

Informação, Ciência, Política Científica: O Pensamento de Derek de Solla Price

Gilda Maria Braga
Instituto Brasileiro de Bibliografia e Documentação
Escola de Biblioteconomia e Documentação da
FEFIEG

Derek de Solla Price, Ph. D. em Física, Ph. D. em História da Ciência, *Avalon Professor* de História da Ciência da Universidade de Yale — que criou para ele o Department of History of Science and Medicine — Consultor da National Science Foundation, Vice-Presidente do International Council for Science Policy Studies, detentor de inúmeros títulos e prêmios científicos em âmbitos nacional e internacional, autor de mais de 300 livros e artigos, é sem dúvida alguma, um dos melhores exemplos da eficácia do chamado *Matthew Effect in Science*. Dois, dentre seus livros, são considerados clássicos da literatura: *Science Since Babylon*, traduzido em árabe, polonês e urdu foi recebido pela crítica em termos de "excelentes observações e fatos curiosos ... abundantes em um livro leve, delicioso e curioso"; *Little Science, Big Science* — "leitura compulsória para todo cientista", segundo a revista *Nature* — foi editado também em *paperback* e traduzido em russo, italiano, polonês, japonês, alemão, romeno, francês e espanhol. Suas pesquisas são tão importantes quanto diversificadas: descobriu o único manuscrito sobre Astronomia do poeta inglês Geoffrey Chaucer; estabeleceu a relação entre os relógios d'água chineses e os medievais europeus; analisou e interpretou o complexo e sofisticado mecanismo de *Antikythera*, um calendário astronômico descoberto em 1901 e construído aproximadamente em 80 AC.; estudou o comportamento e as redes de citações bibliográficas, dando nova dimensão a esses estudos bibliométricos; descreveu a natureza da Ciência, da comunicação e da produtividade científica, através de leis internacionalmente aceitas: Frente de Pesquisa, Colégios Invisíveis, Crescimento Exponencial, Elitismo etc.; estabeleceu fundamentos para a política científica e tecnológica que têm sido largamente utilizados por vários países. Em 1964, após prestar depoimento no Congresso

Norte Americano, ao *Pucinshi Committee*, sobre a criação de um centro nacional de informações, Derek de Solla Price resumiu, em sete itens, problemas fundamentais da ciência e, da informação científica: precisamos de mais pesquisas sobre a natureza e a função da informação; mais pesquisas são necessárias, antes que esquemas de indexação mecanizada possam ser desenvolvidos em grande escala, para enfrentar os problemas da recuperação da informação; as informações que sejam ou possam ser de natureza taxonômica devem ser centralizadas e processadas mecanicamente; a informação tecnológica, não-taxonômica e não-cumulativa, requer tratamento específico e diferente para ser adequadamente processada ou centralizada; os meios de comunicação informal, predominantes na Frente de Pesquisa, necessitam de auxílio através da formação de novos Colégios Invisíveis; mais comunicação formal, para uso da Frente de Pesquisa, vem sendo aperfeiçoada pelos índices de citações, cuja utilização deve ser francamente estimulada; seria muito oportuno o lançamento de um jornal científico, diário, para facilitar o intercâmbio de informações entre os crescentes subcampos especializados da atividade científica e tecnológica.

A CIÊNCIA COMO CIÊNCIA

A Ciência da Ciência é bem mais vasta que o termo que a designa, abrangendo várias Ciências da Ciência e talvez várias Humanidades da Ciência. Há uma tendência generalizada para conceituar a nova disciplina como um conjunto de conhecimentos explorados em duas direções verticais: de cima para baixo e de baixo para cima. A partir de cima, pelos administradores e especialistas em política científica, preocupados em fundamentar suas decisões em bases sólidas; a partir de baixo,

por todos os que, segundo análises históricas, características sociológicas e psicológicas de usuários e produtores da informação e parâmetros semelhantes, procuram obter uma imagem real de como a Ciência e cientistas atuam em várias circunstâncias. Entre os dois pólos situam-se economistas e especialistas diversos, lidando com dados estatísticos, objetivando encontrar as bases teóricas desse conjunto de conhecimentos.

Durante longos anos a Ciência progrediu sem consciência de si mesma, envolvida em uma espécie de misticismo cultivado pelos próprios cientistas; um exame das últimas décadas demonstra, no entanto, que a Ciência tornou-se uma força produtiva da sociedade, provocando a necessidade de conhecer-se como deveria ser ela administrada e fortalecida para os objetivos dessa sociedade. Paradoxalmente, a maior resistência a esta nova disciplina é exercida pelos próprios cientistas, arraigados à idéia de que apenas cientistas são capazes de criticar o estado da Ciência, aconselhar instituições e universidades, traçar linhas de ação para laboratórios de pesquisas e academias. Isto, apesar de a Arte contar com críticos de renome que jamais pintaram, desenharam ou compuseram; analogamente, um excelente professor de Economia não é geralmente um industrial bem sucedido. Saliendo, com fino humor, que *practice doesn't make expertise*, Solla Price sugere que talvez os cientistas devessem ser alertados para o fato de que nem mesmo a mãe mais prolífica poderia ser qualificada como boa ginecologista em função apenas daquela virtude. A Ciência requer especialistas adequadamente treinados para entendê-la e dirigi-la; tornou-se importante demais para ser deixada por conta dos cientistas, demasiadamente ocupados em fazer Ciência.

Evidentemente tais opiniões provocaram protestos em diferentes revistas, a vários níveis, rapidamente encerrados com uma única pergunta: quanto, na realidade, o cientista sabe sobre a Ciência como um todo, baseado em seu treinamento e experiência? A Ciência da Ciência é uma disciplina de segunda ordem, mas de primeira importância, e vem gradualmente impondo-se como tal: em 1841 foi criada a primeira *Historical Society of Science*, por James Orchard Halliwell; o primeiro periódico, Ms. iniciado por George Sarton, em 1913, tornou-se em 1924, o órgão oficial de divulgação da *History of Science Society*. Os primeiros congressos internacionais de História da Ciência foram realizados em Paris — 1926 — e Londres — 1931. A primeira guerra mundial acelerou mudanças de pontos de vista: com a expansão da Física Nuclear e a organização da *Big Science* como problema nacional, a batalha pelo planejamento da Ciência ganhou novas dimensões. Os historiadores da Ciência (incluindo Bernal) adquiriram um novo status, não porque a Ciência poderia tornar-se importante

fator a nível internacional, mas porque já *era* importante.

O reconhecimento da Ciência como poderosa força motivadora da civilização, afetando suas estruturas intelectuais, econômicas e políticas, trouxe a necessidade de analisar e compreender sua natureza. E há não apenas um, mas vários meios e métodos para tanto. A História e a Filosofia da Ciência constituem domínios em expansão da Sociologia da Ciência e das relações entre Ciência e Governo; igualmente emergem núcleos do conhecimento sobre Psicologia dos Cientistas e Economia da Ciência. Estes ramos de estudo derivam, logicamente, das respectivas áreas correlatas, mais abrangentes: a História da Ciência é uma subdisciplina da História; os Sociólogos da Ciência graduam-se em Sociologia. A consequência imediata desse processo é que um grande número dos que analisam a Ciência sob estes pontos de vista estão profissional e intelectualmente dentro dos campos afins da História, Filosofia, Sociologia, Psicologia, Economia, Política etc. — são espectadores "externos", que, após breve incursão no novo campo, retornam geralmente às respectivas áreas. Apenas a História e a Filosofia da Ciência evoluíram o suficiente para tornarem-se autônomas, adotando técnicas específicas e formando um corpo coeso, com características próprias.

Apesar desse aspecto geral fragmentário, numerosos indícios mostram a tendência dessas disciplinas para formar um todo coerente, maior que a soma das partes.

Embora os nomes repetidos tenham caído de moda desde os tempos de Galileo Galilei, a repetição deliberada — Ciência da Ciência * — serve para lembrar-nos que a Ciência deve arcar com toda a responsabilidade decorrente deste duplo significado, em ambos os contextos. Os neologismos *Cientografia* (Scientography) *Cientosofia* (Scientosophy) soam inexpressivos; *Cientologia* (Scientology) designa um culto inteiramente alheio ao assunto.

É interessante ressaltar a diferença entre a emergente Ciência da Ciência e o correlato grupo de disciplinas que poderia ser denominado "Humanidades da Ciência", i. e., a análise da Ciência através de processos humanísticos. A diferença consiste da possibilidade de encarar os fenômenos da Ciência através de uma abordagem científica — implicando uma análise racional e a formação de um conjunto crescente de conhecimentos. Evidentemente, tais conhecimentos constituíram uma base para estudos humanísticos, fundamentados em processos científicos. Curiosamente, embora vários cientistas tenham se tornado líderes da História e da Filosofia da Ciência (incluindo áreas correlatas), seus conhecimentos têm sido utilizados sob

* Utilizada pela primeira vez em 1935, por Maria e Stanislaw Ossowski

um aspecto internalista; existem muito poucos estudos sobre os métodos, hábitos, motivações do trabalho científico etc., feitos em bases científicas. Embora as Humanidades da Ciência tenham atraído um número crescente de especialistas nos últimos 35 anos, raros aceitaram o desafio de analisar a Ciência "cientificamente".

A Ciência da Ciência — como qualquer outra disciplina — entrará em colapso se não for abordada adequadamente, com o objetivo de adquirir conhecimentos que capacitem nossa compreensão do processo como um todo. As esperanças de encontrar-se uma fórmula pronta para a organização da Ciência em escala nacional são tão poucas quanto as de encontrar-se a fórmula ideal para o próprio progresso científico. Mas há uma chance de compreendermos melhor fenômenos tais como as relações Homem-Ciência, Ciência-Ciência, Ciência-Tecnologia, e quanto maior for nossa compreensão destes fenômenos, mais capazes estaremos para solucionar problemas e contornarmos crises. Similarmente à Economia, que tomou-se valioso instrumento de auxílio para decisões governamentais, sendo ao mesmo tempo uma disciplina acadêmica, a Ciência da Ciência é a arma poderosa, que atuando naquelas duas esferas, poderá fornecer os meios necessários para a avaliação e a análise do mundo da Ciência.

NATUREZA DA CIÊNCIA: LEI DO CRESCIMENTO EXPONENCIAL

Em 1941, alertando para o futuro da pesquisa científica, Solla Price colocou os problemas do crescimento da Ciência em termos de *tese* — o crescente conhecimento humano — *antítese* — a especialização ou fragmentação, que retarda este crescimento, e *síntese* — problema em aberto ao final do artigo, com um ponto de interrogação.

O primeiro de seus estudos sobre crescimento exponencial foi apresentado ao 6º Congresso Internacional de História da Ciência, Amsterdam, 1950. Aplicado às literaturas de Física e de Teoria de Determinantes e Matrizes, demonstra que o crescimento de áreas gerais é totalmente exponencial, enquanto que o de subáreas, após uma fase exponencial, transforma-se em linear. O fator exponencial em ambas as áreas faz com que a literatura dobre de volume aproximadamente a cada 10-15 anos — sendo pouco afetado por pressões externas, tais como guerras e súbitas descobertas científicas. A lei do crescimento exponencial é um tema frequente na obra de Solla Price, como um sinal de alerta para enfrentarmos o problema antes que seja tarde demais. Seus diversos estudos evidenciam que as unidades de medidas podem variar: estatísticas nacionais de recursos humanos, de profissionais registrados nas respectivas associações,

análises de alunos graduados em faculdades e outros estabelecimentos de ensino, despesas anuais com atividades científicas e tecnológicas, publicações científicas, número de referências em bibliografias especializadas etc., levando sempre à três conclusões fundamentais:

1 — Todas as curvas de crescimento, quaisquer que sejam os parâmetros utilizados, têm, aproximadamente, o mesmo padrão.

2 — A curva é sempre exponencial (com precisão surpreendente).

3 — A constante obtida causa um efeito de *dobro* em um intervalo de 10-15 anos. § A primeira conclusão parece indicar que os dados corroboram efetivamente, por diferentes processos, o mesmo fenômeno geral, podendo ser utilizado *qualquer dos conjuntos* mencionados acima para medir o "tamanho" da Ciência.

A segunda conclusão apenas confirma o que descobrimos intuitivamente: o desenvolvimento de quase todos os organismos tende a ser diretamente relacionado às respectivas magnitudes; quanto maiores se tornam, mais rapidamente se expandem. Este aumento exponencial governa, também, o tamanho da Ciência. Desde 1700 (ou mesmo antes), desde a Revolução Científica e os tempos de Newton, a Ciência vem aumentando dessa maneira. Em outras palavras, é preciso ter em mente que o índice *normal* do crescimento científico — no passado e no presente — conduz a uma *duplicação* após alguns anos. Qualquer estimativa baseada em um crescimento linear subestima a realidade.

