

Base v- 1839501

**INSTITUTO
DE FÍSICA**

preprint

IFUSP/P-231

"ENGENHARIA DA INFORMAÇÃO"

C. Z. Mammanna

Instituto de Física - Universidade de São Paulo

B.I.F. - USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA
Caixa Postal - 20.516
Cidade Universitária
São Paulo - BRASIL

IFUSP/P 231
B.I.F. - US

ENGENHARIA DA INFORMAÇÃO

Claudio Zamitti Mamma

RESUMO:

O rápido processo de fusão das tecnologias das Comunicações, Computação e Instrumentação, por força da digitalização da informação, impõe-nos um esforço especial para inaugurar, no país, um parque industrial de equipamentos para a Informática. Este trabalho dedica-se às diversas áreas da engenharia que têm a informação como principal objeto e propõe as bases conceituais para a elaboração de um currículo unificado por meio do qual possam ser formados os engenheiros capazes de projetar equipamentos para a Informática.

JUL/80

INDICE

INTRODUÇÃO	1
I. ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS - O que é informação ?	8
1. Configuração	9
2. Atributos semânticos das configurações	11
II. ASPECTOS FENOMENOLÓGICOS - A natureza da informação	12
1. Comunicação	13
2. Memórias	15
3. Transdutores	19
3.1 Natureza matemática dos transdutores : Operadores	21
3.2 Natureza física dos transdutores : Efeitos	24
4. Relação dos efeitos físicos de ocorrência mais frequente em equipamentos processadores da informação	26
III. ASPECTOS TECNOLÓGICOS - A realização da informação	32
1. Materiais	32
2. Geometrias	33
3. Processos	33
IV. ASPECTOS FISIOLÓGICOS - A percepção da informação	34
V. ASPECTOS ETOLÓGICOS - A informação na Biosfera	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

INTRODUÇÃO

"Eu vou contar-vos como. Eles usam grandes cinturões, carregados de sinos de modo que quando eles correm, eles são ouvidos a grandes distâncias. Eles sempre correm à máxima velocidade e não por mais de tres milhas. E na próxima estação, tres milhas adiante, o barulho que eles produzem anunciam sua chegada a outro mensageiro que os espera de prontidão. Assim que o primeiro homem chega, o novo recolhe o que ele está carregando, bem como um pequeno bilhete que lhe foi dado pelo escrevente (que o despachou), e começa a correr. Após percorrer tres milhas, a operação se repete. Eu posso assegurar-vos que, por meio desse serviço de mensageiros desmontados, o Grande Khan recebe notícias que custariam jornadas de dez dias, em apenas um dia e uma noite" {12}.

É assim que Marco Polo descreveu o sistema postal que permitia a Kublai Khan o domínio de tão vasto império. Um sistema de correio idêntico estava em uso pelos Incas, cerca de dois séculos depois, quando chegaram os espanhóis na América { 8 }.

Tal organização de correios mostra a importância que a informação representou para esses povos e serve para ilustrar em que medida informação é poder. "A base da fortuna dos Rothschild foi a informação adiantada, por meio de um pombo-correio, da derrota de Napoleão em Waterloo, de modo que Rothschild pode tomar, mais cedo, decisões sobre a bolsa de valores" { 1 }.

Ao longo dos tempos foram inventados vários métodos para acelerar a transferência de mensagens. A forma mais rápida, porém, de transmitir uma mensagem a distâncias que superam o alcance da voz, não é transportar um bilhete como se este fosse uma carga, mas traduzir seu conteúdo para uma forma mais ágil, capaz de deslocar-se por si mesma. Os índios africanos transmitem mensagens percutindo tambores que, por emitirem sons graves, são ouvidos a grandes distâncias; os índios americanos valem-se (ou valiam-se) de sinais de fumaça.No

século XVIII passou-se a usar oficialmente na França, um sistema de bandeiras, instaladas em edifícios localizados em pontos estratégicos que, dependendo de como eram empunhadas, formavam figuras, cada uma delas significando uma letra. As mensagens formadas por sequências de letras podiam, dessa forma, ser vistas de longe { 2 }. A tradução de mensagens para formas de ondas elétricas e eletromagnéticas foi uma evolução desse processo que permite hoje, a um grande número de pessoas, o exercício de uma façanha de comunicação reservado, no passado, apenas ao Grande Khan ou ao Grande Inca.

As mensagens sofreram, ao longo da História, inúmeras traduções. Nascidas como fonemas concatenados na forma de frases, foram se transformando até que, depois de muitos milênios, puderam, graças ao engenho humano, ser captadas em representações gráficas: a escrita. Dessa forma, as mensagens, antes efêmeras, puderam ser registradas. As técnicas de registro, resultantes do aprimoramento da escrita, induziram uma nova organização social, seja porque serviram de base à instituição da moeda, seja porque tornaram possível o registro da propriedade nas versões arcaicas dos cartórios e instituições financeiras.

As técnicas e equipamentos de registro passaram a ser tão importantes para a sociedade como os correios e assim como se deu com as técnicas de comunicação, a arte do registro evoluiu e assumiu dimensões notáveis: a imprensa, a fonografia, a foto ou cinematografia. Essas técnicas atingiram um tal grau de sofisticação que por meio delas pode-se hoje gravar "mensagens" as mais diversas: circuitos eletrônicos são reproduzidos da mesma forma que exemplares de alta tiragem na imprensa, preservando todas as propriedades eletrônicas do "original"; o mesmo é possível para peças mecânicas mediante a usinagem por controle numérico, que é uma espécie de impressão tridimensional.

As técnicas do registro ganharam recentemente uma nova preocupação: a organização da informação registrada. Para as necessidades econômicas das sociedades industriais de hoje, não basta apenas o registro de fatos e transações: é pre

ciso recuperar rapidamente, e a baixo custo, esses registros. Dessa necessidade projeta-se a intenção de popularizar a informação, tornando possível, ao consumidor comum, através de novos equipamentos, o acesso ao que se denomina banco de da dos.

A recuperação da informação sempre ocupou um lugar importante na sociedade. A variedade e quantidade de equipamentos destinados a esse fim testemunham essa importância: equipamentos de reprodução de som, projetores de diapositivo e cinema, radioreceptores e televisores, leitores de microfilmes etc.

Mensagens de outra espécie são aquelas recebidas pelos cientistas: pesquisar nas ciências naturais é dialogar com a natureza. Os fenômenos naturais são fontes permanentes de informação sobre o universo e uma das funções principais do cientista é a de interpretar essas informações. As posições das estrelas constituem uma fonte de informação de que se vale o navegante para localizar-se assim como as sombras dos objetos produzidas pelo sol, podem servir de referência para sabermos a hora do dia.

A simples contemplação desarmada desses fenômenos naturais é insuficiente para confirmar ou refutar a maioria das idéias pré-concebidas do homem sobre o universo. Para que essas idéias sejam confirmadas ou refutadas é muitas vezes necessário que ele intervenha na natureza de modo a aprimorar as informações que dela ele recolhe: é essa intervenção que caracteriza o método experimental. Ao elaborar uma experiência, o pesquisador cria uma configuração espacial do universo ao seu alcance, formando um engenho (de fato, um instrumento) por meio do qual a natureza virá manifestar-se. Da mesma forma que o caçador constroi uma armadilha para aprisionar um animal, o cientista se instrumenta para capturar os vestígios dos fenômenos naturais para depois estudá-los com mais detalhes do que nos fornecem nossos órgãos sensoriais. São exemplos dessas configurações o telescópio ou o microscópio que colocam astros e micróbios ao alcance do nosso discernimento visual, assim como o termômetro ou o barômetro contor

nam as imperfeições e limitações dos órgãos sensoriais, alargando e aprofundando a nossa percepção do mundo.

Mas não é apenas observando fenômenos contemporâneos que se adquire informação sobre o universo. Os astrôfísicos, os geofísicos e os arqueólogos valem-se dos registros anotados pela própria natureza para o conhecimento do passado. A partir de dados sobre o envelhecimento de materiais radioativos, as idades das coisas geológicas e humanas podem ser estabelecidas. Dos traços deixados pela natureza, a geologia de uma região ou a organização social de uma comunidade, podem ser reconstruídas. Mesmo os prosaicos detetives das ficções policiais ou os controversos da realidade de hoje, valem-se de técnicas semelhantes às dos arqueólogos, debruçando-se sobre registros na forma de pegadas, manchas, impressões digitais etc.

