fazer guerra e falar Paz sei quanto devo ao Prof. Pinto Peixoto.

Eu escrevi alguns textos e assinei publicações com o Prof. Pinto Peixoto e um livro “Sistemas Entropia e Coesão”. Eu vivia no 3º andar e ele no 4º amplo e duplex. Tinha tanta e tanta coisa que, no andar de baixo, nos divertíamos a fazer exposições temporárias, desde pintura, a crucifixos, a livros e a mais vistosa foi uma de paramentos.

Jantava no terceiro, ia até ao seu duplex no quarto andar. Iria até ao quarto, no piso de cima, que tinha porta independente. Estava organizado de tal maneira que levantando-se da cama para o lado da janela podia de imediato sentar-se à secretária pronto para escrever, com biblioteca por perto. O anexo IV é um exemplar dessa escrita.

la por grandes temporadas até aos Estados Unidos da América, até ao MIT, Chicago, Boston ensinava, investigava, era consultor, trabalhava para Companhias que faziam meteorologia por contrato para sectores tão diferentes como Espaço, Ambiente, Agricultura, a gestão da Água e a Defesa. Ficava sempre muito nervoso quando era a altura de preencher os formulários americanos do IRS porque não tinha quem lho fizesse. Em Portugal os amigos faziam isso por ele. Nunca abria a caixa do correio

porque “ou são contos ou más notícias”. Lá lhe fazíamos a gestão das cartas. Almoçar, com os velhos Amigos, sempre na Joaninha. A isso era impossível faltar. Consoava e passava o Natal connosco (Fig. 1). Tratava com desvelo pelo Instituto Geofísico Infante D. Luis, onde contava com todos mas sobretudo com o Prof. Corte Real e o seu Prof. Mendes Vitor. A Academia das Ciências de Lisboa era o seu centro nevrálgico. Tudo por perto e à volta da Escola Politécnica como gostava de dizer.



Figura 1 - Almoço de Natal.

No mais ajudou-me em todos os projectos em especial os de Detecção Remota com a NATO e no Po-SAT1 que tinham que ver com o espaço uma vez que desde que se iniciou em Portugal actividade no espaço exterior em 1972 (está a fazer cinquenta anos) fez parte da então constituída e muito dinâmica “Comissão Permanente de Estudos do Espaço Exterior”. Teve um enorme empenho no estabelecer de Escolas de Óptica e Optometria e na introdução de Licenciaturas e Doutoramentos integralmente pagas pelas Empresas desta actividade nas Universidades da Beira Interior e do Minho.

Participou na fundação da Universidade da Beira Interior. Sem a contribuição do Prof. Pinto Peixoto teria sido muito mais difícil. Contribui para a UTAD e instalou a Universidade Nova de Lisboa, sobre a qual uma vez me disse com desgosto: “Ó Fernandinho, a Faculdade de Economia nunca irá para a outra banda!”. Muito incrédulo perguntei-lhe porquê. E o Prof. Pinto Peixoto na Sabedoria dos Beirões da Beira Serra disse-me: “Vai ficar do lado de Lisboa porque é onde estão os bancos”. Na altura achei que não seria assim. Hoje sei que sim. Ficou mesmo na margem norte do Tejo.

Depois ajudava todos sem contabilidade e com bonomia. Em Casal de Cinza com o Eng. Vitor Vasques, Presidente da Federação Portuguesa de Futebol recebe uma lembrança entregue por um rapaz da minha criação, o Sr. Jorge Pires, que naquele momento de inauguração de muito boas instalações era o Presidente do Grupo Cultural e Recreativo de Casal de Cinza (Fig. 2) com a mesma simplicidade, alegria, humildade e naturalidade com que foi agraciado com a Grã-Cruz da Ordem Militar de Santiago



Figura 2



Figura 3

da Espada pelo Sr. Presidente da República, o Prémio Artur Malheiros e o Prémio Boa Esperança na foto comigo, com o Eng. Fernando Carvalho e o Prof. Santos Silva ( Reitor da UBI 2009-2016) (Fig. 4).

Houve um dia que o Compadre Tomás Espírito Santo o levou ao hospital. Vi-o sair de casa. Sei que não partiu. Só deixei de o ver.