A última conclusão — o valor numérico da constante do tempo — é talvez a mais significativa. O período de 10-15 anos que caracteriza a expansão científica é consideravelmente menor do que o correspondente a uma geração (aproximadamente 25-30 anos) e menor ainda que outros crescimentos exponenciais associados a outras atividades humanas: *o número de poetas, compositores, políticos etc., dobra de tamanho no período de 50 anos — mas neste mesmo período a Ciência dobra no mínimo 3 vezes, isto é, multiplica-se por 8. De maneira geral, o número de cientistas e documentos científicos decuplica-se no mesmo período de tempo em que a população mundial dobra. A Ciência é o produto de crescimento mais rápido de nossa civilização, e por mais três séculos vem explodindo com incrível impacto: estão vivos atualmente os cientistas produzidos nos últimos 45 anos, ou seja, o tempo correspondente a 3 ou 4 períodos de dobros. Para cada cientista que viveu anteriormente a esses, existe um produzido pelo primeiro período, de dobro, dois produzidos pelo segundo período, quatro pelo terceiro, e talvez oito pelo quarto — percentualmente, cerca de 90% de todos os cientistas que já existiram estão vivos atualmente. Isto significa que a maioria dos cientistas de hoje são jovens, e que a maior parte das descobertas é feita,*

portanto, por jovens.

É importante enfatizar que essas observações baseiam-se no caráter exponencial do crescimento, isoladamente, e são tão válidas para os dias de hoje como para um ou dois séculos passados. Se a Ciência está atravessando uma nova condição ou crise, esta crise está correlacionada, de alguma forma, com o fato de que o *tamanho* dos elementos envolvidos tornou-se quase tão grande quanto seria possível. As dificuldades atuais são causadas mais pela *desaceleração do crescimento exponencial* do que pelo crescimento contínuo.

Reduções em crescimentos exponenciais existem em diferentes formas matemáticas; na maioria dos casos, há uma relação direta entre a maneira pela qual o processo é iniciado e o período de tempo necessário para desacelerar e atingir o ponto crítico — onde as características do processo alteram-se à medida em que se aproximam do ponto de saturação. O período de redução é, via de regra, *três vezes maior que o período de duplicação da fase exponencial*. Desta forma, se a Ciência já iniciou uma nova etapa de crescimento logístico haverá um período de 30-45 anos entre o começo do novo processo e o ponto crítico.

Os problemas da *Big Science* — basicamente recursos humanos e literatura — apareceram durante a Segunda Guerra Mundial, mas devido à situação então existente passaram, de certa forma, despercebidos. Na próxima ou próximas décadas, estaremos atingindo o final dos 300 anos de revolução científica e industrial; após uma adolescência prolongada, precisamos planejar a nova fase de maturidade científica — e compreender os fenômenos que designamos por *Ciência e Tecnologia*.

A Ciência é essencialmente diversa de toda e qualquer atividade do homem; possui vida e ordem próprias, intransigente às vontades humanas, impermeável a nacionalismos e enquadramentos filosóficos, alheia aos desejos e temores da sociedade, sensível somente, em perspectiva mínima, a acidentes fortuitos e gênios criativos, reagindo apenas local e temporariamente a grandes estímulos de apoio — positivos ou negativos.

Existe um único mundo a ser descoberto e explorado — a Ciência é um enorme quebra-cabeças, onde há uma única forma correta de justapor seus diferentes elementos — os frutos da árvore do conhecimento devem ser colhidos um a um, no devido tempo. É bem conhecida sua característica supranacional: Budapeste e Delhi, Moscou e Boston produzem a mesma Física, embora produzam diferentes gêneros de Música, correntes filosóficas, conceitos políticos e econômicos. Algumas anomalias temporárias podem ser detectadas na Frente de Pesquisa, quando, por exemplo, *newtonianos* e *cartesianos* entram em choque ou ainda quando uma escola segue Lysenko — mas no processo geral, ou faz-se Ciência da única forma adequada ou

não se faz coisa alguma.

Há uma grande sensação de impersonalidade em relação às leis científicas, embora elas abranjam nosso único mundo. Se Crick e Newton não houvessem existido, seus trabalhos teriam sido feitos por outros; se Plank não houvesse descoberto a constante que tem o seu nome, ainda assim teríamos a mesma constante, batizada apenas de outra forma. Nas outras atividades humanas não existe esta lei simplificadora: se Beethoven não houvesse existido, teríamos perdido uma contribuição única, e a Música poderia ter seguido rumos inteiramente diversos, e se Cleopatra tivesse tido um nariz comprido ou os japoneses desenvolvido uma bomba atômica, o curso da História teria sido, talvez, diferente.

A Ciência parece ser tão fortemente ordenada em sua objetividade que há poucas chances de podermos decidir o que deverá ser feito no futuro, ainda que imediato. Qualquer previsão é impossível, e embora possa haver certa importância de ordem local e nacional em decidir-se que determinada lei é devida a Boyle ou Hooke ou Marriotte, ou em assinalar-se prioridades a descobertas, a poderosa lei geral da Ciência é pouco ou nada afetada por tais ocorrências.

Seguindo uma distribuição similar às de Pareto, dividida em "milionários e pobres", em um processo altamente competitivo, a organização científica é altamente estruturada e cumulativa; seus diferentes *pedaços* são fortemente inter-relacionados, formando um todo coerente. Esta distribuição entre "milionário e pobres" causa enormes efeitos a âmbito nacional: dotada de uma linguagem única e universal, a Ciência propagou-se vertiginosamente, provocando, em alguns casos, um superdesenvolvimento. Como resultado, oscilações nacionais já são detectadas: os Estados Unidos e a Rússia possuem, atualmente, apenas a metade da estatura científica que teriam na ausência desta saturação; os países pequenos ("pobres") estão crescendo muito mais rapidamente. Embora as grandes nações ainda desenvolvam-se, em termos absolutos, sofrem um declínio acelerado, em termos relativos. O processo é análogo ao sistema de votação na ONU, onde um conjunto de pequenos países pode superar, por maioria absoluta, uma grande potência. Precisamos conscientizar-nos de que a Ciência é uma tarefa internacional, crescendo em escala internacional; há uma impossibilidade cada vez maior de apenas as grandes potências participarem de sua organização. *Talvez a primeira grande advertência deva ser dirigida aos países menos desenvolvidos, para que se esforcem e procurem, por todos os meios, integrar realmente o ensino universitário com a educação primária e secundária; principalmente que deixem de lado os livros didáticos em línguas estrangeiras e produzam textos decentes e adequados, em seus próprios idiomas.*

Sempre batalhamos contra o nacionalismo científico, mas atualmente pode ser uma boa estratégia inverter as regras da batalha.

Grande parte dos problemas enfrentados é devida a uma simples confusão (mas de trágicas consequências) entre Ciência e Tecnologia. Acreditamos saber o que estes termos significam, e inferimos que eles inter-relacionam-se de maneira simples. Supostamente, a função da Ciência — pura ou aplicada — é entender a natureza das coisas; aplicando-se esta Ciência obtemos Tecnologia — desenvolvida à vontade para moldar a natureza aos desejos do homem. De acordo com esse modelo, parece claro que todos os benefícios que desejamos provêm da Ciência, sendo apenas necessária uma certa habilidade para aplicarmos os conhecimentos que possuímos. Deixando de lado essas concepções demasiadamente errôneas e simplistas, é possível estudar, objetivamente, o que significa separar a Ciência da Tecnologia, compará-las, contrastá-las e determinar suas inter-relações. Concentremos portanto a atenção na *pesquisa*, o limite extremo da criatividade, onde coisas novas estão acontecendo. Se conseguimos analisar como funcionam a Ciência e a Tecnologia a este nível, é relativamente fácil compreendermos o processo dos acontecimentos subjacentes à Frente de Pesquisa — *relativamente*, porque há muito mais especialistas atuando atrás da Frente de Pesquisa do que na Frente propriamente dita.

As atividades científicas e tecnológicas são as de maior teor competitivo, e a competição para atingir o alto é enorme e extremamente dispendiosa, pois a maioria não o consegue. Não há evidentemente, padrões absolutos de realização criativa. Um problema é difícil porque poucos são capazes de resolvê-lo; se grande número de pessoas atinam com a solução, a dificuldade desaparece. Em outras palavras, usa-se o termo *excelência*, nesta área, para definir alguém que é único entre milhares, e *gênio* é aquele único entre milhões. Contrariamente à crença popular, não é a curiosidade natural ou a esperança de realizar algo de bom que motiva mais fortemente os pesquisadores; vários estudos já demonstraram que a competição — o prazer de chegar primeiro, antes de qualquer outro constitui, na realidade, o mais forte e poderoso incentivo.

Exatamente neste aspecto — o reconhecimento da realização criativa — aparece um dos mais importantes e curiosos contrastes entre Ciência e Tecnologia. Na Ciência, o vencedor é o primeiro que publica sua descoberta; através da publicação, o especialista reivindica seus direitos de propriedade intelectual. Paradoxalmente, quanto maior a divulgação escrita maior é a segurança dos direitos de propriedade. O processo tecnológico é inteiramente diverso: uma invenção deve ser patenteada e protegida contra a espionagem industrial; pre-

cisa ser fabricada e vendida antes que algum concorrente possa copiá-la ou lançar um produto similar. A propriedade intelectual é então assegurada através do silêncio e de zelosa proteção ao invento — e isto acontece em países capitalistas e mesmo socialistas, onde invenções constituem propriedade nacional, e não particular.

A Tecnologia é uma espécie de propriedade arbitrária da civilização, ao passo que a Ciência é mais uma ordem da natureza do que uma propriedade de nossas mentes.

Os produtos científicos e tecnológicos também podem ser utilizados para definir modalidades de pesquisa. Se uma investigação resulta em novo conhecimento, algo que deve ser publicado abertamente para reivindicação de prioridade, então esta pesquisa é de natureza científica. Se, por outro lado, a investigação conduz a novo mecanismo, objeto ou processo — algo a ser vendido e comprado, então a pesquisa é de natureza tecnológica. Sob o ponto de vista do material assimilado pelos dois tipos de especialistas, para gerar novos conhecimentos e objetos, há também diferentes processos. O cientista consome os resultados previamente divulgados na literatura; seu aumento básico é o documento escrito. O tecnólogo — restrito a um sistema onde o silêncio é fator preponderante — não dispõe praticamente de literatura; suas informações são obtidas, via de regra, através de anúncios de novos processos e objetos. Encaradas sob esse prisma, pode-se dizer que a Ciência é *papirocêntrica*, e a Tecnologia, *papirófóbica*.

A Ciência, como já foi dito, é uma espécie de quebra-cabeças sempre crescente: onde quer que haja um conjunto de conhecimentos, periodicamente aumentados, nova Ciência é produzida. Velhos conhecimentos geram novos, de forma exponencial. De tempos em tempos o sistema científico é acrescido de algumas subdivisões, mas o processo geral segue um ritmo inalterável, mesmo em períodos de guerra e pobreza, sem aceleração extra em períodos de necessidade. Estranhamente o homem pode influir muito pouco para apressar ou retardar a criação do conhecimento científico ou orientá-lo em determinada direção.

A Tecnologia cresce de maneira análoga. É evidente, para qualquer historiador da Tecnologia, que quase todas as inovações prévias do que de qualquer novo conhecimento científico.

Ciência gera nova Ciência, e Tecnologia gera nova Tecnologia. Ambas formam pirâmides similares, com crescimentos exponenciais paralelos — a inter-relação existente processa-se a nível educacional. Embora não haja prova definitiva de que a Ciência é diretamente aplicada para fabricar a Tecnologia que precisamos, parece óbvio que sem tradição científica não é possível desenvolvimento tecnológico.

Todas as sociedades têm que ter Ciência — pouca ou muita, querendo ou não — uma vez que esta é a base primordial de nossa civilização. Cada país despende aproximadamente 1% em Ciência.

Quase todas as nações seguem as regras do jogo — ou então são alijadas do processo. O sistema tecnológico é diferente: os países desenvolvidos gastam o *quádruplo* em Tecnologia — para cada cientista, há quatro tecnólogos. Em Tecnologia, respeitados os limites máximos, pode-se comprar o que se quiser. Em Ciência tem-se que comprar — um pouco mais, um pouco menos — o que as circunstâncias determinam, em qualidade e em quantidade. Quanto mais cuidadoso e planejado for o investimento de um país em ambas as áreas, mais satisfatórios serão os resultados na competição internacional, onde vencem apenas os melhores.

INFORMAÇÃO, PARÂMETRO DA CIÊNCIA

Em seus vários estudos sobre a Ciência da Ciência, Solla Price tem destacado a importância da informação — formal e informal.

Em 1956 demonstrou que as medidas da Ciência levam a um mesmo tipo de curva exponencial, qualquer que seja o parâmetro, inclusive a informação registrada.

Definindo Ciência como o que é publicado em periódicos científicos, relatórios e documentos escritos de diversas naturezas — isto é, tudo o que é compreendido pela Literatura, derivou o conceito de cientista como aquele que já publicou um documento científico. Partindo desta premissa genérica, o conceito pode introduzir qualificações mais restritivas, como, por exemplo, aquele que publicou, nos últimos dois anos, ao menos um artigo em um periódico internacional.