O aumento do controle sobre a natureza teve também um desenvolvimento parecido. A introdução, no processo produtivo, de máquinas automáticas, liberadoras de mão de obra cada vez mais qualificada, é uma das características da Revolução Industrial. A natureza informática dessa automação pode ser ressaltada se nos recordarmos que os cartões perfurados, hoje usados como mensageiros das informações fornecidas aos computadores digitais, foram inventados por Jacquard no final do século XVIII e usados para a mecanização das máquinas têxteis. Esse processo de mecanização e despersonalização das habilidades artesanais ainda está em andamento na transformação dos meios produtivos, com reflexos sociais crescentes, principalmente nos países retardatários entre os quais inclui-se o Brasil.

No centro de tudo isso está a informação, manipulada nas mais diversas formas, por engenhos os mais variados: tambores, telégrafos, cameras fotográficas, teares, computadores etc.

"O aumento da capacidade dos meios de comunicação pelo uso de satélites, a redução dos custos de comunicações, a evolução da tecnologia de comunicações digitais e as possibilidades virtualmente infinitas de processar dados digi

tais por meio de computadores, impulsionaram significativamente a tendência de converter para a forma digital, todos os tipos de informações."

"Som, imagem, sinais de detetores ou medidores, são informações que, uma vez convertidas para a forma digital, podem ser processadas indistintamente por computadores, beneficiando-se das possibilidades de conversão, armazenamento e processamento em geral."

"Como decorrência, uma grande fusão tecnológica encontra-se em curso - os canais de comunicação otimizados pela utilização de satélites, fundem-se com os computadores formando um único complexo de processamento da informação" [16]. Os equipamentos de comunicações, registro, aquisição de dados, processamento e controle estão sofrendo hoje, o impacto dessa fusão. Esse impacto demanda pela reformulação dos currículos por meio dos quais são formados aqueles projetistas e usuários dos equipamentos que processam a informação. É por essa razão que propomos aqui as bases conceituais sobre as quais se possa discutir a elaboração de um currículo de Engenharia da Informação.

É dentro dessa conceituação funcional da Engenharia que o problema da tecnologia da informação nos parece melhor enquadrado, isso porque os equipamentos processadores da informação, encontrados hoje no mercado, apesar de sua enorme variedade, apresentam uma grande unidade tecnológica. Pode-se inferir, da observação do quadro 1, que a maioria desses equipamentos constitui uma combinação de quatro tecnologias aqui consideradas fundamentais: a eletrônica, a óptica, a mecânica-fina e a físico-química (os materiais e as suas propriedades).

É de se notar, à luz de suas composições tecnológicas, a considerável proximidade entre os teares e as impressoras de sistemas de computação ou entre as leitoras de fitas de papel e os projetores cinematográficos ou ainda entre as câmeras fotográficas e as máquinas de reprodução xerográfica.

Este trabalho pretende relacionar essa unidade

de tecnológica observada, com a natureza da informação e ba sear nessa relação, o encaminhamento da formação de engenheiros capazes de projetar equipamentos de qualquer espécie para a Informática, sejam aparelhos de telecomunicações como telefones, televisores, condutores ópticos etc, sejam máquinas de registro como arquivos (discos, fitas, microfilmagem), foto e cinematografia, reprografia ou fonografia, sejam instrumentos industriais ou de laboratório como detetores ou sensores, medidores, conversores, atuadores ou sistemas mais complexos de aquisição de dados ou de controle de processos, sejam, ainda, processadores digitais como computadores, calculadoras, controladores ou interfaces.

	ÓPTICA	MECÂNICA-FINA	FÍSICO-QUÍMICA	ELETRÔNICA
Fotografia/Cinema ma Televisão	Objetivas, Filtros, Sistemas de iluminação	Sistemas de focali- zação; Zoom; Obtur- adores; Mecanis- mos de transporte de películas (cine- ma) e de acompanha- mento de imagens.	Vidros ópticos; ma- teriais foto-sen- síveis; materiais eletro-luminescen- tes	Fotometria; Colori- metria; captação, processamento, transmissão e re- cepção de sinais eletromagnéticos
Audio	Cinema Sonoro	Mecanismo de trans- porte de toca-dis- cos e toca-fitas; cápsulas	Materiais magneto- sensíveis e termo- plásticos	Captação; amplifi- cação, reprodução
Xerografia	Objetivas, Siste- mas de iluminação	Mecanismo de trans- porte e posiciona- mento	Material foto-sen- sível; Tintas es- peciais	Controle, contabi- lidade
Imprensa	Construção de ma- trizes	Mecanismo de trans- porte e Impressão	Material foto-sen- sível, papel, tin- tas	Controle, contabi- lidade
Computação	Controle "Compu- ter Output Micro- films; Terminais de video	Periféricos: dis- cos, fitas, impres- soras etc.	Materiais sensí- veis para regis- tro e semiconduto- res para circui- tos	Toda a lógica
Textil	Controle	Teares automáticos	(Irrelevante pa- ra a informática)	Controle

QUADRO 1 - COMPOSIÇÃO TECNOLÓGICA DE ALGUNS MANUFATURADOS

I - ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS - O que é informação ?

Quem observar com cuidado o mundo vivo, cedo ou tarde será perturbado por duas constatações contraditórias: de um lado, a da infinita variedade de estruturas e funções e de outro, a desconcertante evidência de que todas as tentativas de se estabelecerem fronteiras entre essas variedades, sucumbem e denunciam uma insuspeita unidade.

Foi a teoria da evolução e da seleção natural, fundamentada no entendimento dos mecanismos microscópicos da genética que pode trazer a essa nossa visão contraditória da biosfera, um esboço de coerência. Se nos detivermos na análise dessa visão do mundo, vislumbraremos, por detrás dela, como um alicerce invisível, o conceito de informação [14]. Informação constitui uma das primitivas epistemológicas da Nova Biologia: a Genética Molecular usa noções como memória, código, mensagem que são conceitos intimamente ligados ao de informação.

Essa mesma teoria sugere que a propriedade que um ser vivo possui e que o diferencia das coisas inanimadas, é a sua capacidade de processar informações genéticas: todo ser vivo possui um processador de informação genética; nenhum ser inanimado o possui.

Aparentemente, a informação é propriedade exclusiva da biosfera. A nenhuma região do universo inanimado pode-se atribuir informação se não houver entre ela e algum ser vivo, uma relação. A informação ganha importância na Biologia, ainda, na taxionomia: a separação entre os reinos animal e vegetal pode ser estabelecida com base na existência ou não, no ser classificado, de algum processador de informação, além do genético. Tal processador seria o responsável pela "anima" do ser.

Nas comunicações entre os animais, novamente surge a informação. Em especial, nas comunicações de animais superiores, surgem processadores "extra-somáticos" de informação, cuja dinâmica transcende a do indivíduo. Também nesses casos, surgem as mensagens, os códigos, as memórias .

Nas comunidades humanas, tais processadores extra-somáticos de informação tornam-se bastante complexos e secretam a argamassa que mantém coesa uma sociedade: a cultura. São suas expressões, a tradição, o folclore, a arte e principalmente a técnica e a linguagem.

Com a evolução da tecnologia, os processadores extra-somáticos de informação foram se complicando: inicialmente os sistemas de escrita, depois os sistemas de correio; hoje os telefones, televisores, copiadoras, máquinas de escrever e calcular, os computadores, as cameras fotográficas etc. Todas essas são máquinas que destilam a mesma imaterial substância: a informação.

1. Configuração

Uma das tarefas principais da atividade científica é a eliminação dos atributos supérfluos de seus objetos de estudo. A história da Física ilustra quanto tempo e discussões foram necessários para se conseguir diferenciar claramente a quantidade de movimento da energia, a massa inerte do peso ou a quantidade de calor da temperatura{ 3 }. Somente depois de inúmeras revisões críticas e do acúmulo de muitas evidências, as variáveis essenciais dos fenômenos físicos puderam ser identificadas e definidas com o rigor e a clareza necessários para que sobre elas fosse possível a edificação de uma teoria.

À medida que o nosso conhecimento sobre a natureza vai descartando os atributos superfluos, esse conhecimento vai se tornando mais universal, mais abstrato.