Uns quantos de nós já tínhamos organizado uma Homenagem Científica no Hotel Altis quando do septuagésimo aniversário com um grande simpósio, com os grandes Meteorologistas e Professores de Meteorologia do Mundo e antecipava-se já a edição do “*The Physics of Climate*”. No dia em que deixámos de o ver eu, a Família e juntando os Amigos, em especial o Dr. Norberto Pilar, o General Pereira Pinto, o Major Rueff, o Eng. Tomás Espírito Santo, o Juiz Conselheiro Dr. Joaquim Matos, o Prof. Santos Silva, o Prof. Passos Morgado, o Prof. Mendes Vítor, a Prof.<sup>a</sup> Solange da UTAD conseguimos por subscrição pública, encomendar a estátua de bronze do Prof. José Pinto Peixoto (foto 4) que está no Campus da Universidade de Lisboa sobre uma pedra de granito cortada e levada da Miuzela (foto 5).

O Dr. João Soares, extraordinário Presidente da Câmara de Lisboa, para além da eficácia na escolha e na prontidão na decisão do local onde ficou a estátua ainda foi por sua exclusiva iniciativa que mandou colocar uma placa no fachada do prédio onde o Prof. Pinto Peixoto (Fig. 6) viveu e atribuiu o seu nome a uma Rua em Lisboa. No que foi seguido por Oeiras e Almeida.

Na Miuzela para quem escreveu o seu último livro “Miuzela e a sua Gente”, o Povo comprou e instalou a “Casa da Cultura José Pinto Peixoto” [http://www.casaculturapinto-peixoto.org/\(foto7\)](http://www.casaculturapinto-peixoto.org/(foto7)) que atribui todos os anos o Prémio



Figura 4

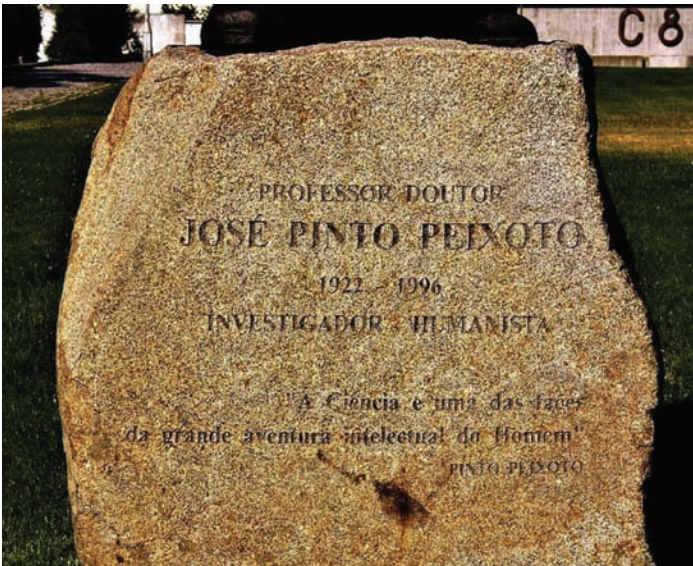


Figura 5

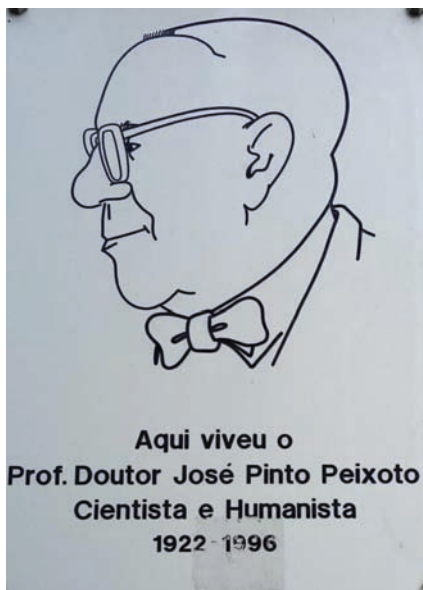


Figura 6

Nacional José Pinto Peixoto. Têm vindo prestar-lhe tributo Colegas quer Estrangeiros, quer Nacionais têm por lá organizado excelentes debates e conferências sobre os temas que tornaram o Prof. Pinto Peixoto, como todos os que ao alcançarem pela sua inextinguível competência e humanidade, de um Cientista, num atleta de Deus.