Toda a moderna literatura científica originou-se da correspondência trocada entre personalidades como Henry Oldenburg e Mersenne, da então incipiente Royal Society of London. Na realidade, pode-se recuar ainda mais, uma vez que Arquimedes e Ptolomeu, à semelhança de outros autores clássicos, registraram seus tratados em forma de cartas a amigos. Este hábito perdurou durante toda a Idade Média: o trabalho de Peter Peregrinus sobre o ímã, por exemplo, foi enviado em forma de carta a um colega de Paris, e inicialmente foi escrito em um acampamento militar. Os mecanismos sociais da Ciência evoluíram, mas encontram-se ainda no mesmo estado de crise dos últimos séculos. Qualquer crise moderna é apenas uma a mais em longa série. Aqueles que falam em "explosão da informação" esquecem-se de que, mesmo nos tempos de Faraday e Franklin, *metade da literatura então publicada havia aparecido nos quinze anos precedentes*.

Deve haver soluções e novos métodos, mas parece totalmente irreal esperarmos que alguma mágica possa tirar-nos da atual confusão.

Os problemas serão mais dificilmente identificados se tratados apenas sob o aspecto da comunicação ou mesmo sob o único ponto de vista de levar a informação certa à pessoa adequada. A informação científica envolve mais do que problemas de literatura e de bibliotecas. O *documento não é uma unidade estática de comunicação, a ser armazenado e recuperado*; é uma parte mutável da estrutura social da Ciência, produzido em um conjunto de circunstâncias, utilizado em outro,

A correspondência entre Arquimedes e Dositheos, Ptolomeu e Ciro, Peter Peregrinus e Sygerius de Foncaucourt, era, para ambas as partes, a única forma tradicional de publicação. Quando Newton escreveu ao editor do *Philosophical Transactions* e correspondeu-se abertamente com seus colegas, o processo já havia sofrido alterações radicais. Em meados do século 18, o periódico estava em franca ascensão, e o livro começava a declinar na Frente de Pesquisa, sendo transformado em um mecanismo parcialmente novo, destinado a condensar o conhecimento já solidificado. No século 19 o artigo havia se tornado uma instituição, e formava o átomo da comunicação científica profissional; no final do século proliferavam as notas de rodapé e citações — pouco usadas anteriormente — e predominava também a linguagem impessoal, sob o pretexto de preservar a Ciência da subjetividade.

O aparecimento sistemático das primeiras bibliografias analíticas sofreu forte oposição daqueles que argumentavam que se Deus houvesse desejado que existissem resumos, então não teria permitido que artigos fossem publicados em seus textos integrais. Mas as bibliografias analíticas e outras formas bibliográficas sobreviveram, ditadas pela própria necessidade de controlar a informação — e em meados do século 20 cogitamos se, de alguma forma, os computadores podem fazer pelas formas bibliográficas o que estas fizeram pelos artigos científicos, e talvez o que os artigos científicos fizeram pelos livros, e estes pela correspondência. É importante ressaltar que a cada etapa os métodos antigos foram preservados, embora novos progressos técnicos hajam modificado gradualmente todo o sistema, produzindo novas forças e reações. Embora o conhecimento não-científico disponha, também, de uma estrutura, é a Ciência que — sob a pressão de um crescimento exponencial e efeito acumulativo — dá origem a novos sistemas. Devido a este motivo, é errôneo deduzir que a literatura científica é apenas um outro aspecto dos problemas gerais da literatura e das bibliotecas, divergindo apenas no que se refere ao conteúdo. A Ciência tem uma estrutura própria e única, responsável não só pela força e rapidez de crescimento — mas também pelo status da moderna ciência, tão valorizada pela sociedade que chega até a controlar os poderes políticos e econômicos das nações.

Qual é esta estrutura especial, e como conseguiu a Ciência moldar um processo e um sistema de comunicações para servir a seus objetivos? Para que serve um artigo científico? Porque é escrito? Porque é lido? Há alguns anos atrás o artigo era simplesmente igualado à comunicação científica. Sabemos, atualmente, graças a Menzel, Garvey e Griffiths, que se nos referimos à comunicação utilizada pelos pesquisadores e que serve-lhes de fonte de dados, então 80% desta comunicação provém de outros pesquisadores, através de canais informais: conversas, conferências, seminários, cartas, e outros tentáculos do Colégio Invisível. Assim como 80% da comunicação não provém do artigo científico, 80% do valor e função do artigo está fora da área da comunicação. *O documento e a comunicação sobrepõem-se em apenas 20%*. Um documento quando publicado e aceito — mesmo parcialmente — torna-se parte integrante da Frente de Pesquisas, e eventualmente será incorporado ao conjunto de conhecimentos contidos nos livros. Um artigo é muitas vezes escrito para assegurar a prioridade de uma descoberta: compelido, pelo sistema, a publicar, o cientista procura todos os meios que facilitem essa divulgação, ainda que sacrificando a eficiência da comunicação. A rentabilidade de rapidez de divulgação na Frente de Pesquisa é tão grande que os mecanismos formais de disseminação tornaram-se limitados, forçando o uso de outros meios para acelerar este processo entre os membros do Colégio Invisível. Paralelamente aos problemas da informação científica, surgiu, no último século, o sistema social da publicação tecnológica. Basicamente o tecnólogo é muito mais motivado para ler do que para escrever; no entanto, ainda não se conseguiu descobrir totalmente o que ele deseja ler, nem porque o enorme volume de literatura existente não é satisfatório. Provavelmente o que o tecnólogo precisa não é a tradicional literatura científica. A todo instante ele defronta-se com problemas do tipo: "pode o alumínio ou suas ligas serem usados em fermentos de cerveja?" "Que esteróides atuam desta e daquela maneira, sem envolver tais reações?" Respostas a perguntas similares são encontradas em um banco de dados; não constituem o tipo de material contido em artigos científicos nem concentrado em livros de texto. Infelizmente um enorme esforço intelectual é necessário a fim de planejar um sistema para ordenar esses dados. Por outro lado, quando tais sistemas já existem ou podem ser planejados, o uso do computador facilita a manipulação de grande volume de dados. As previsões que podem ser feitas nos permitem esperar que os computadores obtenham um razoável sucesso com os bancos de dados — principal instrumento de resposta aos problemas do tecnólogo.

Os pontos cruciais da informação científica ainda são os da literatura formal, que constitui a memória científica do homem. Uma das soluções seria encarmos a documentação da Frente de Pesquisa como de utilidade temporária, a ser posta de lado, da mesma forma que o jornal diário, preservada apenas em algumas grandes bibliotecas para o benefício da História. Nestas circunstâncias ainda necessitaríamos de um veículo para registrar pesquisas de real valor e para atender objetivos diversos: reivindicação de prioridades; informação para os que necessitam chegar à Frente de Pesquisa e serem capazes de contribuir para o sistema; disseminação do conhecimento acumulado, parte integrante da cultura e da Tecnologia. Para atingir essas finalidades necessitamos de um veículo contendo apenas informação de real valor, constituindo um tipo de memória tão pequeno que não necessite de um computador para ser manipulado. Caminhamos gradualmente nesta direção, a medida que vão aparecendo alguns periódicos de alto nível, em âmbito cada vez mais internacional. Esta espécie de periódico precisa ser encorajada, uma vez que levará ao desaparecimento grande número de revistas que satisfazem apenas as necessidades de publicar, mas não as de ler. Periódicos que podem cessar, devem fazê-lo; periódicos locais devem tornar-se nacionais, se suficientemente importantes, e os nacionais devem incorporar-se aos internacionais. Uma política restritiva deve ser adotada quanto à ética de trabalhos em colaboração e à citação adequada da literatura formal e informal. Talvez possamos utilizar a análise de rede de citações da Frente de Pesquisas para selecionar, dentre os periódicos importantes, um superperiódico — a divulgação de um artigo em tal revista seria uma grande distinção, bem mais freqüente que um prêmio Nobel, mas bem mais rara que a afiliação a uma sociedade profissional.

As Pesquisas» Bibliométricas

Em fevereiro de 1974, durante uma conferência na Drexel University, Solla Price sugeriu meios de eliminar alguns problemas da informação através de pesquisas bibliométricas.

A Bibliometria pode parecer uma espécie de contagem rotineira, utilizada pelos bibliotecários a fim de calcular quantos profissionais são necessários para atender a determinado fluxo de leitores. Apesar de incluir tais aspectos de utilidade prática, a Bibliometria tem base mais formais, sofisticadas e estruturadas — e tem produzido resultados da maior importância filosófica — sendo, um dos últimos, algo parecido ao passe de mágica necessário para tirar um coelho de um chapéu. Especificamente, Solla Price referia-se ao trabalho desenvolvido por Belver Griffith e Henry Small,

que procuraram e conseguiram, pela primeira vez, descobrir a estrutura natural emergente dos artigos científicos, à medida que vão sendo acrescidos de acumulações diárias. A importância dessa pesquisa é fundamental: utilizando a base de dados do Science Citation Index e um processo de *co-citações*, Griffith e Small descobriram que é possível fracionar toda a literatura científica em unidades-átomo do conhecimento e em seguida estruturá-la dinamicamente em classes e grupos hierárquicos, segundo um tipo de classificação taxonômica — até agora o único meio de indexar e recuperar a informação de maneira satisfatória.

Para generalizar estatísticas empíricas através de conceitos teóricos, a Bibliometria examina, primeiramente, as relações entre diferentes variáveis: recursos humanos-documentos, artigos-periódicos, produção-consumo etc., que apresentam diversas regularidades de distribuição. O número de artigos que originam n -Citações, o número de instituições produzindo anualmente n doutorados, o número de autores com n artigos, o número de revistas contendo n artigos — constituem exemplos do mesmo tipo de distribuição.

Cada Uma destas distribuições — log-normal, exponencial, hiperbólica, inversamente proporcional etc. — é influenciada por um efeito remoto, o *Matthew Effect*: "Unto him who hath hardly at all, is taken away completely". Como exemplo da força deste efeito, pode-se notar que a maioria das revistas que publicam apenas um ou dois fascículos tendem a desaparecer; autores que escrevem apenas um ou dois trabalhos tendem a não escrever mais. Devido ao *Matthew Effect*, a Ciência tem uma grande taxa de mortalidade infantil. O índice de crescimento, 7% ao ano, é uma combinação das taxas de natalidade, 17%, e de mortalidade - 10%.

Em todos os fenômenos analisados — no tempo e na frequência — as distribuições bibliométricas correspondem à formulação matemática do *Matthew Effect*, análogo à lei de Weber-Fechner, base da Psicologia Experimental: em se tratando, por exemplo, da produtividade de autores, há o mesmo grau de dificuldade em passar do primeiro para o segundo artigo do que em passar do segundo para o quarto, ou do décimo para o vigésimo. O aumento constante da dificuldade corresponde a um constante aumento proporcional, expresso numericamente: a dificuldade total é medida pelo logaritmo do número de documentos.

As distribuições bibliométricas baseiam-se premissa de que os logaritmos dos números totais de autores, citações, periódicos, artigos etc., dão a medida (tamanho) do núcleo da população total.

As Redes de Citações Bibliométricas

Networks of scientific papers explodiu na Ciência da Informação com o impacto de uma bomba

atômica. O subtítulo mesmo do artigo dá uma idéia de sua importância: *o padrão das referências (citações) bibliográficas indica a natureza da Frente de Pesquisa científica*. Ainda hoje, dez anos após ser publicado, é um dos artigos mais citados — em frequência e incidência — em quase todos os campos da Sociologia da Ciência.

A pesquisa, patrocinada pela National Science Foundation, foi primeiramente apresentada no Symposium on Statistical Methods for Mechanized Documentation, 1964; a base de dados foi extraída do Science Citation Index.

Analisando a natureza de toda a rede internacional de artigos científicos. Solla Pries não só evidenciou as relações existentes entre documentos-documentos, documentos-citações e citações-citações, mas também demonstrou leis que governam o mecanismo da informação científica, abrindo horizontes inteiramente novos às pesquisas bibliométricas. Há, em média, 15 citações em um artigo, embora a distribuição seja desigual: o número de artigos com n citações é proporcional a $1/n^2$. Sendo de 7% o crescimento anual da literatura, há, para cada conjunto de 100 documentos previamente publicados, 7 novos documentos a cada ano; considerando-se que em cada um dos novos documentos há ~ 15 citações, verifica-se que, ao curso de toda a literatura, cada artigo publicado é citado, em média, uma vez ao ano. Tal estimativa pode levar a conclusões apressadas e interpretações errôneas. É preciso considerar que o número de trabalhos citantes cresce também exponencialmente, dobrando a cada ~ 10 anos. Assim, a razão citações/documentos citantes reduz-se à metade a cada 10 anos; desta forma, o fato de cada artigo ser citado ao menos uma vez ao ano, é devido à igualdade aproximada dos índices de crescimento e de obsolescimento da literatura.

Embora o total de citações eleva ser igual ao total de artigos, as distribuições diferem largamente. Em um dado ano, 35% de todos os documentos existentes não são citados, e 49% são apenas uma vez ($n = 1$). Para grandes valores de n , o número de citações decresce à razão de $n^{2.5}$ ou n^3 ; o número de artigos muito citados é bem menor do que o de artigos contendo muitas citações. Há um certo paralelismo entre os 5% dos artigos contendo muitas citações (25 ou mais) e os 4% dos artigos considerados "clássicos", citados 4 ou mais vezes ao ano.