A teoria da gravitação de Newton aplica-se a toda sorte de objeto seja ele uma maçã, um astro ou uma maré. Isso é verdade porque todos eles, à luz do fenômeno gravitacional, tem uma mesma propriedade em comum: a massa. Esse fato confere à teoria da gravitação sua generalidade e simplicidade. Um objeto por mais complexo que seja, ao ser estudado no contexto de um fenômeno gravitacional, é despido de

todos os seus atributos supérfluos tais como cor, temperatura ou cheiro e visto como um grave, isto é, uma entidade que possui a massa como único atributo relevante.

A mecânica estuda os fenômenos ligados a matéria e ao movimento e por isso, na dinâmica são definidas duas grandezas ligadas a esses dois atributos fundamentais: a massa que é a medida da quantidade de matéria e o momentum que é a medida da quantidade de movimento.

Ao debruçarmo-nos sobre os fenômenos da informação, devemos ter um propósito semelhante: identificar suas variáveis essenciais. Podemos constatar, nos exemplos examinados que, embora as naturezas e dimensões dos sistemas genético, neuronal ou étnico sejam bastante diversas, em todos eles, a informação manifesta-se de uma mesma forma: por meio de configurações.

Um gene constitui uma das possíveis configurações de nucleotídeos em uma macromolécula; num quadro, os pigmentos de tinta estão heterogeneamente distribuídos na tela, formando uma particular configuração; uma folha de papel datilografada representa uma das inúmeras configurações que as letras podem assumir no papel; os sons podem representar uma informação porque naquela região do espaço onde está localizado o nosso ouvido, a pressão do ar assume uma específica configuração no tempo.

Podemos afirmar então que onde houver informação, há lá alguma coisa que se configura {11}. Entretanto, a recíproca: todo sistema configurável (que se configura) possui informação, não pode ser aceita sem reservas. Por precaução, adotaremos aqui como verdadeira, uma variante desse enunciado: todo sistema configurável é passível de possuir informação.

É com base nesses argumentos que elegemos a configurabilidade como a variável essencial dos fenômenos informáticos. Portanto, ao estudar tais fenômenos, concentramo-nos nos sistemas físicos que se configuram, isto é, sistemas que possuem a propriedade da configurabilidade. Aos sistemas que possuem tal propriedade, damos o nome de siste

mas combinatórios. Dessa forma os genes, os quadros, as folhas por datilografar, os sons, os sinais telefônicos são todos exemplos de sistemas combinatórios. Como regra, podemos afirmar que todos os sistemas que veiculam, processam ou armazenam informação, são sistemas combinatórios.

Como na Mecânica, na teoria da Informação, definem-se grandezas associadas a seus atributos essenciais. Uma dessas grandezas é a entropia que representa uma medida da quantidade de configurabilidade, da mesma forma que a massa mede a quantidade de matéria. Para essa grandeza, a unidade mais usada é o bit.

2. Atributos Semânticos das Configurações

A toda informação está associada, por um lado, uma configuração determinada de um sistema físico e por outro, um significado.

Significado é, portanto, um atributo de uma configuração, também denominada, no contexto desta seção (que é o mesmo da Linguística) de significante.

Nos sistemas genéticos, os atributos semânticos das configurações (se pudermos conceituá-los) são determinados pelas leis naturais: é nesse contexto que se coloca o problema biológico da inter-relação entre forma e função nos seres vivos. Nos seres superiores, as informações manifestam-se tanto por expressões neuronais como extra-somáticas; nesses casos, os atributos semânticos dessas configurações têm muito de arbitrário. Nas linguagens naturais, há vínculos fisiológicos incidindo sobre as configurações fonéticas, de modo que a cada configuração está associado um significado não totalmente desvinculado de seu significante. Isso porque no processamento do significante pelo sistema fono-auditivo, ocorrem sempre efeitos fisiológicos colaterais desencadeados por esse significante.

As gramáticas que regem a formação das frases nas linguagens naturais, refletem em suas regras, de algu

ma forma, a estrutura fisiológica dos mecanismos neuronais de memória e processamento psíquico.

Na linguagem escrita, o significado está mais distanciado ainda da forma específica de seu significante. Nas escritas ideográficas adotadas por alguns povos orientais, onde as representações pictóricas das idéias são evocativas, significante e significado estão bastante acoplados; entretanto, nesses casos, a representação fonética dos vocabulos fica prejudicada.

Podemos inferir, da observação desses exemplos, que à medida que avançamos na escala de complexificação da biosfera, desde o sistema genético até os sistemas artificiais, passando pelos sistemas neuronais, cada vez mais o significado destaca-se do seu significante. No caso limite dos sistemas formais, tais como as linguagens artificiais ou os códigos criptográficos das mensagens secretas, podemos afirmar que significado e significante são independentes: nesse caso, os atributos semânticos do significante passam a ser convencionais. É no contexto desses sistemas artificiais que se coloca o problema do projeto de códigos no âmbito da Engenharia da Informação. Aí, significados são ligados a significantes no momento do projeto, segundo um critério, seja de natureza econômica como se dá no caso do código de Morse, seja para minimizar os efeitos indesejáveis de ruído, como no caso dos códigos redundantes detetores e corretores de erros, seja para preservar o sigilo da informação, nos casos dos códigos criptográficos, seja ainda, nos códigos aritméticos que visam a simplificação dos circuitos que implementam as operações aritméticas nos computadores.

II - ASPECTOS FENOMENOLÓGICOS - A natureza da Informação

As configurações dos sistemas físicos que veiculam informação podem ser distribuições de uma grandeza física no espaço ou no tempo. Nos exemplos citados mais acima, os genes, os textos, os quadros, são distribuições espa

ciais de nucleotídeos ou dos pigmentos de tinta. Por outro lado, os telefonemas ou os sons são grandezas físicas (tensões, pressões) configuradas no tempo. Em matemática as configurações são representadas por funções ou distribuições. Essas configurações nos sistemas de informação, manifestam-se na forma de comunicação ou na forma de memória.

1. Comunicação

O exemplo típico de um processo de comunicação é o da transmissão de uma mensagem sonora. Para compreender como uma mensagem se propaga pelo espaço, podemos observar o que acontece quando cai uma pedra em um lago calmo.

"... em torno do ponto atingido, formam-se pequenos anéis de ondas que, avançando igualmente em todas as direções, expandem-se como círculos crescentes. Como esses anéis de onda, o som se propaga no ar a partir do ponto excitado e avança em todas as direções por onde se estende a massa de ar. O processo que ocorre no ar é essencialmente o mesmo da propagação das ondas na superfície da água. A principal diferença consiste na propagação esférica do som em todas as direções através da atmosfera que preenche todos os espaços circunvizinhos, enquanto que as ondas de água podem somente avançar em anéis ou círculos em sua superfície. As cristas das ondas d'água correspondem, nas ondas sonoras, a camadas esféricas onde o ar é condensado e as depressões, a camadas onde ele é rarefeito. Na superfície livre da água, a massa do líquido, quando comprimida, pode escapar para cima e formar rugas, mas no interior do mar de ar, a massa deve ser condensada pois não há espaço livre para onde ele possa escapar" { 6 }.

Um pedaço de madeira boiando na água balançará com as ondas, reproduzindo em suas oscilações, a perturbação provocada no centro dos anéis de onda. Da mesma forma que um barco joga com as ondas, o tímpano do ouvido acompanha as perturbações do ar, convertendo-as em sensações sonoras.

Nos fenômenos de comunicação, há um emissor das mensagens (as perturbações provocadas pelo choque da pedra) e os receptores, que são representados por qualquer corpo boiando na superfície do lago. Todos esses corpos oscilarao, acompanhando, em instantes diferentes, o compasso das perturbações. É assim que um discurso é percebido por vários ouvidos. Na rádio-difusão, ocorre um fenômeno semelhante; nesse caso, porém, a grandeza física perturbada pela emissora não é percebida diretamente por nenhum de nossos órgãos sensoriais.

Os receptores, por sua vez, são sistemas (equipamentos ou órgãos sensoriais) que convertem configurações temporais da grandeza física que serve de portadora das ondas, em alguma outra grandeza conveniente. O tímpano, por exemplo, transforma as vibrações do ar em impulsos elétricos que são transmitidos, dessa forma, ao sistema nervoso onde são interpretados como sensações sonoras.