De José Pinto Peixoto posso dizer que:

Serviu e não contabilizou o custo; Lutou e não contou as feridas; Trabalhou e não pediu descanso; Deu-se e pediu nada em troca.



Figura 7

Pelo Prof. Pinto Peixoto podem repetir-se as palavras de Virgílio: "Feliz daquele que procurou a causa das coisas, porque um dia ultrapassará o medo e será entronizado pelo destino".

\*Feito em Casal de Cinza nos cem anos do seu Nascimento na Miuzela do Côa por F. Carvalho Rodrigues (foto 8) que pede, a quem queira informar mais a curiosidade, o favor de ir até:

[www.fernandocarvalhorodrigues.eu](http://www.fernandocarvalhorodrigues.eu)

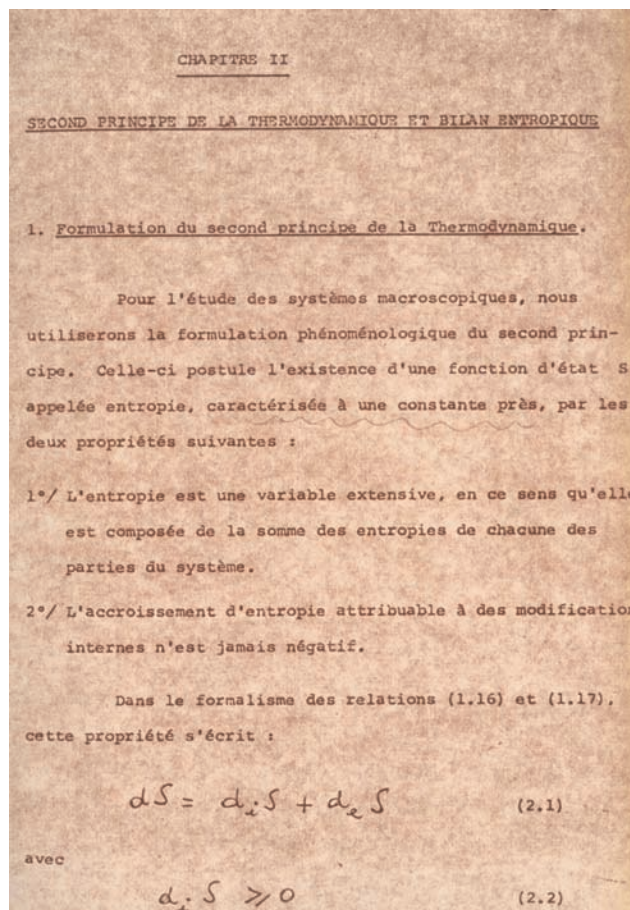
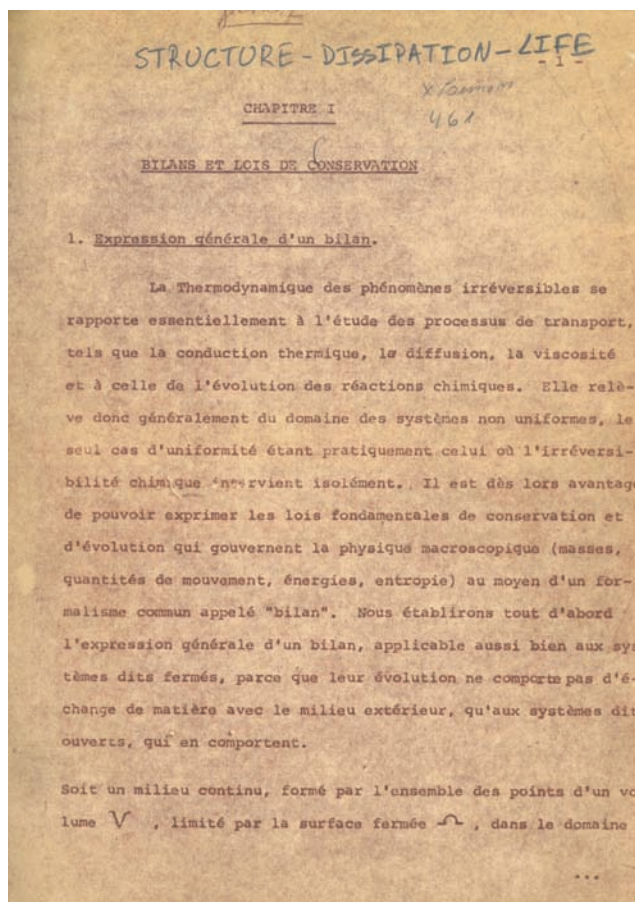