O equilíbrio entre artigos e citações evidencia uma importante propriedade da rede: embora a maioria dos artigos produzidos em determinado ano contenha um número médio de citações, metade destas refere-se à metade de todos os documentos previamente publicados; a outra metade das citações liga os novos documentos a um pequeno grupo de trabalhos recentes, gerando um pá.Tão de es-

treitas e múltiplas inter-relações. Uma vez que somente uma pequena e seletiva parte da literatura recente está interligada através dos novos documentos produzidos a cada ano, *esta pequena parte constitui uma camada epidérmica, crescente, uma ativa Frente de Pesquisa que distingue a Ciência dos outros ramos do conhecimento humano.*

Os artigos publicados em determinado ano contêm citações a documentos anteriores em uma proporção que decai para a metade a cada intervalo de aproximadamente 13.5 anos, contados regressivamente a partir da publicação do artigo; este índice de decréscimo equivale ao do crescimento exponencial dos artigos publicados no mesmo intervalo.

O "fator imediato" (immediacy factor) — o "aglomeramento" (bunching) — ou mais freqüente citação de documentos recentes é responsável pelo obsoleto da literatura após uma década. A medida numérica deste fator pode ser derivada, e é particularmente útil. Os cálculos demonstram que 70% das citações formam a parte regular da curva hiperbólica, duplicando a cada 13.5 anos; 30% das citações formam um desvio acentuado, uma "protuberância" causada pelo fator imediato. Desta forma, os 70% representam uma distribuição aleatória das citações a todos os artigos científicos já publicados, e os 30% representam citações altamente seletivas à literatura recente. A extensão deste fenômeno imediato tem grande importância, se generalizado: *30% das citações de todos os documentos formam a Frente de Pesquisa.* Através deste mesmo fenômeno pode-se deduzir que a literatura periódica tem dois tipos de vida-média, uma efêmera e outra clássica, a duração de ambas variando de acordo com o assunto.

Solla Price sugere que artigos muito citados, os "clássicos" (incidência anual > 4) ou "superclássicos" poderiam ser reunidos em um periódico internacional de artigos realmente importantes. Curiosamente, estes artigos muito citados têm freqüência semelhantes, em um padrão simétrico, possivelmente de significado teórico.

A completa Frente de Pesquisa da Ciência não constitui uma seqüência uniforme e ininterrupta de artigos, é dividida em pequenas faixas e segmentos. Investigando citações periódico-periódico, Solla Price conclui que estes pequenos segmentos correspondem, em qualquer período, ao trabalho de no máximo algumas centenas de pesquisadores. Estudando-se a natureza da Frente de Pesquisa poder-se-ia obter um método para delinear a topografia da literatura periódica científica. Um mapa topográfico permitiria indicar a superposição e relativa importância de periódicos, países, autores, artigos etc. de acordo com respectivas posições no mapa e com o grau de centralização desses elementos dentro de determinada faixa.

A Biblioteca ainda é associada à idéia da Biblio-

teconomia aplicada a livros, utilizando um vocabulário esotérico e muita Matemática. Essa abordagem ingênua assemelha-se, de certa forma, ao dilema do homem que tentando escrever sobre Medicina chinesa, leu uma obra sobre a China, outra sobre Medicina e então "combinou os conhecimentos adquiridos".

O problema fundamental dos que trabalham com Bibliometria e na indústria de *informações científicas* é que esta espécie de informação não é de natureza idêntica às outras, diferindo apenas quanto ao conteúdo. A literatura científica, principalmente em sua função social, difere de todas as outras literaturas em maior grau do que a Medicina chinesa difere das outras medicinas.

O aparecimento dos índices de citações, especialmente o Science Citation Index, possibilitou o estudo aprofundado dos diversos tipos de literatura: através de métodos de contagem de citações é possível diagnosticar se determinado campo do conhecimento ou um documento comporta-se como "Ciência" ou como "Não-Ciência". Embora não se possa demarcar limites radicais, estabelecendo, por exemplo, que documentos com 12 citações são mais eruditos que os que contêm apenas 10, há três aspectos que merecem ser analisados mais de perto:

- Porque documentos científicos têm, em média, 10 a 22 citações?
- Que espécie de documento está muito *acima* dessa média?
- Que espécie de documento está muito *abaixo* dessa média?

Não há uma resposta precisa à primeira pergunta. Pode-se apenas observar que para o atual índice de crescimento da literatura (7% ao ano), o número de citações à literatura antiga é da mesma ordem de magnitude que o conjunto total da literatura antiga. Desta forma, um documento antigo original, em média, apenas uma citação anual. Por outro lado, parece estar havendo um lento mas persistente aumento de citações em *todos* os campos.

No que se refere à segunda pergunta, é bastante claro que um grande número de citações é característica das revisões da literatura em determinado assunto. Esta característica é comum a diversas áreas, em Ciências Básicas, Sociais ou Humanas. Há, no entanto, uma diferença menor do que poderia esperar-se entre o número de citações em artigos primários e em revisões da literatura.

Documentos contendo número reduzido ou nenhuma citação existem em quantidade expressiva, mesmo em áreas acadêmicas. Tais documentos ocorrem tipicamente quando um cientista inexperiente escreve *ex-cathedra*, baseado em seus conhecimentos inatos.

O número de citações, isoladamente, não é um parâmetro bastante preciso para distinguir Ciência de Não-Ciência. É necessário medir a natureza

do sistema de citações; é preciso conhecer, além do crescimento e da densidade procriativa do sistema, seu metabolismo ou eugenia.

O envelhecimento normal da literatura é mais complexo do que parece, para os trabalhos com mais de 15-20 anos; a distribuição citações/tempo é proporcional à taxa de crescimento da literatura: um documento atual citará duas vezes mais documentos de 1913 do que de 1900, uma vez que em 1913 a literatura havia dobrado em relação a 1900. Mais importante, no entanto, do que medir numericamente a vida média, i. e., o decréscimo do "efeito imediato", é determinar a razão entre a Frente de Pesquisa e o resto da literatura: essa razão determina um índice de efeito imediato — o *índice de Price* — e representa a diferença, em incidência de citações, a trabalhos dos últimos 5 anos e a trabalhos anteriores. A escolha do período de 5 anos é praticamente intuitiva: 10 é demasiado (causaria um aumento de 50% proveniente do crescimento exponencial) e 3 é muito pouco (período pequeno para uma *disseminação significativa dos trabalhos*). Para avaliar-se a extensão dos valores desse parâmetro, podemos observar que uma literatura crescendo 5% ao ano, dobra de tamanho em ~ 14 anos e contém aproximadamente 22% de tudo o que foi publicado nos últimos 5 anos. Um campo de crescimento muito rápido — 10% — dobrando de tamanho em 6.9 anos. conterà, em 5 anos, ~ 40% de toda literatura.

O *índice de Price* opera em micro ou macro escala permitindo avaliar-se um periódico, um assunto, uma instituição, toda uma literatura científica ou mesmo um único artigo. Um número baixo indica um tipo de "metabolismo humanístico", onde é preciso digerir tudo o que já foi publicado, amadurecer o conhecimento adquirido para então poder se produzir novos textos, versando aproximadamente sobre os mesmos tipos de problemas. Em Ciências Puras, a precisão e a "rapidez de permanência" na Frente de Pesquisa permitem que o estudante percorra, rapidamente, todo o conhecimento acumulado e emerja na Frente de Pesquisa, onde a interação com os colegas é tão importante quanto o conhecimento convencional armazenado.

Ciências Puras, Ciências Sociais, Tecnologia e Humanidades constituem diferentes sistemas sociais, e cada um deles requer meios adequados para lidar com os processos de publicação e comunicação entre os especialistas que situam-se dentro e atrás das respectivas Frentes de Pesquisa. A elucidação de tais problemas é fundamental, e se conseguirmos compreender a Ciência como um sistema social, vários obstáculos da Ciência da Informação — que fazem-nos esperar por soluções dispendiosas para falsos problemas — serão removidos.

PRODUTIVIDADE CIENTÍFICA E ELITISMO

À medida que as nações desenvolvidas investem mais e mais em pesquisa científica, agrava-se o problema de analisar a Ciência em termos de custo-benefício, embora o aspecto realmente difícil de analisar-se seja a parte dos benefícios ou lucros. O ideal seria uma avaliação da Ciência através de seu impacto sobre a sociedade, mas esta abordagem envolveria apenas as tecnologias compradas pela sociedade, excluindo o aumento de conhecimentos e de know-how que possibilitaram a produção de tais tecnologias. Ir além do consumo da sociedade para medir a produção de novos conhecimentos científicos é uma tarefa que exige precauções e cuidados, a fim de serem evitados erros básicos que podem levar a errôneas e dispendiosas medidas políticas e administrativas. Uma vez que as devidas precauções sejam tomadas e que determine-se o *que está sendo medido, e com que precisão*, é possível estimar-se a atividade de pesquisa e a produtividade de cientistas isolados, de grupos de pesquisadores, de instituições e de países — e a partir dessas estimativas, uma série de linhas diretrizes da política científica pode ser determinada.

O parâmetro mais utilizado para essas estimativas é a literatura publicada, ou seja, o produto-final mais comum sob o aspecto da Ciência. No entanto, é preciso considerar que a literatura é um indicador de apenas parte da atividade de uma fração dos cientistas: há um grande grupo formado pelos que exercem suas atividades atrás da Frente de Pesquisa. Para a maioria daqueles que atuam na Frente de Pesquisa propriamente dita, a literatura não só um indicador, mas o produto final de todo esforço criativo. Neste sistema, qualquer contribuição — grande ou pequena — só se torna efetiva após ser publicada, julgada e incorporada, de alguma forma, aos conhecimentos já existentes. Qualquer descoberta só completa o próprio ciclo após sua aceitação por outros cientistas do mesmo campo. Paradoxalmente, a propriedade de qualquer descoberta científica só é atingida através da publicação aberta — quanto mais completa e aberta a publicação, maiores são os direitos assegurados ao descobridor.

Em qualquer estatística baseada em publicações seria absurdo não considerar que estas diferem largamente em tamanho e qualidade. Atualmente, é possível medir o *impacto* de uma publicação através dos índices de citações existentes.

Um dos mecanismos básicos da produtividade científica reside no fato de que, uma vez atingida a Frente de Pesquisa, o cientista tem grande probabilidade de cessar a produção. Cada sucesso, cada publicação, reduz esta probabilidade. Sucesso atrai sucesso, e fracasso atrai fracasso, de tal forma

que as chances de publicar-se outro artigo aumentam de forma proporcional ao número de artigos já publicados.

Km virtude da probabilidade de cessar a produção literária, uma vez atingida a Frente de Pesquisa, qualquer grupo de cientistas que alcance a Frente declinará em produção total com o correr do tempo. Gradualmente, um após o outro, retirar-se-ão da Frente de Pesquisa — onde permanecerá um pequeno conjunto que continuará produzindo. O grupo, como um todo, decrescerá em produção anual, embora qualquer indivíduo possa produzir em ritmo contínuo. É preciso, portanto, distinguir efeito mortalidade-da-Frente-de-Pesquisa do efeito provocado pelas eventuais oscilações que um cientista atravessa, de acordo com sua idade. A variação da idade na produtividade científica tem sido medida em várias populações de pesquisadores — mas quanto maior a população mais difícil se torna separar os dois efeitos mencionados acima.

De maneira geral, a vida produtiva de um cientista compreende três fases distintas: *período formativo*, de crescimento rápido até um nível máximo, no qual é estabelecida a reputação do autor; *madureza*, durante a qual o índice de produtividade oscila em torno de um nível estável ou em torno de vários níveis correspondentes a vários períodos profissionais bem definidos; *declínio*, onde há diminuição gradativa da atividade do pesquisador. O período formativo dura aproximadamente 10 anos: o cientista atinge sua maturidade produtiva em torno de 30 anos, dependendo da área. O índice de produção inantém-se estável durante 25-30 anos, iniciando-se então um declínio gradativo. A impressão popular de que há um grande decréscimo de produtividade após o período formativo é devida a um curioso efeito provocado pelo alto índice de mortalidade da Frente de Pesquisa acoplado com o rápido crescimento exponencial.

Desde o século 17 o número de cientistas e de publicações tem crescido 1% ao ano, acarretando um dobro a cada 10-15 anos; a qualquer tempo, metade de toda a literatura publicada apareceu durante a última década, de tal forma que a Ciência parece perpetuamente nova e recente. Um cientista cuja vida produtiva é de 40 anos, atravessa, no mínimo, 3 períodos nos quais a população científica dobra, sucessivamente: para cada cientista *D*, morto antes do aparecimento de *C*, há um outro cientista *E*, aparecido no primeiro período; dois *F* e *G* — aparecidos no segundo período, e quatro — *I*, *L*, *M* e *N* no terceiro período, ou seja, a cada cientista já desaparecido, correspondem sete atualmente vivos. *Conseqüentemente, dentre quaisquer oito cientistas que já existiram, sete (±90%) estão vivos.* Destes sete, quatro estão em sua primeira década de produtividade, no período formativo. Assim, em qualquer época, não apenas

a maioria dos cientistas estão vivos, mas além disto são jovens. A distribuição de faixas etárias na Ciência evidencia a concentração e alta incidência de jovens.