A intensidade do sinal emitido no centro de uma onda vai se diluindo à medida que essa onda se propaga pelo espaço, de modo que, quanto mais distante o receptor do emissor, mais fraco se torna o sinal a ser percebido. Torna-se fácil compreender porque isso se dá se nos lembrarmos de que a energia se conserva: se no instante da emissão, toda a energia está concentrada no ponto da emissão; após um certo tempo, essa energia estará distribuída por toda a superfície que forma a frente de onda. No caso das ondas esféricas, a intensidade do sinal decai com o quadrado da distância que separa o emissor do receptor pois a área de uma superfície esférica é proporcional ao quadrado do seu raio. Por meio do uso de conformações geométricas apropriadas junto ao emissor, (antena) a propagação das ondas, originariamente esférica, pode ser dirigida e passar a propagar-se por uma direção preferencial do espaço. Na comunicação oral, a cavidade bucal opera como uma pequena antena emissora assim como a orelha e a câmara timpânica do ouvido operam como antena receptora.

As ondas representam configurações muito especiais de grandezas físicas: quando observadas em um instante

nam essas técnicas. Entre elas encontramos a Fotografia, a Litografia, a Xerografia, a Fonografia etc. Os materiais capazes de memorizar informações são ditos sensíveis: foto-sensíveis, termo-sensíveis, magneto-sensíveis etc.

Nos fenômenos ligados às memórias estão associados dois processos: o da gravação (fixação da configuração) e o da evocação (recuperação da configuração). Para ilustrar esses processos, consideremos a Fonografia. Nos registros fonográficos, um instrumento cortante (uma ferramenta) é posto, por meio de um arranjo geométrico especial, em ressonância com o som que se deseja gravar. Enquanto essa ferramenta vibra, faz-se passar por sua ponta de corte, a superfície de um material mole, movido a uma velocidade tal que as vibrações da ferramenta provoquem sulcos na superfície do material. Esses sulcos terão a forma irregular das oscilações a que é submetida a ferramenta de corte. Uma descrição ilustrada dessa técnica de gravação, conhecida por fononautografia, é dada por Helmholtz {6}. A utilização de um material moldável (usinável) pela ferramenta em lugar de uma película que produz apenas o registro visual da fononautografia, constitui a essência do invento de T.A. Edson e é o que possibilita a reprodução da configuração. No momento da reprodução, o material é movimentado em relação a uma agulha que, ao acompanhar as irregularidades do sulco, vibra da mesma maneira que vibrara a ferramenta no momento da gravação. A vibração da agulha, convenientemente amplificada, poderá ser ouvida. Este segundo processo é o da evocação.

Para estabelecermos, nesse caso, uma relação entre memória e sinal, suponhamos que a região gravada contenha a configuração $\vartheta = \vartheta(x,y,z)$ e é atravessada pelo sensor que por ela se desloca à velocidade $\vec{v} = v(x,y,z,t)$. Podemos concluir que se Ψ é a grandeza-física-efeito no evocador, então:

$$\frac{d\Psi}{dt} = (\text{grad } \vartheta \cdot \vec{v}) \quad (1)$$

do tempo elas assumem a forma de uma configuração espacial e quando observadas em um ponto do espaço, a forma de uma configuração temporal. Da combinação dessas propriedades, decorrem os fenômenos da interferência que, como veremos adiante, desempenham um papel muito importante em tecnologia.

Os fenômenos ondulatórios são muito frequentes ocorrendo na propagação de sinais sonoros em sólidos, líquidos ou gases, na propagação de sinais eletromagnéticos (rádio, luz etc), na propagação de sinais elétricos em meios condutores etc.

A complexidade dos fenômenos ondulatórios e sua importância nos processos de comunicação justificam um estudo aprofundado, por parte do engenheiro da informação, da Física Ondulatória tanto em seu aspecto matemático quanto fenomenológico.

2. Memórias

As memórias são configurações de grandezas físicas que permanecem inalteradas ao longo do tempo. As ondas, como vimos, podem apresentar-se como configurações de uma grandeza física no espaço, porém apenas num instante; no instante seguinte outra configuração substituirá a primeira. Portanto, para que a configuração seja estável no tempo, a grandeza não pode variar. Há diversas grandezas físicas que possuem a propriedade de configurar-se ao longo do espaço e, por algum processo, fixarem a configuração assumida num determinado instante de tempo. Para que isso seja possível, é necessário que a região do espaço onde essa grandeza se configura, esteja preenchida por algum material (meio) com a capacidade de poder assumir, num dado instante, diferentes valores em diferentes pontos do espaço, além de, ao serem submetidas a alguma ação externa, fixarem essa configuração.

Há diversas técnicas por meio das quais configurações podem ser fixadas. Essas técnicas são conhecidas por técnicas de registro, de gravação ou gráficas - daí o sufixo grafia ser de uso generalizado nas palavras que designam

A grandeza $d\Psi/dt$ é equivalente aos solavancos que um passageiro sofre ao ser transportado por um veículo através de uma região de topografia θ , à velocidade v e dá a relação entre a memória θ e o sinal Ψ .

Evocações estocásticas: em um experimento clássico{19}, Shannon construiu uma série de textos (denominada série de aproximações para o inglês), compostos por sequências de letras obtidas por meio da seguinte regra: a primeira sequência da série (aproximação de ordem zero) foi construída por meio de sorteios consecutivos efetuados com uma urna contendo 27 símbolos (26 letras e o espaço entre palavras); na segunda sequência (aproximação de 1a. ordem), números foram sorteados e utilizados para determinar o próximo símbolo da sequência mediante o confronto desse número com uma tabela de frequências de ocorrência dos símbolos, característica da língua inglesa. Na confecção da 3a. sequência, (aproximação de 2a. ordem) o número sorteado é usado para a determinação do próximo símbolo da sequência, mediante seu confronto com uma tabela de frequências de pares de símbolos (digramas). Por meio de processos similares, fazem-se as aproximações superiores.

Uma forma de obterem-se essas tabelas é partir da leitura de textos longos e contar-se o número de ocorrências de cada n-grama, ($n=2,3,\dots$) como num recenseamento. Esse processo de construção de tabelas é a memorização de uma espécie de "transformada de Fourier-discreta" do texto original.

A série de aproximações acima descrita, apresenta um conjunto de propriedades interessante:

- as sequências produzidas a partir de trigramas formam "palavras" pronunciáveis.

- em meio a textos extensos de "palavras" sem sentido produzidos a partir de tetragramas, aparecem fragmentos contendo neologismos com algum significado. Em uma experiência realizada no princípio da década passada, pelo autor e os colegas S.D. Paciornik e W.P. Paula Filho, para a língua portuguesa, obtiveram-se os trechos curiosos como:

"... namora felicilegre a levento ..." e "... meu bau amor de sonhos poeirara ...".

- à medida que se passa dos tetragramas para aproximações superiores, a ocorrência de palavras da língua, torna-se cada vez mais freqüente, o número de neologismos reduz-se até que (no caso do experimento referido) verificou-se que o texto original usado para construir a tabela de frequências, fôra reproduzido totalmente !

Esses textos, produzidos a partir da interação de uma fonte de ruído (números aleatórios) e uma tabela de frequências (espectro de seqüências) constituem um processo de evocação estocástica.

Tais evocações apresentam, simultaneamente, novidade (exemplificada nos textos pela produção de neologismos) e estrutura (manifesta nos textos pela preservação de certas propriedades características da língua, como por exemplo, o comprimento médio das palavras, a pronunciabilidade ou, no caso extremo, a reprodução do texto original).

Às memórias organizadas dessa maneira, justifica-se denominar heurísticas. A escolha desse termo (originário da famosa exclamação de Arquimedes: Heureka !) deve-se ao fato de que as evocações, nesse tipo de memória são, num certo sentido, criadoras.

As memórias heurísticas possuem algumas propriedades interessantes: a) o processo de gravação registra apenas uma espécie de "transformada" resumida da informação original e a memória que a registra pode, portanto ter uma capacidade (configurabilidade) inferior àquela demandada para a gravação da informação original. b) ao processo de evocação está associado um processo de recriação ou invenção, resultante da intervenção do ruído.

As memórias heurísticas servem como um modelo fecundo para a interpretação dos mecanismos psíquicos. Da análise desse modelo, somos tentados a imaginar que a memória psíquica não registra toda a informação veiculada pelos órgãos sensoriais, mas apenas uma sua transformação reduzida .