Figura 8



Fernando Carvalho Rodrigues é Professor Emérito no IADE - UEP Instituto de Arte, Design e Empresa. Membro da Academia de Ciências de Lisboa e da Academia de Marinha, bem como da Sociedade Internacional de Astronáutica e do Centro de Investigação Professor Doutor Joaquim Veríssimo Serrão. Pertence ao Conselho Supremo da Sociedade Histórica de Portugal e é Membro Honorário da Associação Nacional dos Óticos (ANO), assim como da União Profissional dos Óticos-Optometristas(UPOOP). É Licenciado Física pela Universidade de Lisboa e doutorado em Engenharia Eletrotécnica pela Universidade de Liverpool. Tem seis livros publicados, e supervisionou mais de vinte teses de Doutoramento. Publicou mais de duzentos artigos científicos. Foi premiado com o Prémio Pfizer (1977), duas vezes com o Prémio Gulbenkian (1978 e 82), a Casa da Imprensa votou-o Cientista do Ano de 1989, recebeu o Prémio Aboim Sande Lemos de Identidade Nacional da SHIP(1990), o Prémio Boa Esperança (1991), foi personalidade Nacional do Ano de 1993 no Diário de Notícias. Tem o Prémio Albert J. Meyer (1995), a medalha de Lavoisier (2013) e o Prémio Carreira Nacional de Ótica atribuído pela Associação Nacional dos Óticos (2014). Tem as Medalhas de Prata (1992) e de Ouro (2016) da Cidade da Guarda. Em 2017 a Vila da Moita do Ribatejo concedeu-lhe a Medalha de Mérito Cultural e Artístico. É Comendador da Ordem Militar de Santiago da Espada (1992). Para lá das inúmeras atividades que desenvolveu ao longo da sua carreira, que podem ser consultadas em [www.fernandocarvalhorodrigues.eu](http://www.fernandocarvalhorodrigues.eu), liderou o Consórcio responsável por construir, lançar e operar com sucesso o primeiro satélite Português (Po-Sat1), que foi colocado em órbita em 1993.

## ANEXO I



ANEXO II

J. P. Texte

aposta de Prof Prigogine

Vol. (8.)

**STRUCTURE, DISSIPATION and LIFE**

par

**I. PRIGOGINE**

Professeur à la  
Faculté des Sciences, Université  
Libre de Bruxelles

Communication présentée le lundi 26 juin 1967 à  
la Conférence Internationale " Physique Théorique  
et Biologique " organisée par l'Institut de la Vie,  
du 26 au 30 juin 1967, Versailles, France.

x Borrões  
463

CAMERA DE METEOROLOGIA  
(1964-1965)  
at Alentejo.

I - O papel da intuição na resolução de problemas de física

1. Na resolução dum problema de física é indispensável o recurso à intuição.

O estabelecimento das equações que permitem resolver o problema é a fase preliminar, obrigatória. É um trabalho difícil, porque exige o conhecimento de dois domínios diferentes: o da física ao que se refere aos fenómenos que se pretendem traduzir por equações; e o da intuição que consiste na resolução dessas equações.

A resolução de problemas compreende normalmente as seguintes fases:

- escolha dum sistema de referências (isto é, determinação das variáveis independentes que permitam a "parâmetrização" do fenómeno);
- escolha das funções desconhecidas para "caracterizar" o fenómeno;
- estabelecimento das equações que traduzem, quer as "necessidades internas" (relações entre as várias funções desconhecidas), quer as leis físicas que regem o fenómeno;
- transformação das equações, adaptando-as às condições fronteiras ou às condições iniciais (condições limites) que especificam o problema;
- resolução intutiva das equações;
- interpretação física dos resultados;
- resolução do problema físico.