A média de publicações de um cientista que publica regularmente (permanentes) oscila em torno de 4 documentos anuais; incluindo-se também os que publicam irregularmente (transientes) a média é de 2 documentos anuais. Estas médias não são obtidas através da simples multiplicação do número de autores pelo número de publicações. Grande número de documentos tem mais de um autor — documentos com mais de 12 autores são mesmo comuns, atualmente; a múltipla autoria é uma conseqüência da institucionalização e do apoio econômico da pesquisa científica.

Uma primeira abordagem leva, geralmente, à conclusão de que os índices de produtividade deveriam computar autorias fracionadas, considerando o documento uma unidade a ser dividida igualmente entre os autores. Embora isso pareça importante, várias pesquisas evidenciam que os resultados são praticamente os mesmos se atribuir-se, a cada autor-colaborador, uma unidade de produção. Há, em média, 2 autores/documentos — os permanentes com 2 autorias primárias e 2 secundárias, anualmente. Considerando-se também os transientes, estes índices reduzem-se à metade.

O recorde de produtividade foi provavelmente atingido por Theodore Dm Alison Cockerell (1866-1948), entomologista especializado em abelhas, cuja bibliografia inclui 3904 documentos produzidos em 67 anos: mais de 2 documentos por semana, no período de maior produtividade e mais de um por semana durante a maior parte do período. Embora quantidade e qualidade sejam medidas diferentes, há uma grande correlação entre quantidade e qualidade, provocada pelo *Matthew Effect*: o sucesso qualitativo de um documento provoca subsequentes publicações de outros documentos; a ausência de sucesso tende a provocar o término da produtividade.

Em *Little Science, Big Science*, um capítulo inteiro é dedicado a Francis Galton (1822-1911), neto de Erasmus Darwin e uma das mentes mais versáteis e curiosas do século 19. Introdutor do método de impressões digitais na Scotland Yard e fundador da Eugenic Society, Galton era um apaixonado pelos números e pela estatística. Entre seus numerosos estudos incluem-se vários relacionados à produtividade científica, e que antecedem, em aproximadamente 50 anos, o famoso trabalho de Alfred Lotka* que originou a lei característica da produtividade científica: o número de autores com *n* documentos é proporcional a $1/n^2$: para cada 100

* The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of Washington Academy of Sciences*, 16:317, 1926.

autores que produzem um único documento, em determinado período, há 25 autores que produzem 2, 11 que produzem 3, e assim por diante. A natureza desta lei é tal que se computarmos a produção total dos que escreveram n documentos, resulta que um grande grupo de pequenos produtores iguala-se, em produção, ao reduzido grupo de grandes produtores.

Solla Price abordou a lei de Lotka de outra maneira, de forma a permitir a *acumulação dos resultados* e atingir uma integração que conduz aproximadamente a uma lei inversa de potência 1 para autores que produzem mais de n documentos; desta forma, 1 em 5 autores produz 5 ou mais documentos, e 1 em 10 produz ao menos 10 documentos.

A lei Lotka não se ajusta, no entanto, a altas produtividades: nestes casos, acima de determinada linha divisória, o número de autores produzindo n documentos decresce mais rapidamente, à proporção que se aproxima de $1/n^3$ — em outras palavras: a produção cumulativa de populações deste gênero decresce de acordo com uma lei inversa, de potência 2.

Solla Price ajustou a fórmula de Lotka, de maneira a permitir que houvesse uma única fórmula que servisse para os autores de alta e os de baixa produtividade. A fórmula ajustada leva às seguintes conclusões: cerca de 1/3 da literatura e menos 1/10 de autores estão associados com alta produtividade; e há em média 3,5 documentos por cientistas. Assim, um campo contendo 1000 documentos, tem cerca de 300 autores, dos quais 10 são altamente prolíficos; 30 produzem mais de 10 documentos cada, e 180 produzem apenas 1 único documento.

De certa forma, a lei de produtividade assemelha-se à lei de Fechner-Weber, aplicada à Psicologia experimental, onde a medida real é dada não pela magnitude do estímulo, mas por seu logaritmo. Tipicamente, cerca de metade da literatura publicada é produzida pela raiz quadrada do número total de periódicos ou de autores: para *dobrar* o núcleo, é necessário *quadruplicar* a população produtora — e para acrescentar 10% ao núcleo é preciso dobrar a população produtora.

Assim, a mão-de-obra científica e produtora da literatura consiste de um pequeno núcleo cercado por uma população quase infinita, cujo número cresce exponencialmente à medida que a magnitude e constância de sua contribuição decresce na mesma proporção. Mesmo que não haja uma grande correlação entre o número de documentos de um autor e a importância de sua obra ou entre o nível de um periódico e a quantidade de artigos que inclui, o *Matthew Effect* pesa na balança. Em outras palavras: de um campo com 30.000 periódicos e 1.000.000 de autores, deriva-se uma lista seletiva de 175 periódicos e 1.000 autores que

respondem por *metade* do conjunto produzido, e provavelmente por 70-80% da importância do conteúdo.

A partir da lei de produtividade de autores, Solla Price derivou a poderosa lei do Elitismo: toda população de tamanho N tem uma elite de tamanho \sqrt{N}

COMUNIDADE CIENTÍFICA: OS COLÉGIOS INVISÍVEIS

A partir do último ou últimos séculos, em especial a partir da Segunda Guerra, reconheceu-se que o sucesso científico de um país depende largamente do bem estar de sua comunidade científica — e precisamos conhecer muito mais sobre as instituições sociais da Ciência e sobre psicologia do cientista. O objetivo primário do cientista não é a publicação de documentos; além disso, o documento não representa simplesmente um meio de comunicar conhecimentos. A finalidade inicial do periódico era de fundo social: descobrir o que estava sendo feito e por quem — a publicação de novos conhecimentos era um objetivo secundário. Os artigos de periódicos, ao passarem para a forma atual, representaram uma grande inovação na Ciência e sem dúvida alguma sobreviveram e foram aceitos devido, em grande parte, a serem um poderoso instrumento para estabelecer e manter a propriedade intelectual.

Esta função dos artigos científicos contém duas importantes implicações: a comunicação científica através dos periódicos é e sempre foi um forte meio de conflitos de propriedade; as reivindicações de prioridades têm importância vital para o cientista e suas instituições. Exatamente devido a essas implicações, o cientista é muito mais motivado para escrever do que para ler. Ainda devido a essas implicações, há uma considerável organização social de cientistas cujo objetivo é conseguir prestígio e assegurar prioridades através de meios mais eficientes do que a publicação em periódicos.

Basicamente, os problemas da comunidade científica compreendem dois aspectos: no campo altamente produtivo, os problemas estão ligados a aspectos da engenharia humana: promover a interação de elementos de alto nível, atentando para que os grandes periódicos continuem a corresponder a grandes grupos naturais, fazendo com que os artigos importantes sejam reunidos e compactados em monografias e livros de texto. No outro extremo — no grande grupo de pequenos produtores — os problemas estão ligados a aspectos de intercomunicação: como fazer com que o imenso grupo de cientistas em formação acompanhe o ritmo dos líderes, como controlar os periódicos menos produtivos e os artigos menos importantes de forma a evitar desperdícios? Há vários mecanismos em ação, de acordo com a transição logís-

tica da *Little Science* para a *Big Science*. O primeiro fenômeno ligado à engenharia humana relaciona-se ao número de novos grupos de cientistas que emergem, formados de no máximo 100 elementos. No começo, quando há em um país apenas um pequeno grupo de cientistas, estes poderiam organizar-se em uma Sociedade ou Academia, tipo Royal Society, da Inglaterra, ou American Philosophical Society. Em estágio posterior o mesmo número de especialistas poderia organizar-se em sociedades especializadas. A moderna organização da Ciência, no entanto, excede aquele limite numérico, mesmo em subáreas, e os grupos maiores contêm dezenas e centenas de milhares de membros. Em tais populações, há alguns grupos formados de uma centena de especialistas, contendo, cada um, um conjunto de líderes que interagem. Provavelmente, durante a Segunda Guerra, as circunstâncias determinaram o estabelecimento de tais grupos de interação. Os líderes da comunidade científica têm necessidade de trocar idéias — e uma vez que as publicações regulares e mesmo as conferências e congressos são insuficientes, estes pequenos grupos criaram e continuam criando mecanismos para a comunicação diária. Há toda uma série de canais para divulgar não apenas reimpressões, mas também notas prévias (preprints) notas prévias de trabalhos em andamento e de resultados a serem atingidos. Além da comunicação particular, por correio, há também vários mecanismos para a comunicação e interação pessoal dessa comunidade: a reunião, por exemplo, em centros de pesquisa, onde vários elementos reúnem-se por períodos de curta duração. Cada grupo parece ter uma espécie de circuito de instituições, de centros de pesquisa e de escolas, de forma a permitir que em um intervalo de tempo de poucos anos, todos os membros importantes possam trabalhar com aqueles de sua categoria.

Estes grupos constituem um Colégio Invisível, na mesma acepção do termo empregado pelos cientistas que posteriormente, em 1660, reuniram-se para fundar a Royal Society. Seus membros encontram-se informalmente e distinguem-se dos grupos centralizados em Wadham College e Gresham College, na Inglaterra. Da mesma forma que aquele grupo primitivo, os atuais também conferem a cada membro um status científico, através da aceitação do indivíduo pelo grupo; conferem, também, prestígio, e além disso solucionam a crise de comunicação reduzindo o universo científico a um pequeno e seletivo grupo, possibilitando a inter-relação pessoal: os colégios invisíveis devem ser encorajados por todos os motivos óbvios. Em cada área de atividade, onde há competição científica, existe um colégio invisível. Seus componentes mantêm-se em contato com todos os que contribuem para a pesquisa, não apenas em escala nacional, mas em internacional; procuram trabalhar

em equipes, trocam notas prévias e separatas. Uma vez que formam uma elite poderosa, realmente detentora de grande parte dos conhecimentos existentes sobre suas respectivas áreas, podem também controlar, em níveis locais e nacionais, a alocação de recursos físicos e financeiros. Podem ainda controlar os prestígios e decidir sobre novas correntes científicas, determinando — deliberada ou casualmente — a estratégia de ataque em uma área. Uma das medidas utilizadas para distinguir a Ciência da "Não-Ciência" é o uso, nas citações e notas, dos nomes completos de autores ou iniciais apenas. Este processo mede a impersonalidade das relações entre autores e leva a novas especulações. Um alto índice de utilização de nomes completos indicaria uma estrutura de Colégio Invisível, onde autores seriam conhecidos entre si, como pessoas humanas, e não apenas rótulos da literatura. Embora tal medida pareça mais uma questão de moda e de tradição de pensamento, os resultados são suficientemente precisos e consistentes para demonstrar uma tendência à impersonalidade nas áreas da "Não-Ciência".

Embora seja relativamente fácil identificar um membro do Colégio Invisível de um campo, é extremamente difícil estudar, como um todo, a comunidade aí envolvida. As pesquisas sobre colégios invisíveis iniciaram-se há alguns anos, efetuadas por psicólogos e sociólogos, principalmente. Em 1986, Solla Price organizou um seminário do colégio invisível que estava estudando colégios invisíveis, reunindo um pequeno grupo de 6 cientistas que debateram resultados, conclusões e estudos de cerca de 20 outros especialistas em colégios invisíveis.

Em 1971, a American Medical Society reuniu um grupo de 10 cientistas entre os quais Diana Crane, Susan Crawford, Fred Strodbeck e Gerald Zaltman, liderados também por Solla Price que comparou a pesquisa neste assunto com uma caça ao unicórnio: "Somehow, we got word of the existence of such a beast, and we set out to hunt it in various ways appropriate to hunting something which would be like a sociological clique or peer group. Each of us latched on to one or two different specimens, and then we had to decide what the object was that we had indeed hunted down. In retrospect, we can see that it would not have been useful at all to decide on its properties before hunting it".

Colégios invisíveis crescem mais rapidamente que a totalidade da comunidade científica — cerca de 2-4% ao ano. Contêm, também, um maior índice de jovens do que qualquer amostra aleatória da população total.

Na realidade, maior entendimento sobre o assunto é necessário, pois sabemos muito mais sobre colégios invisíveis do que sabemos como descrevê-los.

POLÍTICAS PARA A CIÊNCIA?

Em uma série de trabalhos — desde depoimentos perante o Congresso Nortc-Americano até conferências em diversos países — Solla Price tem enfatizado um conjunto de observações de grande importância para os dirigentes da política científica e tecnológica de todos os países. Seus estudos sobre a natureza da Ciência e da Tecnologia, sobre as relações existentes entre elas e as conseqüentes implicações para a política científica têm importância capital para os que procuram compreender, medir e avaliar a extensão e força do impacto da Ciência e da Tecnologia sobre nossa Sociedade. O trabalho de Solla Price, em 1950, evidenciando o crescimento exponencial da Ciência, deu origem a uma abordagem totalmente nova aos estudos de política científica. Idêntica abordagem foi utilizada em *Little Science, Big Science*, e tem sido adotada, largamente pelos países desenvolvidos, onde a estrutura de *Big Science* não comporta decisões baseadas simplesmente em opiniões pessoais. Empregando métodos estatísticos, Solla Price quantifica autores, documentos, recursos humanos, citações bibliográficas etc. e através dessas análises quantitativas procura descobrir a lógica interna da Ciência e da Tecnologia, os princípios que as governam e as regras necessárias para lidar com elas. As regras do jogo são mais compreensíveis do que o imaginam os cientistas: não é preciso conhecer-se a tecnologia da fabricação de motores para dirigir-se um carro; da mesma forma, pode-se debater, com certa segurança, a maioria dos problemas da política sem ser-se um cientista, no sentido restrito da palavra.