Uma segunda conclusão decorrente da aceitação desse modelo é a de que a todo processo de lembrança está associado um processo de recriação, isto é, apenas em condições excepcionais, um mesmo episódio memorizado é recordado, em duas ocasiões diferentes, exatamente da mesma maneira.

Além disso, o conceito de representação transformada de uma linguagem parece abrir também um caminho extremamente fecundo para a investigação das linguagens naturais e suas representações cerebrais.

Em resumo, podemos adiantar que todos os processadores de informação são constituídos por um conjunto de processos de comunicação originados, por evocação, de alguma memória e culminando com a gravação em alguma outra memória.

O quadro 2 apresenta as formas de comunicação e memória nos processadores genético, neuronal e extra-somáticos.

SISTEMA	GENÉTICO	NEURONAL	EXTRA-SOMÁTICO
Comunicação	Replicação de DNA Síntese proteica	(sinais) impulsos nervosos	Ondas sonoras/elétricas eletro/magnéticas
Memórias	Configurações de nucleotídeos	?	Magnéticas; Químicas; etc.

Quadro 2

3. Transdutores

No caso da reprodução fonográfica, uma configuração espacial (sulcos no disco) é transformada em uma configuração temporal (vibrações sonoras). No caso geral dos processadores de informação, uma função (configuração temporal ou espacial) é transformada em outra. Como essas funções correspondem à variação de grandezas físicas, é necessário que entre elas haja alguma relação de causa e efeito, isto é, essas grandezas devem estar ligadas entre si, por meio

das leis da Física. Ao vínculo natural existente entre essas grandezas, damos o nome de Transdutor. Assim, uma agulha de reprodução fonográfica, por estabelecer uma relação entre a função do espaço (gravação fonográfica no disco) e a função do tempo (vibrações sonoras), é um transdutor. Também é um transdutor a ferramenta que grava os sinais no meio material.

Na reprodução fonográfica, a relação entre a função-causa e a função-efeito é simples: nessa técnica procura-se preservar a função e substituir seus argumentos. Assim, se s é a distância percorrida pela agulha em seu movimento em relação ao disco e $f(s)$, o sinal gravado, como a velocidade relativa entre agulha e disco, v , é constante, temos $s=vt$, portanto, vemos que a vibração da agulha acompanhará as irregularidades do sulco de acordo com a função do tempo $f(vt)$. Se a velocidade de reprodução for a mesma usada no processo de gravação, o sinal no tempo, será essencialmente idêntico àquele captado pela ferramenta, durante a gravação. Imaginemos agora, o movimento relativo de um anel condutor e uma tira magneto-sensível. Ao longo da superfície dessa tira, o campo magnético ϕ estará heterogeneamente distribuído, de acordo com a função $\phi(x)$ que representa uma possível informação gravada. Ao colocarmos essa tira em movimento em relação ao anel condutor, nesse anel surgirá uma corrente induzida i que, de acordo com as leis da Eletrodinâmica, será dada pela relação $i = d\phi/dt$. Essa relação é a mesma da identidade (1).

Esse transdutor associará à função $\phi(x)$ uma função i , que (se for constante a velocidade relativa entre o anel e a fita) será proporcional não à própria função ϕ , mas à sua derivada espacial, isto é, $\text{grad } \phi$.

Esses dois exemplos são suficientes para ilustrar o caso geral, onde a uma função-causa, está associada a uma função-efeito por meio de um transdutor. Em Matemática dá-se o nome de OPERADOR à regra (transdutor) que faz associar a uma função, uma outra função. A noção de operador em Matemática é, em linhas gerais, a mesma de função. Porém, aquelas entidades que no estudo das funções constituem as variáveis independente e dependente, no estudo dos operadores, são substituídas por funções independente e dependente (causa e efeito).

Os operadores podem ser: atrasadores quando a um sinal está associada uma sua réplica atrasada no tempo; diferenciadores quando a um sinal, associa-se sua derivada; proporcionais quando a um sinal associa-se uma sua réplica com outra amplitude; integradores quando a um sinal, associa-se a sua primitiva (integral) etc.

Os transdutores são sistemas físicos (arranjos materiais) que produzem sobre as grandezas físicas, os mesmos efeitos que os operadores matemáticos produzem sobre as funções que representam essas grandezas. Por essa razão, os transdutores são espécies de operadores naturais que em Física são conhecidos por efeitos. Os efeitos são determinados pelas propriedades da matéria: um transdutor proporcional como a balança de ponteiro pode ser construído porque há materiais que podem ser moldados na forma de molas, de modo que, quando uma força é aplicada sobre eles, obtêm-se como efeito, sua deformação; a gravação magnetográfica é possível graças aos materiais magneto-sensíveis que são suscetíveis de orientarem-se sob a ação de campos magnéticos; uma porção de gás estabelece uma relação entre pressão e temperatura etc.

Os efeitos podem ser classificados em função das características matemáticas das funções que a eles se aplicam ou em função da natureza física dessas funções.

3.1) Natureza Matemática dos Transdutores: Operadores

As grandezas físicas sobre as quais operam os transdutores podem ser contínuas ou discretas. Com base nessas características, podemos classificar os transdutores em:

a) Transdutores contínuos ou analógicos: são aqueles em que tanto a função-causa quanto a função-efeito, são grandezas contínuas. Dentro dessa categoria estão os transdutores proporcionais, os integradores, diferenciadores e atrasadores, encontrados em controle automático e também usados em computação analógica; as objetivas ópticas, os prismas, os filtros, os componentes eletrônicos como o transistor, o diodo, etc.

No estudo de um grande número de transdutores contínuos, utilizam-se as técnicas derivadas do cálculo opera-

cional como a análise harmônica, em particular a resposta desses transdutores a funções elementares: sinais harmônicos (senoidais); degrau unitário e impulso unitário. Muitas vezes esses transdutores são tratados por métodos operacionais, sob o nome de funções de transferência. De fato, a descrição matemática mais completa da estrutura e do comportamento dos operadores que existe até o momento é aquela fornecida pelas técnicas do Cálculo Operacional. A complexidade de muitos efeitos só é captada, em toda a sua plenitude por meio dos métodos operacionais, como testemunha o depoimento abaixo, relativo ao efeito Cherenkov [13]:

"Quando um eletrão se move em um meio com uma velocidade superior à de certo valor característico do meio, são irradiadas ondas eletromagnéticas de alta frequência, isto é, ondas luminosas, em um cone atrás deles. Essas ondas de luz são denominadas radiação Cherenkov. A natureza matemática do efeito depende das características de operadores ordenados. O método operacional torna possível encontrar um efeito semelhante (matemático) para uma larga classe de equações pseudo-diferenciais e, em particular, esquemas de diferença (incluindo sistemas de equações de um cristal)".

b) Transdutores discretos: são aqueles em que a função-causa e função-efeito são ambas discretas. No caso mais comum, seus domínios são conjuntos finitos, como ocorre no caso dos circuitos digitais, onde esses transdutores são conhecidos por portas lógicas. O estudo dos transdutores discretos é feito por técnicas algébricas, dentre as quais a Álgebra de Boole é a mais popular. Para o estudo de transdutores discretos não-binários são necessários recursos matemáticos mais poderosos do que a Álgebra de Boole tais como a teoria dos Grupos, dos números, da análise combinatória entre outros, que constituem o corpo de disciplinas hoje enfeixadas no que se convencionou denominar Matemática Discreta [20]. Também aí o cálculo operacional é útil.

c) Transdutores híbridos: são aqueles em que uma das funções é contínua e a outra, discreta. São representados pelos conversores analógico-digitais ou pelos conversores digital-analógicos. Embora a análise matemática desses

transdutores não tenha recebido contribuições significativas até o presente, sua importância crescente no processo de digitalização da informação em andamento na tecnologia de hoje, de verá provocar, em futuro próximo, o desenvolvimento de técnicas especiais para seu estudo e projeto.

d) Transdutores múltiplos: na confecção de sistemas mais complexos em que, além da simples transformação da informação, seja necessário também o seu processamento, são de mandados transdutores mais intrincados. Esses transdutores são representados, matematicamente, por operadores atuando sobre duas ou mais funções-causa.