2. A intuição na solução dos problemas de física é um "instrumento" extremamente conveniente. É uma forma de linguagem com que se pode descrever o problema físico e por meio da qual certos processos de raciocínio lógico podem ser conduzidos com relativa facilidade.

Não há física "sem intuições". Uma hipótese física incorreta é sempre uma hipótese incorreta, quer seja expressa no linguagem científica, quer não. Uma hipótese incorreta introduzida na equação diferencial que traduz o problema físico, só pode conduzir a resultados incorretos, por mais perfeita que seja a lógica do formalismo. É sempre indispensável fazer uma verificação e uma crítica dos resultados.

Na resolução dum problema físico pode obter-se um resultado errado devido a alguma das seguintes causas:

- solução intutiva incorreta dum problema formulado corretamente;
- solução intencionalmente correta ou não dum problema físico mal formulado;
- solução intutiva incorreta dum problema físico mal formulado.

Como se vê, o caso referente à alínea a) é o mais frequente; juntam-se às dificuldades da física às da intuição (infelizmente os dois, aliás são vítimas da alínea c) ...).

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

**TERMODINÂMICA**

(ALGUMAS NOÇÕES ELEMENTARES SOBRE A TEORIA DA INFORMAÇÃO)

Boltzmann

$$W = \prod_j \frac{c_j^{N_j}}{N_j!}$$

Prof. Dr. José Pinto Peixoto

$$W = \prod_j \left\{ \frac{(c_j + N_j - 1)!}{(c_j - 1)! N_j!} \right\} \rightarrow B. E.$$

$$W = \prod_j \left\{ \frac{c_j!}{(c_j - N_j)! N_j!} \right\} \rightarrow F. D.$$

Lisboa  
1968

**TEORIA DA INFORMAÇÃO**

"Thus when one meets the concept of entropy in communication theory, he has a right to be rather excited - a right to suspect that one has hold of something that may turn out to be basic and important".

Warren Weaver

**1. Noções fundamentais**

1. Informação é a "entidade" que resulta da diferença entre saber e não saber, conhecer e não conhecer, ou a diferença que há entre encerrar várias possibilidades e saber aquela que de facto se realisa.

Consideremos o conceito de informação na segunda acepção, por ser mais objetivo; tomemos o caso simples em que temos que fazer uma escolha dentre  $n$  acontecimentos possíveis. Por exemplo suponhamos que um objecto se encontra dentro dum das  $n$  caixas todas semelhantes. É evidente que o objecto não pode estar em mais do que uma caixa simultaneamente, o que significa que as  $n$  possibilidades se excluem mutuamente. Além disso, todas são equiprováveis: não vemos nenhuma razão que nos leve a preferir uma das possibilidades a qualquer das outras.

A nossa dificuldade em inferir qual a caixa em que se encontra o objecto traduz de facto uma dada incerteza ou uma falta de informação. Esta falta de informação é uma função de  $n$  e tanto maior quanto mais elevado for  $n$ ; isto é, podemos aceitar que:

$$I = I(n) \tag{1.1}$$

com a condição de ser:

$$I(n) > I(m) \text{ para } n > m \tag{1.2}$$

Mas também é evidente que se só existe uma caixa ( $n=1$ ), não teríamos dúvida

Prof. Dr. José Pinto Peixoto  
Dr. João Alexandre Medina Corte Real

Lisboa  
1968

4. Entropia; incertezas

1. O valor médio da quantidade de informação recebida aqui dada por:

$$\langle I_Q(x_k/y_j) \rangle = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_j \sum_k N(x_k/y_j) \cdot I_Q(x_k/y_j) = \sum_j \sum_k P(x_k/y_j) I_Q(x_k/y_j) \quad (4.1)$$

Como resulta da "definição" de probabilidade.