O primeiro padrão que emerge de qualquer análise quantitativa refere-se ao crescimento exponencial da Ciência. Esse índice de crescimento, no entanto, não é dividido igualmente entre todos os países do globo: na realidade, a Ciência tem uma distribuição ainda mais elitista que a distribuição da renda: a população de milionários da Ciência é mínima, em relação aos menos favorecidos: cerca de 14 países controlam 90% da produção científica internacional (Estados Unidos, Grã-Bretanha, Rússia, Alemanha, França, Japão, Canadá, Índia, Itália, Austrália, Suíça, Checoslováquia, Suécia e Holanda); 26 países (entre os quais o Brasil) partilham 9%; 39 países contribuem, juntos, com 1%, e 59 outros partilham 0,1%. Tais dados, publicados em "Measuring the Size of Science" representam a contribuição de cientistas de diferentes países à literatura internacional. Aos diversos níveis nacionais, tal participação tem implicações diversas: claramente os Estados Unidos e a Rússia, entre alguns, têm problemas de super desenvolvimento científico — seus crescimentos respectivos durarão ainda alguns anos depois cessarão. Ao crescimento exponencial, sucederá o linear — e é preciso uma

política totalmente nova para enfrentar os novos problemas de saturação.

Seguindo o modelo do quebra-cabeças, Solla Price aborda os problemas da Indústria Internacional do Conhecimento deixando em aberto uma questão decisiva: será o quebra-cabeças infinito ou limitado? Qualquer que seja a resposta, há evidência clara de que não há outra alternativa senão continuar participando do jogo: é impossível manipular a Ciência — tentar, por exemplo, desenvolver mais a Química do que a Física — seu crescimento parece imperturbável face a quaisquer tentativas de modificá-lo. A tecnologia tem comportamento totalmente diferente, e deriva das necessidades do mercado consumidor. Na maioria dos casos, as descobertas tecnológicas que não são consumidas pela sociedade representam uma falha dessas descobertas em relação a um mercado consumidor. O índice de crescimento tecnológico é tal que o investimento é variável e proporcional ao tipo de tecnologia. Os parâmetros são tais que uma indústria crescendo ao ritmo normal de — por exemplo — 6%, necessita de 6% de investimento. Uma indústria similar, crescendo o dobro, necessita de um investimento oito vezes maior.

Solla Price estabelece, de forma bastante precisa, as diferenças entre Ciência e Tecnologia através de seus produtos finais. *O produto final da pesquisa científica é o documento científico*. No entanto, além da pesquisa, há outros resultados da atividade científica: novos processos e produtos, cuidados profissionais, ou algo de interesse direto para a indústria ou governo. Se o produtor pode "dispor" de seu produto — através, por exemplo, de uma patente — então o produto pode ser definido como tecnologia. Se o produto, por outro lado, não pode ser utilizado pelo seu produtor e fizer parte de um todo internacional, então esse produto é Ciência. Os produtos finais da Tecnologia representam bens de consumo e serviços; o produto final da Ciência é o documento científico — o artigo de periódico, o livro.

Em seu mais recente trabalho, ainda inédito (An overview of Science indicators) Solla Price faz uma revisão de sua própria literatura sobre o assunto; esse trabalho abrange as idéias desenvolvidas ao longo de mais de vinte anos de pesquisas. De maneira geral, a atividade científica per capita é proporcional à atividade econômica per capita. Correlacionado o PNB com o consumo de energia elétrica em vários países, demonstrou que os índices per capita de atividade científica e de eletricidade estão relacionados linearmente; se multiplicarmos ambos os índices pela população, verificaremos que o tamanho absoluto da atividade científica de qualquer país é proporcional ao tamanho absoluto do consumo de energia elétrica per capita. O resultado obtido com essa distribuição permite identificar os países que têm muita ou pouca ati-

vidade científica em relação aos desenvolvimentos econômico e industrial.

Utilizando dados de estudos feitos pela OCDE, Solla Price demonstra uma relação linear, através da equação:

$$\frac{\text{DBPD}}{\text{PNB}} = k \frac{\text{recursos humanos. PD}}{\text{População}}$$

onde DBPD representa a despesa bruta com pesquisa e desenvolvimento (GERD, Gross Expenditure on Research and Development) e k tem valor aproximado de 4,3 — de tal forma que o investimento de 1% do PNB em P & D corresponde na realidade a um percentual de 1/4, 3 ou 23 trabalhadores em P & D para cada 10.000 habitantes. Manipulando a equação base, vê-se também que o custo médio P & D por trabalhador é um múltiplo fixo (4,3) da renda média per capita.

É evidente que não pode haver planejamento sem um conhecimento detalhado de todos os componentes envolvidos; o primeiro passo para qualquer delineamento de política científica é o levantamento exaustivo de todos recursos científicos e tecnológicos disponíveis. É também de importância capital o exame minucioso de vários problemas nas áreas de educação científica, técnica e tecnológica. Para os países em desenvolvimento, certas medidas devem ser tomadas em caráter de urgência. Há necessidade de produção local de textos básicos em Ciência e Tecnologia, mesmo a nível de educação primária. A produção destes textos deve ser encarada como tarefa nacional, financiada e encorajada pelo Governo, uma vez que a Ciência e a Tecnologia só desenvolvem-se plenamente se estiverem enraizadas na população. A nível educacional mais elevado, é necessário estimular o uso de um idioma internacional — como entrada e saída — a fim de assegurar a participação de uma comunidade nacional na comunidade internacional; nos casos de forte barreira lingüística, a compilação de dicionários especializados deve ser incentivada. O desenvolvimento científico dos países em desenvolvimento deve ser maior que o índice internacional de 1% — uma concentração de esforços deve ser exercida a nível de graduação, assegurando, inclusive, um equilíbrio ideal entre o número de professores e alunos e grande estímulo às atividades criativas e de pesquisa.

O treinamento de profissionais no estrangeiro deve ser permitido apenas quando esgotadas as possibilidades locais — e evidentemente devem ser criadas condições também locais para atrair de volta aqueles profissionais: é sabido que os problemas de "brain-drain" provêm da falta de condições de trabalho nos países de origem.

A comunidade científica jovem deve ter oportunidades para interagir com a comunidade mais antiga e tradicional; além disso, os jovens devem participar, tanto quanto possível, das decisões sobre planejamento.

Os recursos instrumentais e tecnológicos — computadores, reagentes químicos, instrumentos etc. — devem ser colocados à disposição dos cientistas; quanto maior o nível científico (na maioria dos casos) maior esta necessidade.

O sistema de financiamento da pesquisa científica deve ser aperfeiçoado — desde as diretrizes para concessão de auxílios até o controle de contabilidade, de maneira a permitir um cálculo de custo de pesquisa e evitar que cientistas dispendam esforços desnecessários para obterem os recursos de que necessitam.

A fim de ser obtida uma eficiência máxima, é necessário reforçar todo o complexo de relações entre as partes do sistema de P & D nacional, incluindo ligações sócio-psicológicas, organizacionais, e econômicas e de informação.

No que se refere à informação, diversos pontos devem ser particularmente enfocados, no próprio interesse do sistema de política científica: especial atenção deve ser dada à disseminação, em escala nacional, de relatórios inéditos sobre as necessidades da agricultura, da medicina e da tecnologia, de forma a permitir que todas as unidades estejam atentas a tais demandas.

O acesso à literatura é vital para a comunidade científica, tanto em termos de entrada como de saída. Bibliotecas equipadas, dispondo de recursos técnicos e tecnológicos, devem ser encaradas como altamente prioritárias. Uma comunidade científica necessita de ser rapidamente informada sobre as mudanças e evoluções da Ciência, sobre novas descobertas — e é esta informação que permite ao cientista sentir-se parte dos problemas internacionais e debater novos pontos de vista, científicos e sociais. Para aumentar a participação dos cientistas, deve ser criado um periódico, em âmbito nacional, para debate de problemas nacionais. No entanto, em áreas onde a pesquisa científica é orientada para a produção de Ciência propriamente dita, os cientistas devem ser encorajados a publicar em periódicos internacionais, de forma a maximizar o potencial de suas contribuições.

Em qualquer planejamento, incluindo política científica, é sempre salutar procurar-se soluções encontradas por outros países e a opinião de experts, principalmente para a análise da situação. No entanto, a única saída, principalmente para os países em desenvolvimento, é o exame contínuo, inter-nalista, de todo o sistema de política científica e tecnológica.

GILDA MARIA BRAGA

O ECLETISMO DO PESQUISADOR

Derek de Solla Price obteve o primeiro Doutorado em Física, pela Universidade de Londres, aos 24 anos; seus trabalhos nesta área atraíram a atenção de Openheimer, com quem trabalhou durante anos, tendo feito, inclusive, parte do grupo de pesquisas militares, durante a Segunda Guerra, sob a direção de H. Lowery.

Após o segundo doutorado em História da Ciência, pela Universidade de Cambridge, em 1954, dedicou especial atenção à história de instrumentos antigos, tendo publicado vários artigos sobre astrolábios e sobre mecanismos para medir o tempo. Consultor de diversos países para assuntos de política científica, membro honorário e ativo de várias instituições internacionais e nacionais, Solla Price tem seus trabalhos publicados em vários países e em diversos idiomas. Parte de suas pesquisas têm importância capital para a Ciência da Informação, particularmente para a Documentação Científica, pelo papel que esta desempenha como indicador não-obstrutivo da atividade científica.

Seus trabalhos sobre as redes de citações bibliográficas levaram-no a comparecer, em dezembro de 1974, como expert, ao tribunal do Estado da Pennsylvania, onde prestou depoimento sobre as qualificações de dois cientistas, baseando-se em respectivas incidências e freqüências de citações bibliográficas, fato inédito na Justiça Norte-americana. Suas pesquisas sobre a produtividade de cientistas conduziram-no à formulação da lei do Elitismo, cujas aplicações têm repercussões imediatamente eficazes para a política científica.

O mecanismo de Antikythera consumiu 20 anos de pesquisas para ser reconstruído — os resultados, publicados também em 1974 pela American Philosophical Society, ainda estão revolucionando os conhecimentos até então existentes sobre a Ciência grega.

Seu trabalho como pesquisador, cientista e tecnólogo está concentrado em mais de 300 documentos, publicados a partir de 1941. Seria impraticável tentar cobrir, em um único artigo, ainda que resumidamente, toda esta atividade desenvolvida ao longo de mais de 35 anos de pesquisas — e nem há tal objetivo, mas tão somente disseminar e evidenciar a importância da obra de um cientista capaz de sintetizar e de analisar a Ciência em seus aspectos micro e macroscópico.

BIBLIOGRAFIA DE DEREK DE SOLLA PRICE

LIVROS

An Old Palmistry (an edition of the Middle English treatise in MS. Digby Roll 3) Heffer, Cambridge, 1953. 47 p.

The Equatorie of the Planetis with a linguistic analysis by R. M. Wilson. A manuscript treatise ascribed to Chaucer. Cambridge, the University Press, 1955. 214 p.

Heavenly clockwork. The great astronomical clocks of medieval China : a missing link in horological history. Monograph No. 1 of the Antiquarian Horological Society. Cambridge, the University Press, 1960. 254 p. (In collaboration with Drs. Joseph Needham and Wang Ling)

The collector's series in science (a series of facsimile editions of historical scientific books, edited with the addition of prefatorial material). New York, Basic Books, Inc.

v. 1 *Natural Magick*, Giambattista della Porta, 1957.

v. 2 *On the magnet*, William Gilbert, 1958.

v. 3 *Pirotechnia*, Biringuccio, 1959.

Science since Babylon. New Haven, Yale University Press, 1961. 149 p. Paperback edition 1962. Arabic edition, Beirut 1963. Polish edition, Omega Books, Warsaw 1965. Urdu edition, 1970.

Little Science, Big Science. Columbia University Press, 1963. 119 p. Paperback edition, 1965. Russian edition, Moscow, Academy of Sciences, 1966. Italian edition, Milan, Valentino Bompiani, 1967. Polish edition, Warsaw, Omega Books, 1967. Japanese edition, Sogensha, 1970. German edition, 1971. Romanian edition, 1971. French edition, 1972. Spanish edition, 1973. Portuguese edition, 1975 (In preparation).

Editor of Prentice-Hall History of Science Series for Young Readers.

Ernest Rutherford, architect of the atom. Peter Kelman and A. Harris Stone, 1969.

Liebig, the master chemist. Louis Kuslan and A. Harris Stone, 1969.

Mendeleyev-. prophet of chemical elements. Peter Kelman and A. Harris Stone, 1970.

Robert Boyle, the great experimenter. Louis Kuslan and A. Harris Stone, 1970.

Unpublished book

A history of Blakeney Haven, Norfolk — a great medieval seaport. 1959.