Sistemas ópticos são exemplos de transdutores que operam sobre duas funções independentes (x,y) e são hoje projetados e analisados por meio de métodos operacionais, de forma muito semelhante àquela usada no estudo de sistemas lineares {9} (funções de transferência, transformada de Fourier referente a frequências espaciais etc).

e) Transdutores encadeados: muitas vezes é desejável relacionarem-se duas grandezas físicas A e B por meio de um transdutor. É possível, porém, que por dificuldades tecnológicas ou impossibilidades físicas, não seja possível conseguir-se um efeito que relaciona A e B na forma desejável (conversão direta). O artifício encontrado para se contornar essa dificuldade é o de se buscar uma grandeza física intermediária X, tal que, seja possível o encadeamento de dois transdutores: um que converta A em X e outro que converta X em B. Esse expediente pode ser generalizado, de modo que duas grandezas sejam relacionadas através de um encadeamento de diversos transdutores.

f) Transdutores realimentados: dentre os arranjos de transdutores encadeados, merecem especial atenção aqueles em que se dá a retroação (realimentação). O exemplo mais simples é ilustrado pelo encadeamento de dois transdutores, como no caso anterior, em que a grandeza B coincide com a grandeza A. Nesse caso a grandeza A comporta-se tanto como função-causa quanto função-efeito e por isso, o conceito de causa e efeito perde o sentido. Surge então, um sistema de grandezas interatuantes que são tratados matematicamente pelos métodos

desenvolvimentos para sistemas dinâmicos dos quais os mais poderosos são os oriundos da Mecânica Analítica {4} ou aqueles desenvolvidos para o estudo dos Sistemas Termodinâmicos fora do Equilíbrio {18}.

Alguns desses arranjos comportam-se de tal forma que as grandezas físicas neles envolvidas tendem a valores de equilíbrio, que são dependentes apenas das condições iniciais do transdutor. Diz-se que esses arranjos possuem a propriedade de histerese e são utilizados na confecção de memórias. O exemplo mais simples desse tipo de memória é o "flip-flop".

Um estudo unificado dos operadores discretos, híbridos ou contínuos deverá ser de grande valia para os engenheiros da informação que poderão vir a integrar, com proveito, os resultados obtidos em cada um dos domínios discreto ou contínuo. É possível que um pequeno investimento no formalismo e na notação do Cálculo Operacional seja necessário para que esse estudo unificado possa ser incluído em um currículo. Não obstante, o formalismo usado nessa unificação não deve ser nem opaco, a ponto de tornar imperceptível a natureza física dos efeitos que descrevem, nem impregnadas de um excesso de rigor que poderia esterilizar, em lugar de estimular, a principal habilidade que se quer desenvolver nos estudantes, que é a inventividade e o engenho.

3.2) Natureza Física dos Transdutores : Efeitos

A variedade das grandezas físicas existentes na natureza é ilimitada. Podemos porém, agrupá-las em categorias de grandezas de uso mais frequente nos equipamentos de processamento da informação, a saber, as grandezas ópticas (intensidade, frequência, etc) as eletrônicas (correntes, tensões campos elétricos e magnéticos etc), as físico-químicas (concentração, temperatura, densidade, etc) as mecânicas (velocidade, aceleração, pressão, massa, frequência de oscilação, intensidade de de força, deslocamentos, etc).

Dado que na natureza as relações entre as grandezas físicas dão-se através de efeitos, qualquer processador será, de fato, um encadeamento de efeitos. O quadro 3 apresenta o conjunto de efeitos que relacionam as grandezas físicas entre si, fornecendo assim, um panorama extensivo da Física dos Efeitos.

	ÓPTICA	ELETRÔNICA	FISICO-QUÍMICA	MECÂNICA
ÓPTICA	Absorção, refração, reflexão, dispersão, difração.	Efeito fotoelétrico	Efeitos fotoquímicos	Efeito Compton
ELETRÔNICA	Luminescência catódica, efeitos opto-eletrônicos	Túnel, diodo transistor, etc.	Efeitos eletrocinéticos	Efeitos piezoelétrico eletromagnéticos. Corona
FISICO QUÍMICOS	Lasers químicos, reações exotérmicas, luminescentes, termoluminescência, etc	Efeitos termoiônico, eletrocinéticos	Difusão, dissolução, termo-osmose, termo-plasticidade	Efeitos termométricos, fenômenos musculares
MECANICOS	Triboluminescência, foto-elastividade	Efeitos piezoelétrico; eletromagnéticos	Efeitos termodinâmicos, plasticidade de	Alavanca, plano inclinado, ressonância, Doppler, Bernoulli, Coanda etc.

Quadro 3

4. Relação dos Efeitos Físicos de Ocorrência mais Frequente em Equipamentos Processadores da Informação

Dentre os efeitos físicos apresentados no panorama da Física de Efeitos do Quadro 3, procuramos apresentar a baixo, os encontrados com maior frequência, nos equipamentos de processamento da informação.

a) Efeitos Ópticos - São largamente usados em equipamentos processadores de informação: binóculos, telescópios, objetivas de câmeras fotográficas e cinematográficas, microscópios, sistemas de projeção, espelhos, prismas, sistemas de iluminação, sistemas de comunicação por meio de condutores ópticos etc. Os efeitos de refração são explorados na confecção de lentes e prismas; os de reflexão na construção de espelhos e na maioria das técnicas gráficas: folhas de papel escritas por qualquer processo, quadros etc; os efeitos de absorção da luz são explorados na construção de filtros cromáticos e é graças a esses efeitos que as imagens tornam-se visíveis nas películas negativas ou positivas foto, cine ou radiográficas; a dispersão constitui a base da análise espectroscópica de substâncias. Graças aos efeitos de interferência ondulatória, técnicas como a holografia ou das medidas interferométricas podem ser exploradas. A vastidão das aplicações técnicas dos efeitos ópticos torna impossível esgotarmos sua lista em um trabalho como este.

b) Efeitos foto-elétricos - Dentre o conjunto dos efeitos foto-elétricos, os mais importantes para uso tecnológico são os observados nas células fotocondutivas e nas células fotovoltaicas. Eles são principalmente usados para fins de controle e medidas de intensidade luminosa (fotômetros).

Sua utilização como detetor em portas de elevador é muito comum; são também utilizados em linhas de produção para controle de qualidade; na reprodução de som em filmes cinematográficos; nos sistemas de produção de imagem das câmeras de televisão, nas estações receptoras dos sistemas de comunicação ópticos (comunicação por fibras ópticas) etc.

c) Efeitos foto-químicos - Constituem o princípio utilizado em fotografia, cinematografia, radiografia, na construção de circuitos impressos e integrados, na construção de matrizes de imprensa etc.

d) Efeitos eletro-ópticos - Sua utilização é vasta e crescente em tecnologia na forma de díodos emissores de luz, cristais líquidos, lasers, películas eletro-luminescentes dos tubos de raios catódicos etc.

e) Efeitos eletrônicos - Dentre os efeitos eletrônicos incluem-se todos aqueles resultantes das interações dos campos elétrico e magnético com a matéria (meios materiais). Eles formam a base de construção de todos os circuitos eletrônicos que, por serem sobejamente conhecidos, dispensam comentários neste texto.

f) Efeitos eletro-químicos - Dentre esses efeitos, os mais importantes para a engenharia da informação são aqueles conhecidos como efeitos eletrocinéticos. Os efeitos eletroforéticos são utilizados na análise de misturas complexas, como por exemplo nos exames de sangue ou vacina, onde são combinados com efeitos foto-elétricos ou foto-químicos. O efeito eletro-osmótico poderá vir a ser utilizado na confecção de sistemas gráficos. Os efeitos magneto-químicos são usados nas técnicas de gravação magnética encontradas nos gravadores de som, vi-

deo-tapes, discos magnéticos etc. O efeito Corona é usado em alto-falantes. Os efeitos de ionização são utilizados em fontes de íons de aceleradores de partículas.

g) Efeitos eletro-mecânicos - São usados extensivamente: o efeito piezoelétrico é utilizado no controle de frequência de osciladores, na conversão de sinais elétricos em sonoros, nas impressoras por jatos de tinta etc; o efeito eletromagnético sobre materiais magnéticos é também utilizado na construção de solenóides posicionadores ou chaveadores ou ainda na construção de alto-falantes. O efeito de campos magnéticos sobre correntes é usado em motores e em espectrógrafos de massa.