2. A expressão anterior (4.1) pode escrever-se sob a forma:

$$\langle I \rangle = \sum_j \sum_k P(x_k/y_j) \left[ -\log P(x_k) \right] - \left[ -\log P(x_k/y_j) \right], \quad (4.2)$$

notando que:

$$P(x_k/y_j) = P(x_k) \cdot P(y_j/x_k) = P(y_j/x_k) = P(y_j) \cdot P(x_k/y_j) \quad (4.3)$$

Se definirmos a função H pela fórmula:

$$H = - \sum_k P(x_k) \log P(x_k) \quad (4.4)$$

conclui-se que a grandeza H é afinal o valor médio de grau de incerteza ou o valor médio da surpresa. Com esta simbologia o valor médio da quantidade de informação <I> pode escrever-se:

$$\langle I \rangle = H(x) - H(x/y) \quad (4.5)$$

7. Estados de regime estacionário

O estado de produção mínima de entropia

1. Vamos mostrar que em regime estacionário a taxa de geração da entropia é mínima (teorema de Prigogine).

Consideremos um sistema sob a acção de n forças independentes  $X_1, X_2, \dots, X_n$  e suponhamos que se mantem constante as primeiras k forças. Então é possível escolher um conjunto de forças  $\{X_{k+1}, \dots, X_n\}$  para as quais os fluxos  $J_{k+1}, J_{k+2}, \dots, J_n$  são nulos e a taxa de geração de entropia  $\sigma$  é mínima.

De facto, tem-se:

$$\sigma = \sum I_{ik} X_i X_k$$

Porque a taxa quadrática  $\sigma$  é definida a partir de equações de balanço para  $\sigma$  nos  $X_i$ .  $(\frac{\partial \sigma}{\partial X_i}) = 0$  em  $X_i = 0$ .  
Se k das  $X_i$  forem nulas então temos os fluxos associados às  $X_{k+1}, \dots, X_n$  nulos.

IX - Aplicação ao equilíbrio crítico

1. Da teoria exposta sobre formas quadráticas, inversão de matrizes, sobre o equilíbrio crítico, pode compreender-se sem dificuldade, alguns dos aspectos apresentados nas lições, para sistemas termodinâmicos. Considero-se um sistema cuja relação fundamental é:

$$U = U(S, V)$$

Para que a forma quadrática

$$\frac{1}{2} U_{SS} (dS)^2 + U_{SV} dS dV + \frac{1}{2} U_{VV} (dV)^2$$

cuja matriz é a matriz de rigidez:

$$\begin{bmatrix} U_{SS} & U_{SV} \\ U_{VS} & U_{VV} \end{bmatrix}$$

seja definida positiva ( $d^2U > 0$ ) todos os menores principais têm de ser positivos, isto é:

$$a) U_{SS} > 0 \quad b) U_{VV} > 0 \quad c) U_{SS} U_{VV} - U_{SV}^2 = D > 0$$

Derivando esta expressão em ordem a  $X_m$ , vem:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial X_m} = I_{mk} X_k + I_{m1} X_1 = 2J_m \quad (45)$$

Se a produção de entropia é mínima, então:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial X_m} = 2J_m = 0 \quad (46)$$

o  $J_m = 0$  é a condição de mínimo, porque a forma quadrática  $\sigma$  é positiva e definida.

Logo, é necessário que todos os fluxos associados às forças generalizadas, que não foram fixadas previamente se anulam. Portanto, em regime estacionário  $\sigma$  é mínima.

2. Notemos que a taxa de geração de entropia  $\sigma$  está associada uma energia dissipada por segundo (potência dissipada) que vale  $\sigma T$ .

3. Vamos calcular a variação da taxa de produção de entropia, quando há uma variação nas forças generalizadas ou nos fluxos generalizados.

Diferenciando a expressão (16), vem:

$$d\sigma = \sum_i X_i dJ_i + \sum_i J_i dX_i = d_J \sigma + d_X \sigma \quad (47)$$

fazendo:

$$d_J \sigma = \sum_i X_i dJ_i \quad (48) \quad d_X \sigma = \sum_i J_i dX_i \quad (49)$$

Mas no domínio linear é:

$$d_J \sigma = \sum_i X_i I_{ik} dX_i \quad \text{e} \quad d_X \sigma = \sum_i I_{ik} X_i dX_i$$

4. Entropia; incertezas

1. O valor médio da quantidade de informação recebível será dado por:

$$\langle I_Q(x_k/y_j) \rangle = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_j \sum_k H(x_k/y_j) \cdot I_Q(x_k/y_j) = \sum_j \sum_k P(x_k/y_j) I_Q(x_k/y_j) \quad (4.1)$$

Como resulta da "definição" de probabilidade.