ARTIGOS

- 1941
- An aspect of the future of scientific research. *Journal of the South-West Essex Technical College and School of Art* 1(1):195-6, 1941.
- Model to illustrate transverse wave motion. *Journal of the South-West Essex Technical College and School of Art* 1:55, 1941.
- 1943
- The emissivity characteristics of hot metals, with special reference to the infra-red. British Iron and Steel Research Association Publication 7/1943. 36 p. (In collaboration with Dr. H. Lowery)
- 1946
- The infra-red emissivity of metals at high temperatures. *Nature* 157:765, 1946.
- Some unusual series occurring in n-dimensional geometry. *Mathematical Gazette* 80:149-150, 1946. (Note 1907)
- Note on the calculation of optical constants. *Proc. Phys. Soc.* 58:704-6, 1946.
- 1947
- The emissivity of hot metals in the infra-red. *Proc. Phys. Soc.* 59:118-131, 1947.
- The temperature variation of the emissivity of metals. *Proc. Phys. Soc.* 59:131-138, 1947.
- 1949
- A theory of reflectivity and emissivity. *Proc. Phys. Soc.* 62:278-283, 1949.
- Author's reply. *Proc. Phys. Soc.* 62:663, 1949.
- 1951
- Quantitative measures of the development of science. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 14:85-93; *Actes du VI Congrès International d'Histoire des Sciences*, Amsterdam 1950, I, Hermann & Cie, Paris, 1951. p. 413-21.
- 1952
- The early observatory instruments of Trinity College, Cambridge. *Annals of Science* 8:1-12, 1952.
- The equatorie of the planetis. *The Times Literary Supplement*, 29 February, 7 March 1952; 51(1):164; 51(2):180.
- Chaucer's astronomy. *Nature* 170:474-5, 1952.
- The equatorie of the planetis. (Reprinted from items 14 and 15 with facsimiles, additions, etc.) *Journal of the South-West Essex Technical College and School of Art* 3:153-168, 1952.
- 1953
- The Cavendish Laboratory archives. *Notes and Records of the Royal Society* 10:139-147, 1953.
- Museum of the Cavendish Laboratory: an outline guide to exhibits. Cambridge University Press, for the Cavendish Laboratory, 1953. 6 p.
- The equatorie of the planetis. *Bulletin of the British Society for the History of Science* 1:223-226, 1953.
- The Cavendish Laboratory. *Oil* (Electrical Issue) 2:30-32, 1953.
- 1954
- A collection of armillary spheres and other antique scientific instruments. *Annals of Science* 10:172-187, 1954.
- In quest of Chaucer — astronomer. *Cambridge Review* 76:123-4.
- Description of a manuscript of Chaucer's treatise on the astrolabe. Repository No. 7, Book Catalogue of William Dawson and Sons Ltd., January 1954, 20-21.
- 1955
- The mathematical practitioners. *Journal of the Institute of Navigation* 8:12-16, 1955.
- Medieval land surveying and topographical maps. *The Geographical Journal* 121:1-10, 1955.
- Some early English instrument makers. *Endeavour* 14:90-94, 1955.
- Tycho Brahe's instrument makers; Notes about Peter Jachinow, in a letter to the editor of *Horological Journal*, May 1955 (per Dr. Hans von Bertele)
- 1956
- Clockwork before the clock. *Horological Journal* 97, 810, and 98, 31, 1955/56. Reprinted, as a brochure, by Antiquarian Horological Society, London, March 1956. Reprinted, and published in English, French, German, and Spanish by *Journal Suisse d'Horologie et de Bijouterie*, Lausanne, 1956.
- Two medieval texts on astronomical clocks. *Antiquarian Horology* 1:156, 1956.
- Lord Kelvin hero of the atlantic telegraph. *Times Educational Supplement* 47:1348, 16 November 1956.

GILDA MARIA BRAGA

- A medieval footnote to Ptolemaic precession. In *Vistas in Astronomy I*, (edited by A. Beer as a Festschrift for Professor F. J. M. Stratton), 1956, 66.
- The prehistory of the clock. *Discovery* 17:153-7, 1956.
- 1956
- Chinese astronomical clockwork (with Drs. J. Needham and Wang Ling). *Nature* 177:600-2, 1956. Reprinted in *Actes du VIIIe Congres International d'Histoire des Sciences* (Florence-Milan, 1956) Paris, Hermann & Cie, 1958. v. I, p. 325-328.
- Looking for astrolabes. *Discovery* 17:257, 1956.
- Science review : C'est magnifique mais ce n'est pas Daguerre. *Cambridge Review* 77:436-7, 1956. (Review of the history of photography from the earliest use of the camera obscura in the eleventh century up to 1914, by Helmut Gernsheim, Oxford University Press, 1955)
- An international checklist of astrolabes. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 32/33, 1956. 40 p. (Also published as a separate booklet for general sale.)
- Ancient instruments in Peking. *Discovery* 17:357-358, 1956.
- Two mariner's astrolabes. *Journal of the Institute of Navigation* 9:338-44, 1956.
- The exponential curve of science. *Discovery* 17: 240-3, 1956. Also in Bernard Barber and Walter Hirsch (eds.) *The Sociology of Science*. The Free Press, 1962. p. 516-24.
- J. J. Thomson, O. M., F. R. S. *Il Nuovo Cimento*, 5 (Supplement to v. 4, Ser. X): 1609-29, 1956.
- Sir J. J. Thomson, O. M., F. R.S. A centenary biography. *Discovery*, 17:494-502, 1956.
- The science of science. *Discovery*, 17:179-180, 1956.
- 1957
- Scientific instruments, unwritten documents of the history of science. National Academy of Sciences, Washington, D. C., 4 p. *Science* 125: 750,, 1957.
- Cartography, survey and navigation to 1400 — survey in the middle ages, p. 513-517. Precision instruments : to 1500, p. 582-609. The manufacture of scientific instruments from C. 1500 to C. 1700, p. 620-647. In Charles Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall and Trevor I. Williams, *A History of Technology III: From the Renaissance to the Industrial Revolution c. 1500 - c. 1750*, Oxford : Clarendon Press, 1957.
- Foreword contributed to Silvio A. Bedini: Johann Phillipp Treffler; clockmaker of Augsburg. Reprinted from *Bulletin of the National Association of Watch and Clock Collectors, Inc.*, 1956-1957, 1957.
- 1958
- Leonardo da Vinci and the clock of Giovanni de Dondi. *Antiquarian Horology* 2, 127-8, 1958.
- The scientific resources of America. *Science Perspectives* 1(2) 1958.
- Fake antique scientific instruments. Actes du VIIIe Congres International d'Histoire des Sciences (Florence-Milan, 1956) Vol. I, Hermann & Cie, Paris, 1958. 308, 394.
- 1959
- The scientific humanities — an urgent program, *Basic College Quarterly Michigan State University, Winter 1959*: 6-14; *The Graduate Journal* (University of Texas) 298-306, Fall 1959.
- Contra Copernicus. A critical re-estimation of the mathematical planetary theory of Ptolemy, Copernicus and Kepler. Institute for the History of Science, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, 1957. Reprinted in *Critical Problems in the History of Science* (ed. Marshall Clagett), University of Wisconsin Press, Madison, 1959, 197-218.
- The first scientific instrument of the Renaissance. *Physis* 1:26-30, 1959.
- On the origin of clockwork, perpetual motion devices and the compass. Contributions from the Museum of History and Technology, Smithsonian Institution (Paper 6 in *United States National Museum Bulletin* 218), 1959, 81-112.
- An ancient greek computer. *Scientific American*, 201:60-7, 1959.
- The Yale microscope. *Yale University Library Staff News*, December 1959, 2.
- Humphrey Cole's solar astrolabe. Catalogue of the St. Andrew's University Astrolabes Exhibition, Royal Scottish Museum, Summer, 1959.
- 1960
- The Antikythera mechanism, an ancient greek computer. *Year Book of American Philosophical Society* 1959, 1960. p. 618-20.
- Newton in a church tower: The discovery of an unknown book by Isaac Newton. *Yale University Library Gazette* 34:124-6, 1960.

- Of the causes of wonderful things. *The Griffin* 9:11-6, 1960.
- The little ship of Venice : a middle English instrument tract. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 15:339-407, 1960.
- * Notes on the history of science. Arthur D. Little Co. Calendars for 1959-1962. Reprinted in part in the *American Society for Testing Materials Bulletin* :
- "Uraniborg — the first research institute," 246, 1960, 16.
- "X-Rays in action," 247, 1960, 47.
- "The Embryo of the big machine," 248, 1960, 9.
- "Trechsler's pea-shooter gunsight," 250, 1960, 23.
- in *Materials Research and Standards* :
- "An early chemistry laboratory," 1, 1961, 37.
- "The Bregans solar furnace," 1, 1961, 135.
- "The liquefaction of helium," 1, 1961, 225.
- "Burners praetorian table," 1, 1961, 407.
- "Maxwell's measurement of the viscosity of bases," 1, 1961, 560.
- "Jost Amman on Commerce," 1, 1961, 639.
- "Ramsden's dividing engine," 1, 1961, 823.
- "The first scientific instrument of the Renaissance," 1, 1961, 1003.
- 1961
- Report on the meeting of the History of Science Society, 1960. *Science*, 133:495-6, 1961.
- The acceleration of science. *Product Engineering* 32:56-9, 1961.
- The beginning and end of the scientific revolution, 1670-1970. *Lehigh Alumni Bulletin* 48:6-9, 1961.
- Diminishing returns (brief excerpt from *Science Since Babylon*. *Industrial Bulletin of Arthur D. Little*, (392):2-3, 1961.
- Comments on the role of the research museum in science. *Curator* 4:184-6, 1961. (American Museum of Natural History)
- 1962
- Unworldly mechanics. *Natural History*, 71:9-17, 1962."
- Japanese bomb. (Letter to the editor, with Eri Y. Shizume.) *Bulletin of the Atomic Scientists* 18:29, 1961.
- Scholarship about science. *Yale Scientific Magazine* 37:14-18, 1962.
- Yale scientific science bibliography : history of science and medicine (with Edwin Clarke). *Yafe Scientific Magazine* 37:20-21, 1962.
- 1963
- Contributions in Man and his future, Ed. G. Wolstenholme. Boston, Toronto, Little Brown and Company, 1963.
- A calculus of science. *International Science and Technology* 15, March 1963, 37-43.
- Two cultures — and one historian of science. *Teachers College Record* 64:527-35, 1963.
- Letter to the editor on the history of science : science for the humanist. *Science* 139:682, 1963.
- Contributions in International Biomedical Research, First National Institutes of Health International Symposium, October 31-November 2, 1963. Bethesda, Maryland, Ed. Kelly M. West, M.D.. U.S. Department of Health, Education and Welfare.
- 1964
- Automata and the origins of mechanism and mechanistic philosophy. *Technology and Culture* 5:9-23, 1964.
- A great encyclopedia doesn't have to be good ? *Science* 144, 665-6, 1964.
- Ethics of scientific publication. *Science* 144:655-7, 1964.
- Astronomy's past preserved at Jaipur. *Natural History*, 73:48-53, 1964.
- The history of science as training and research for administration and political decision-making. *Organon* (Warsaw), 9(1):21-4, 1964.
- Mechanical water clocks of the 14th century in Fez, Morocco, *Actes du Xe. Congrès International d'Hittoire des Sciences* (Ithaca, 1962). Paris, Hermann & Cie, v. 1, p. 532-535.
- Qualitative measurement in antiquity (with Asger Aaboe), In: *L'AVENTURE de la. Science, Melanges Alexandre Koyré, Histoire de la Pensée* XII.
- The Babylonian "pythagorean triangle" tablet. *Centaurus* 10,219-31, 1964.
- The science of science. In GOLDSMITH, M. & MACKAY, A. L. eds. *The Science of Science*. London, Souvenir Press, 1964; published in U.S.A. as *Society and Science*. New York, Simon and Schuster, 1964. p. 195-208. London, Pelican edition, 1966. Russian edition, Moscow, 1966.