h) Efeitos químico-ópticos - Correspondem a variações nas propriedades ópticas em consequência de transformações químicas ou físicas de uma substância. São os efeitos luminosos das reações de combustão (qualquer reação química exotérmica produz radiações na faixa de frequências do infra-vermelho) ou nas reações luminescentes. Estas últimas constituem recurso de comunicações de alguns animais. A variação das propriedades ópticas em função de outras propriedades da substância é a base dos processos de análise físico-química por colorimetria, refratometria, polarimetria, nefelometria (dispersão da luz), ou ainda na espectroscopia{10}. O efeito de termoluminescência é usado pelos arqueólogos na datação de cerâmicas e por laboratoristas como medidores de exposição à radiação.

i) Efeitos químico-eletrônicos - Além dos efeitos inversos daqueles eletro-químicos, tais como o efeito Dorn (potencial de sedimentação) ou o efeito oposto ao eletro-osmótico (o potencial de escoamento), existem os efeitos eletro-químicos de membranas celulares, responsáveis pela geração e propaga

ção de impulsos elétricos no sistema nervoso. O efeito termoiônico constitui o princípio de funcionamento das válvulas eletrônicas.

j) Efeitos físico-químicos - Incluem a reatividade seletiva de materiais foto-sensibilizados, como ocorre nos processos de revelação de filmes, os efeitos de capilaridade e difusão seletiva, este último usado nas técnicas cromatográficas, bem como nas técnicas de fixação de tintas em superfícies porosas.

k) Efeitos químico-mecânicos - São basicamente os efeitos termodinâmicos, tais como o termoplástico, o termosmótico ou ainda o termométrico (variação de volume em função da temperatura) utilizado nos termômetros de bulbo e de gás. São importantes os efeitos de conversão de energia química em energia mecânica que ocorrem nos músculos.

l) Efeitos mecânico-ópticos - São encontrados na forma de triboluminescência e de fotoelasticidade, este último muito utilizado na análise de estruturas.

m) Efeitos mecânico-eletrônicos - São os fenômenos inversos dos efeitos eletro-mecânicos. O efeito piezoelétrico é usado, neste sentido, em cápsulas de reprodução fonográfica ou em microfones; são também utilizados em medidores de esforços ("strain-gages") etc. Da mesma forma os efeitos eletro-magnéticos são usados em aplicações semelhantes (cápsulas, microfones etc).

n) Efeitos mecânico-químicos - Correspondem à alteração permanente ou transitória das propriedades físico-químicas de uma substância quando submetida a esforços. São classificados nesta categoria os fenômenos plásticos e poderi-

am ser incluídos nela, os processos de usinagem e moldagem, se encarados como processos microscópicos. Além desses, são efeitos mecânico-físicoquímicos, a variação das propriedades termodinâmicas reversíveis quando da variação de seu volume.

o) Efeitos mecânicos - São aqueles usados na construção de mecanismos como os de alavanca e plano inclinado que permitem a confecção de engrenagens, camos etc. Além desses, incluem-se entre os fenômenos mecânicos, os acústicos tais como ressonância, efeito Doppler, bem como os efeitos de escoamento de fluidos: efeito Bernoulli, cavitação, efeito Coanda (este, utilizado em processadores fluídicos), efeito de aríete etc.

Os efeitos mecânicos são usados na confecção de mecanismos processadores de informação, onde são conhecidos como dispositivos de mecânica-fina, tais como máquinas de escrever, calcular, obturadores ou mecanismos de transporte de máquinas foto e cinematográficas, máquinas de imprensa, periféricos de computadores (impressoras, leitoras de fita magnética e de cartões, unidades de disco magnético), toca-discos, toca-fitas além de todo o equipamento utilizado na indústria têxtil.

É desejável, portanto, que um engenheiro dedicado ao projeto e construção de transdutores ou processadores da informação, seja uma antena, uma objetiva, um mecanismo ou um instrumento de medida, tenha um conhecimento o mais extensivo e intensivo possível sobre os efeitos por meio dos quais as grandezas físicas se relacionam entre si. Para isso é necessário o conhecimento das propriedades da matéria, dos modelos físico-matemáticos e explicação dos efeitos usados, dos métodos e instrumentos de medidas etc. Esse conjunto de conhecimentos

pode ser fornecido em um currículo, através de um curso de Física de Efeitos que procuraria fazer uma apresentação uniforme dos efeitos acima ilustrados e de seus usos em equipamentos e instrumentos. Os modelos matemáticos dos efeitos deveriam ser submetidos, na medida do possível, a uma descrição em termos de Cálculo Operacional, visando essa descrição, preservar ao máximo, a unidade formal sugerida para a descrição de transdutores (discretos, contínuos ou híbridos). Material para a elaboração de textos para esse curso são abundantes: os próprios livros-texto onde os efeitos estão discutidos além de periódicos como o "Review of Scientific Instruments" ou o "Nuclear Instruments and Methods" que apresentam uma quantidade inesgotável de exemplos. Além disso, a maior parte dos efeitos ópticos está discutido em textos de Eletrônica Quântica [22].

O quadro 4 relaciona as entidades que surgem na informática, com suas correspondentes representações matemáticas e realização física. Esse quadro deve estar permanente na elaboração de um currículo.

INFORMÁTICA	REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA	REALIZAÇÃO FÍSICA
Sinal, informação, configuração.	Função Distribuição Variável	Distribuição de grandezas físicas no espaço e no tempo
Transdutor	Operador	Efeito físico

Quadro 4

1. Materiais

Na confecção de dispositivos baseados em efeitos, surge o problema de adequá-los aos objetivos pré-estabelecidos tais como conseguir precisão, linearidade, o realce do efeito principal (sensibilidade), a atenuação dos efeitos colaterais (reprodutibilidade), a redução do tempo de resposta (frequência de operação), exatidão etc. Para isso, o engenheiro dispõe de alguns recursos: escolher os materiais mais apropriados e desenhar a geometria mais adequada.

A escolha do material ou combinação de materiais depende do conhecimento de suas propriedades. Na confecção de objetivas, por exemplo, é necessária a escolha de meios ópticos cujas propriedades sejam bem conhecidas, tais como índice de refração, a sua variação em função do comprimento de onda da luz para que aberrações sejam corrigidas; na confecção de termômetros, o conhecimento das relações termodinâmicas do fluido termométrico é essencial e assim por diante.

O levantamento exaustivo das propriedades dos materiais os mais diversos, está em andamento em laboratórios por toda parte do mundo. Não obstante, há projetos de dispositivos que demandam o levantamento de dados relativos a materiais novos (misturas, ligas, soluções) ou a propriedades características de fenômenos pouco estudados.

Os livros-texto modernos de Físico-Química, como por exemplo, o texto de Moore {15}, cobre, razoavelmente o domínio das Ciências dos Materiais que deve tornar-se razoavelmente familiar no engenheiro da informação. Entretanto, tex-

tos antigos de Físico-Química, como por exemplo, o livro de medidas físico-químicas de W.Ostwald (17) são também preciosos pelo espírito experimentador que deles emana e que está, infelizmente, cada vez mais ausente dos textos de hoje.

2. Geometrias

Muitos efeitos são descritos por equações diferenciais parciais, como é o caso dos efeitos eletromagnéticos, de difusão, fotoelasticidade, piezoelétricos, etc. Tais efeitos são, por conseguinte, dependentes da geometria dos dispositivos que os implementa, dado que são geométricas as condições de contorno associadas às equações diferenciais parciais. Há efeitos cuja descrição é puramente geométrica como ocorre com a refração ou a reflexão e portanto a geometria de prismas lentes e espelhos é determinante.

3. Processos

A construção dos dispositivos projetados depende, finalmente, dos processos por meio dos quais são obtidos o material e a geometria. Para a obtenção dos materiais demanda-se por toda a Química. Para os processos de conformação geométrica, são necessárias técnicas de usinagem, polimento, desbaste, corrosão fotoquímica etc.

Embora os conhecimentos sobre obtenção de materiais e conformação geométricas sejam considerados, no âmbito da Engenharia da Informação, recursos infra-estruturais, os engenheiros dessa modalidade devem ter, sobre esses processos,

uma noção operacional que os torne capazes de obter materiais e conformá-los, mesmo que grosseiramente, para a execução de experiências e verificação de hipóteses.