2. A expressão anterior (4.1) pode escrever-se sob a forma:

$$\langle I \rangle = \sum_j \sum_k P(x_k/y_j) \left[ -\log P(x_k) \right] - \left[ -\log P(x_k/y_j) \right], \quad (4.2)$$

notando que:

$$P(x_k/y_j) = P(x_k) \cdot P(y_j/x_k) = P(y_j/x_k) = P(y_j) \cdot P(x_k/y_j) \quad (4.3)$$

Se definirmos a função H pela fórmula:

$$H = - \sum_k P(x_k) \log P(x_k) \quad (4.4)$$

conclui-se que a grandeza  $\frac{H}{N}$  é afinal o valor médio de grau de incertez ou o valor médio de surpresa. Com esta simbologia o valor médio da quantidade de informação  $\langle I \rangle$  pode escrever-se:

$$\langle I \rangle = H(x) - H(x/y) \quad (4.5)$$

ANEXO III

acústica ondulat. - espelhos e imagens  
" física (Robt/Descart.) for. matem. matem.

partes/partes/partes base ampilares  
= análise a nível de feixes (Dematerial)  
e o inverso

Planck =  $h\nu$   
(Boltzman: emiss. e absorç. do espectro.)  
os electrões só podem ser  
aumentados de movimento quan-  
tificados: a energia radiante  
de freq.  $\nu$  é exp. emitida e  
absorvida por quant. de  $h\nu$ .  
 $u_{\text{total}} = h\nu$

Derivando esta expressão em ordem a  $X_m$ , vem:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial X_m} = \sum_k I_{mk} X_k^{-2} L_{mk}^{-1} = 2J_m \quad (45)$$

Se a produção de entropia é mínima, então:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial X_m} = 2J_m = 0 \quad (46)$$

o  $J_m=0$  é a condição de mínimo, porque a forma quadrática  $\sigma$  é positiva e definida.

Logo, é necessário que todos os fluxos associados às forças generalizadas, que não foram fixadas previamente se anulam. Portanto, em regime estacionário  $\sigma$  é mínima.

- Notemos que a taxa de geração de entropia  $\sigma$  está associada a uma energia dissipada por segundo (potência dissipada) que vale  $\sigma T$ .
- Vamos calcular a variação da taxa de produção de entropia, quando há uma variação nas forças generalizadas e nos fluxos generalizados. Diferenciando a expressão (15), vem:

$$d\sigma = \sum_i X_i dJ_i + \sum_i J_i dX_i = d_J \sigma + d_X \sigma \quad (47)$$

fazendo:

$$d_J \sigma = \sum_i X_i dJ_i \quad (48) \quad \text{e} \quad d_X \sigma = \sum_i J_i dX_i \quad (49)$$

Na no domínio linear é:

$$d_J \sigma = \sum_i X_i I_{ik} dX_i \quad \text{e} \quad d_X \sigma = \sum_i I_{ik} X_i dX_i$$

óptica: Fresnel (Optica)  
prop. calor: Fourier  
Electricid.: → Maxwell (Electromagnetism)  
Termodin.: Sadi Carnot... Joule, Clausius  
Fis. Cl.: "partículas" - estrat. discont. da mat.  
Fis. mod.: representações contínuas → derivadas parciais  
Termodin. abstr.: conservação de energia e aumento da entropia  
As leis da electrodin. (Faraday) requerem uma estrat. discontinua da electricid.  
Átomos e molécula. Clausius, Maxwell + BOLTZMAN  
teoria cinética da matéria  
H. A. LORENZ: electrões: cargas localizadas e corpusculares  
Energéticos versus Atômicos  
Mach, Ostwald, Duhem  
1880-1900: estruturas descontínuas de electricid.