- Statement to the Pucinski Committee, National Information Center. *Hearings before the Ad Hoc Subcommittee on a National Research Data Processing and Information Retrieval Center of the Committee on Education and Labor*, House of Representatives 2. Hearings held in Washington D.C., April 27, 1964. p. 682-703.
- Networks of scientific papers. *Symposium on Statistical Association Methods for Mechanized Documentation*, National Bureau of Standards, June 1964. *Science* 149:510-5, 1965. In: KOCHEN, M., ed. *The Growth of Knowledge*. New York, John Wiley & Sons, 1967. p. 145-55. In: SARACEVIC, T. ed. *Introduction to Information Science*. New York, R. R. Bowker, 1970. p. 56-64.
- 1965
- Is technology historically independent of science? A study in statistical historiography. *Technology & Culture* 6:553-68, 1965.
- The scientific foundations of science policy. *Nature* 206:233-238, 1965.
- Regular patterns in the organization of science. *Organon* (Warsaw) 2:243-8, 1965.
- Gods in black boxes. *Yak Conference on Computers for Humanities*. Yale University Press, 1965. p. 3-5. Expanded in: Bowles, E. A. ed. *Computers in Humanistic Research*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1967. p. 3-8.
- Kulfoldi Vendegék Eloadasai. *Magyar Tudomány* 12:798-800, 1965.
- * The impact of science and technology on social institutions. (Lecture given April 27, 1965, at Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh).
- The science of science. In: PLATT, John R., ed. *New Views of the Nature of Man*. University of Chicago Press, 1965. p. 47-70. Abridged version in *Bulletin of the Atomic Scientists* 21:2-8, 1965.
- Phlogiston was once an item. *New York Times Book Review*, September 19, 1965. p. 48. (Review of Isaac Asimov, *A Short History of Chemistry*, New York, Anchor Books, 1965; and Aaron J. Ihde, *The Development of Modern Chemistry*, Harper & Row, 1965)
- Stale wzorce w organizacji nauki (Permanent Standards in the Organization of Science). *Zagadnienia Naukoznawstwa* (Warsaw) 1, 1965.
- Memoirs of an otso Goth. *American Sociological Review* 31:105-6, 1965. Review of On the Shoulders of Giants: A Shandean Postscript. Robert K. Merton.
- 1966
- Bookshelf on the history of science. *Moderator* 5:51, 1966.
- A survival of Babylonian arithmetic in New Guinea (with Leopold Pospisil). *Indian Journal of History of Science* 1:30-3, 1966.
- The science of scientists. *Medical Opinion & Review* 1:88-97, 1966. Excerpts in *Experimentation with Human Beings* (ed. Jay Katz), Russell Sage Foundation, 1971.
- Science from the attic. *Discovery, Peabody Museum*, 2:14-18, 1966.
- Science as a science. *Times Literary Supplement*, 3361:659-61, 28 July 1966.
- Collaboration in an Invisible College (with Donald de B. Beaver) *American Psychologist* 21:1011-1018, 1966. Reprinted in: SARACEVIC, T. ed. *Introduction to Information Science*. N.Y., R.R. Bowker, Co., 1970. p. 101-7.
- 1967
- A guide to graduate studies in the history of science. 1966. 6p. Revised and enlarged in a guide to graduate study and research in the history of science and medicine. *Isis* 58, 1967, 393-403.
- The tower of winds — piecing together an ancient puzzle. *National Geographic Magazine* 131: 586-96, 1967.
- Communication in science : the ends — philosophy and forecast. Ciba Foundation Symposium on Communication in Science : Documentation and Automation (eds. Anthony de Reuck and Julie Knight), London, J. & A. Churchill Ltda. 1967. p. 199-209.
- Technological documentation — philosophy and forecast. *Engineering Societies and their Literature Programs ... a critical appraisal*. Engineers Joint Council, 1967. p. 67-70.
- Instrumentation (with Silvio A. Bedini). In: KRANZBERG, M. & PURSELL, CW. eds. *Technology in Western Civilization I*. Oxford University Press, 1967. p. 168-87.
- The book as a scientific instrument. *Science* 158: 102-4, 1967. (Review of Pater Apianus, *Astronomicum Caesareum*. Facsimile of the 1540, Ingolstadt edition. Leipzig, Edition Leipzig, 1967.)
- Nations can publish or perish. *Science and Technology* 70:84-90, 1967.

- Ergebnisse und Perspektiven : die Wachstumskrise der Wissenschaft. In: DREITZEL, H. P. *Sozialer Wandel Zivilisation und Fortschritt als Kategorien der soziologischen Theorie*. Luchterhand, Berlin, 1967. p. 377-90.
- Research on research. In: ARM, D. L. ed. *Journeys in Science : Small Steps-Great Strides*. Report of the Twelfth Air Force Office of Scientific Research Science Seminar. The University of New Mexico Press, 1967. p. 1-21.
- 1968
- An international catalogue of scientific instruments made before A.D. 1300. A Preliminary Report. In: BEER, A. *Vistas in Astronomy* 9. Oxford, Pergamon Press, 1968. p. 41-2.
- Joseph Needham and science of China. *Horizon* 10:52-64, 1968.
- The water clock in the tower of winds (with Joseph V. Noble). *American Journal of Archaeology* 72:345-55, 1968.
- The difference between science and technology. Thomas Alva Edison Foundation, 1968, 16 p. Reprinted in *The Science of Managing Organized Technology*. New York, Gordon & Breach Science Publishers, 1970. p. 21-36.
- 1969
- The structures of publication in science and technology. In: GRUBER, W. H. & MARQUIS, D. R. *Factors in the transfer of technology*. The M.I.T. Press, 1969. cap. 6, p. 91-104.
- Archaeological investigation of the interior of the Tower of Winds in Athens. *National Geographic Society Research Reports 1964 Projects*. Washington, D.C., 1969. p. 179-80.
- An open letter to editors of scientific journals, particularly to those publishing technological papers and articles for the general reader. *Aslib Proceedings*, 21:328, 1969; *Special Libraries* 60: 468, 1969. Circulated to all Editors of Scientific Journals by Institute for Scientific Information, 1968.
- Measuring the size of science. *Proceedings of the Israel Academy of Sciences and Humanities*, 4(6) 1969. Edited version in Rumanian, *Progresele Stintei*, 6(12):529-36, Dec. 1970. Edited version in Hebrew, *MADA* 15(3): 158-65. Sept./Oct. 1970.
- Who's who in the history of science : a survey of a profession. Paper presented at the Twelfth International Congress for the History of Science, Paris, 1968. *Technology & Society* (formerly *The Technologist*) 5(2):52-55, Oct. 1969.
- Portable sundials in antiquity, including an account of a new example from Aphrodisias. *Centaurus* 144(1): 242-66, 1969.
- Policies for science ? *Melbourne Journal of Politics*, 2, 1969, 8 p.
- 1970
- Citation measures of hard science, soft science, technology and non-science. In: NELSON, C.E. & POLLOCK, D. K., eds. *Communication Among Scientists and Engineers*. Lexington, Mass., D.C. Heath & Co., 1970. p. 3-22. Reprinted in Russian, *Voprosy filosofii* :149-55, 1971.
- Smiles at the unobtrusive. *Nature*, 226:985, 6 June 1970.
- Joseph Needham and the science of China. In: SIVINT, ed. *The Character of a Non-Western Tradition. Essays in Chinese Science in Honor of the Seventieth Birthday of Joseph Needham* F.R.S. M.I.T. Press, 1970.
- Positions and projections : views from the Yale community on issues in ecology. *Yale Alumni Magazine* 33, May 1970.
- A national science policy. Evidence given at hearings, Subcommittee on Science, Research and Development; Committee on Science and Astronautics, House of Representatives, *H. Con. Res.* 666 (23):649-52, Sept. 1970.
- Hommage a Jean Rostand. (Letter) Paris, Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1970. p. 102.
- 1971
- Nature of scientific communities : A sociological study of developing and developed countries (with Waldemar Voise). Undertaken under the sponsorship of Unesco and the International Union for the History and Philosophy of Science. Paris, July 1970.
- Some remarks on elitism in information and the invisible college phenomenon in science. *Journal of the American Society for Information Science*, 22(2):74-75, Mar./Apr. 1971.
- Principles for projecting funding of academic science in the 1970's. *Science Studies* (1):85-94, 1971.
- Chaucer, Geoffrey. In: GILLISPIE, C. G. *Dictionary of Scientific Biography*. New York, Charles Scribner's Sons, 1971. p. 217-218.
- International science policy. Evidence given at hearings, Committee on Science and Astronautics, U.S. House of Representatives, Panel on Science and Technology, Twelfth Mtg., Jan. 26-28, 1971. *I*, 186-7; 245-8.

- Are social scientists really scientists at all? *Science Forum* 22(4):16-18, August 1971.
- Is there a decline in big science countries and in big science subjects? XIIIth International Congress for the History of Science, Moscow and Leningrad, Aug. 18-28, 1971. Summary of paper (with contributions by Kedrov and Mikulinsky) *Literaturnaya Gazeta* (URSS) 35:13, Aug. 1971.
- World network of scientific attaches, *Science Forum* 21(4):34-5, June 1971.
- Expansion of scientific knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 154:257-9, 1970 .
- Invisible college research : state of the art. In: CRAWFORD, S. ed. *Informal Communication Among Scientists : Proceedings of a Conference on Current Research*. American Medical Association, Feb. 22, 1971. p. 3-14.
- 1972
- * Unesco : Arab Republic of Egypt. Current problems in science and technology policy, with Y. de Hemptinne, G. Dobrov. K. Reheem. Paris, Unesco, 1972. Unesco Serial No. (BMS, RD/SP)
- Implications of theoretical studies for decision-making in R&D Management. In: OECD. *Management of Research and Development*. Paris, 1972. p. 263-75.
- Case of the kamikaze astronauts. In: *Experimentation with Human Beings, The Authority of the Investigator, Subject, Professions, and State in the Human Experimentation Process*. Jay Katz, Russell Sage Foundation, 1972. p. 175-6.
- Some theoretical studies in science of science and their practical implications. In: *Science, man and his environment. Proceedings of the Fourth International Conference, Science and Society* (Beograd). Dec. 1971. p. 320-331.
- * State of the art in science policy studies. Studies in Science Policy, Copenhagen Lecture, March 23, 1972.
- Science Funding. *New Scientist* 1:527-8, June 1972.
- Boom ahead in technical employment. *Science & Government Report* 2:16, Nov. 15, 1972.
- Book review : Unobjective science. Civilization and science in conflict or Collaboration? A Ciba Symposium. Elsevier, 1972. *Nature* 239: 450. Oct. 20, 1972.
- 1973
- Monsters, moon maidens and a sense of wonder: the nature of science fiction, *fale Reports* 642, Feb. 18, 1973. Radio broadcast.
- Relations between science and technology and their implications for policy formation, Försvarets Forskningsanstalt (FOA) Research Institute of National Defence, Stockholm, Sweden, 1972-73: 26; Shizen 89-110, 1974 (In Japanese)
- The  and  and  and other geometrical and scientific talismans and symbolisms. In: TEICH, M. & YOUNG, R. eds. *Changing Perspectives in the History of Science, Essays in Honour of Joseph Needham*. London, Heinemann Educational Book, 1973. p. 250-264.
- Joseph Needham and the science of China. In: NAKAYMA, S. & SIVIN, N. eds. *Chinese science : explorations of an ancient tradition*. M.I.T. Press, 1973. p. 9-21.
- Cultural history of clocks. In: *The American Clock 1725-1865* (Notes Edwin A. Battison, Commentary Patricia Kane, Foreword Chas. F. Montgomery) New York Graphic Society Limited, Greenwich, Cons., 1973. p. 10-13.
- Difference between science & technology. *Kwartalnik, Historii Nauki i Techniki*, 18(1): 3-15, 1973
- Biographical article with summary of research on transient and persistent scientific authors, Eri Yagi. *Chemical Today*, Tokyo, October 1973: 34-36.
- Computerized checklist of astrolabes, (with Dr. Sharon Gibbs and Ds. Janeice Henderson). November 1973.
- Book review : Maurice Daumas, *Scientific Instruments of the 17th and 18th Centuries*. *ISIS*, 64:421-422, 1974.
- Water clocks. *Antiquarian Horology*, 8(5):548-9, Dec. 1973. Letter.
- Society's needs in scientific and technical information. Drexel University Lecture Series "Society's Technological Needs", 1974. *Ci. Inf.*, Rio de Janeiro, 3(2):97-103, 1974.
- Clockwork before the clock and timekeepers before timekeeping. Lecture given at Second World Conference International Society for the Study of Time. Tokyo, July 1973.
- 1974
- On the historiographic revolution in the history of technology : commentary on the papers by

- Multhauf, Ferguson, and Layton. *Technology and Culture*, 15(1) -42-48, **January 1974**.
- Contributions. In: NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. *The Growth of Scientific and technical information*; lecture and seminar proceedings with J. Georges Anderla. Washington, January 1974. p. 22, 38-61.
- Productivity of research scientists. In: YEARBOOK of Science and the Future 1975. Encyclopaedia Britannica, Inc., 1974. p. 409-421.
- Memorandum "In Quotes" to the Advisory Committee on Science, Technology and Human Values of the National Endowment for the Humanities. *Science & Government Report* 4(19):4, Nov. 1974.
- Gears from the greeks, the Antikythera mechanism — a calendar computer from Ca. 80 B.C. *Transactions of the American Philosophical Society*, Philadelphia, Pa., 64(1) November 1974.
- IN PRESS*
- Nature of science. In: *General Biology* (ed. Richard A. Goldsby).
- Clockwork before the clock and timekeepers before timekeeping. 2nd World Conference, International Society for the Study of Time. Tokyo, July 1973.
- Book Review : Nakayama Shigeru, David L. Swain, Yagi Eri (eds.). *Science and society in modern Japan : selected historical sources*. Tokyo & Boston, M.I.T. Press, 1974.
- Book Review : (Trans. Donald R. Hill), *The Book of knowledge of ingenious mechanical devices by Ibn al-Razzaz al-Jazari*, Dordrecht/Boston, D. Reidel Publ. Co., 1974.
- Studies in scientometrics I: transience and continuance in scientific authorship. Studies in scientometrics II: The relation between source author and cited author populations. 1974. With Suha Giirseey.
- The derivation of the laws of the Elite from productivity distributions of scientific authors — a reply to Stewart and Allison 1974.
- An overview of science indicators. 1975.
- Cópias Xerox de todos os documentos, com exceção dos assinalados (*), podem ser obtidas na Biblioteca Nacional e no IBBD, ao preço de Cr\$ 0,80 por página.