IV - ASPECTOS FISIOLÓGICOS - A percepção da informação

Muitos equipamentos de processamento da informação como o telefone, o televisor, os projetores cinematográficos, os equipamentos de som, instrumentos como o microscópio, telescópio etc, devem interagir diretamente com o homem. Para que haja acoplamento de informações entre o homem e a máquina esta deve ser projetada levando-se em conta as características dos órgãos sensoriais.

As técnicas de fotografia ou de televisão a cores só foi possível porque seus inventores conheciam os mecanismos de percepção das cores pela visão.

Esse mecanismo é extremamente complexo e só começou a ser compreendido a partir dos experimentos de Newton sobre a refração da luz e das cores primárias. O espectro visível e seu efeito sobre a visão foram estudados intensamente desde então. Sem uma compreensão desses efeitos sobre a visão, particularmente daqueles efeitos essencialmente fisiológicos de adição e subtração de cores, a produção mecânica de imagens coloridas (fotografia, televisão) não seria possível.

Os fenômenos fisiológicos de persistência da sensação são, também, muito importantes. Na visão isso se dá quando uma certa região da retina é estimulada periodicamente, em sucessão rápida, por um estímulo luminoso regularmente in-

termitente. Nesse caso, a sensação de brilho resultante é contínua e igual à impressão que seria provocada por um estímulo de luz agindo uniformemente, com a mesma intensidade total, durante o mesmo período de tempo { 21}. Esse efeito de persistência da imagem na retina foi descoberto em 1834 por Talbot (um dos inventores da fotografia). Constitui o princípio de funcionamento do cinema: nos filmes cinematográficos a sensação de movimento é conseguida graças a apresentação à vista de uma sucessão rápida e regularmente intermitente, de instantâneos fotográficos. Princípio semelhante é usado em televisão.

É conhecida a influência que o conhecimento sobre os sistemas visuais dos animais exerceu e ainda exerce sobre o projeto de sistemas ópticos, seja no que diz respeito a objetivas, seja a organização binocular para fins telemétricos e efeitos tridimensionais. A observação do sistema de orientação dos morcegos conduziu à invenção do radar. O equipamento de processamento da informação existente nos animais continua sendo fonte de inspiração para a solução de problemas tecnologico tais como reconhecimento automático de assinaturas (ou de padrões em geral, tais como rostos, impressões digitais etc). O sentido de direção das aves migradoras é também tema de reflexão de projetistas e inventores. Olhar o mundo vivo como fonte de inspiração para resolver problemas de engenharia, tem sido prática constante na história da tecnologia e é a proposta dos adeptos e divulgadores da Biônica, isto é, "a arte de a

plicar o conhecimento sobre os seres vivos para resolver problemas técnicos" { 5 } .

V - ASPECTOS ETOLÓGICOS - Informação na Biosfera

A Biosfera pode servir não apenas como fonte de inspiração para os projetos de engenharia, mas também como fonte não convencional de informação sobre a própria natureza. Exemplos da utilização de seres vivos como detetores não são raros. Cachorros farejadores são utilizados para a localização de foragidos ou desaparecidos; cavaleiros perdidos dependem do sentido de direção dos seus cavalos para se reencontrarem. Os chineses confiam na observação do comportamento dos animais para se precaverem contra terremotos. Sabe-se que na amazônia há uma variedade de formigas que constroem seus formigueiros nos troncos das árvores e que, na iminência de uma enchente, os transladam para cima, de modo a estarem a salvo das águas; sabe-se também que os ratos silvestres adotam um comportamento de debandada em situações semelhantes. As formigas, por exemplo, parecem viver em um mundo de formas olorosas como o homem vive em um mundo de luzes, sombras e formas coloridas. A traça macho pode localizar a fêmea, mesmo a dois quilômetros de distância. Como o macho pode detetar o gradiente de concentração da substância olorosa em busca da fêmea, a tal distância ? {7}

Uma reflexão mais cuidadosa sobre esses exemplos leva-nos a crer que a variedade de tais detetores naturais (bio-detetores ou bio-instrumentos) seja muito grande. A Biosfera

é um sistema complexo com inúmeras relações de interdependência, mais ou menos como se observa num organismo vivo. Por força dessa analogia, é-se tentado a imaginar que, da mesma forma que um médico faz o diagnóstico de uma doença baseado no exame de sintomas (muitas vezes sutis), um naturalista experimentado seja capaz de, observando o comportamento de animais (sintomas), prever terremotos ou enchentes.

Da mesma forma que no organismo, o íntimo acoplamento de seus constituintes, mantém ativo no ecossistema, um intenso fluxo de informação. O estudo de um ecossistema pode, em princípio, graças a existência desse fluxo, ser avaliado a partir da observação e interpretação cuidadosas dos sinais escondidos nos comportamentos dos animais nele atuantes. Foi a íntima relação entre o ecossistema e o estado geológico da região que possibilitou aos chineses, a detecção de terremotos pela observação do comportamento dos animais. Da mesma forma, é a íntima dependência do estado do ecossistema para com o estado meteorológico que possibilita ao índio da amazônia, a previsão de enchentes.

O conjunto dos exemplos acima poderia ser alargado extraordinariamente por meio do envolvimento com a engenharia da informação de pesquisadores experimentados em estudar a cultura e a biosfera, para analisar e avaliar os inúmeros registros de outros desses exemplos acumulados em nossa cultura. A riqueza da fauna e da flora dos nossos ecossistemas faz suspeitar da existência de um manancial gigantesco de bio-detetores em nosso território. Como cada variedade animal representa um instrumento em potencial, de detecção ou de medida, essa riqueza será tanto maior quanto melhor for preservada a variedade animal.

Além das funções acima descritas, cabe ao engenheiro de informação, auxiliado por outros especialistas como antropólogos ou zoólogos, a prospecção de bio-detetores, sua análise, sua calibração, sua compreensão (se possível) e até mesmo a elaboração de técnicas de cultura para a instalação de estações de bio-deteção, como pode acontecer no caso de dados meteorológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Bell, D.: "Communications Technology - for better or for worse" - Harvard Business Review - May-June-1979 (p.20).
- (2) Bernal, J.D.: "The Extension of Man" - Paladin - 1973.
- (3) de Broglie, L.: "Physique et Microphysique" - Ed. Albin-Michel-Paris- 1947.
- (4) Gantmacher, F.: "Lectures in Analytical Mechanics" - MIR Moscou - 1970.
- (5) Gerardin, L.: "Bionics" - McGraw-Hill - 1968.
- (6) Helmholtz, H.: "On the sensations of tone" - Dover - 1954.
- (7) Hess, E.H.: "Animal Behaviour" in Enc. Britannica - 1961.
- (8) Lehman, H.: "As Civilizações pré Colombianas" - Difusão Européia do Livro - 1965.
- (9) Lugt, A.V.: "Coherent Optical Processing" - Proc. IEEE. vol 62 nº 10 Oct 1974.
- (10) Lyalikov, Yu.: "Physicochemical Analysis" - MIR - Moscou - 1968.
- (11) Mammana, C.Z.: "Dos dedos aos dados - Evolução das idéias do processamento da informação" - Dados e Idéias - vol 1 nº 2 Out-Nov 1975.
- (12) Marco Polo: "The Travels" - Penguin Books 1967.
- (13) Maslov, V.P.: "Operational Methods" - MIR - Moscou - 1976.
- (14) Monod, J.L.: "A propósito da teoria molecular da evolução" in Harré, R. (org.): "Problemas da Revolução Científica" EDUSP-ITATIAIA - 1976.
- (15) Moore, W.J.: "Físico-Química" - EDUSP - Ed. Edgard Blücher 1976.
- (16) 9º SECOMU: "A Digitalização da Informação" - "folder" de divulgação - 1979.
- (17) Ostwald, W. & Luther: "Misure Chimico-Fisiche" Ulrico Hoepli-Milano - 1930.

- (18) Prigogine, I. : "Introduction a la Thermodynamique des Processus Irréversibles" Dunod - Paris - 1968
- (19) Shannon, C.E. & Weaver, W.: "The Mathematical Theory of Communication" The Univ. of Illinois Press - 1969.
- (20) Silva F9, J.G.: "Sistemas lógicos não binários" - Fund. Univ. Brasília (relatório interno) 1980.
- (21) Southall, J.P.C.: "Physiological Optics" Dover - 1961.
- (22) Tarassov, L.: "Bases Physiques de l'Electronique Quantique" MIR - Moscou - 1979.