



Aspectos da Realidade Atual

Homenagem à Pontifícia Universidade
Católica do Rio de Janeiro no seu
40^o aniversário

ÍNDICE

Apresentação	1
Soluções Brasileiras para o Problema Energético	
<i>Alcir de Faro Orlando</i>	3
Pesquisa, Desenvolvimento e Formação de Recursos Humanos em Telecomunicações	
<i>José Paulo de A. e Albuquerque</i>	21
Educação em Informática: Situação Atual e Perspectivas	
<i>Carlos José Pereira de Lucena</i>	59
Reflexões sobre o Ensino da Economia	
<i>José Márcio Camargo</i>	97
O Médico, O Doente e a Assistência Médica no Mundo Atual	
<i>Luiz Cesar Póvoa</i>	111
Os Sertões e os Jagunços: Canudos, Linguagem e Sucesso	
<i>Flora Sussekind</i>	121

EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS

INTRODUÇÃO

A informática tornou-se uma realidade no Brasil por volta da década de 1960, com a introdução das primeiras máquinas de processamento de dados. Desde então, a informática tem evoluído rapidamente, tornando-se uma das áreas mais importantes da ciência e da tecnologia. A educação em informática tem sido uma das áreas que mais se beneficiou dessa evolução, com a introdução de cursos de graduação e pós-graduação em informática em várias universidades brasileiras.

Este trabalho tem como objetivo apresentar a situação atual da educação em informática no Brasil, bem como as perspectivas para o futuro. Para isso, serão analisados os aspectos históricos, teóricos e práticos da educação em informática, bem como os desafios e as oportunidades que se apresentam para o futuro.

“ EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS ”

Carlos José Pereira de Lucena

A educação em informática tem sido uma das áreas que mais se beneficiou da evolução da informática. Com a introdução de cursos de graduação e pós-graduação em informática em várias universidades brasileiras, a educação em informática tem se tornado uma das áreas mais importantes da ciência e da tecnologia.

Este trabalho tem como objetivo apresentar a situação atual da educação em informática no Brasil, bem como as perspectivas para o futuro. Para isso, serão analisados os aspectos históricos, teóricos e práticos da educação em informática, bem como os desafios e as oportunidades que se apresentam para o futuro.

A educação em informática tem sido uma das áreas que mais se beneficiou da evolução da informática. Com a introdução de cursos de graduação e pós-graduação em informática em várias universidades brasileiras, a educação em informática tem se tornado uma das áreas mais importantes da ciência e da tecnologia.

A educação em informática tem sido uma das áreas que mais se beneficiou da evolução da informática. Com a introdução de cursos de graduação e pós-graduação em informática em várias universidades brasileiras, a educação em informática tem se tornado uma das áreas mais importantes da ciência e da tecnologia.

EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS

I. INTRODUÇÃO

O progresso surpreendente verificado nas Tecnologias da Informática nos últimos cinco anos traz perspectivas totalmente novas para o desenvolvimento científico e tecnológico de maneira geral. A natureza deste desenvolvimento pode ser tão marcante a ponto de trazer alterações inéditas no sistema sócio-econômico mundial.

O objetivo deste texto é resumir o processo de desenvolvimento ocorrido na área da Informática, relacionando-o com as alterações que ele vem provocando em diversas áreas.

Uma das questões fundamentais trazidas à baila, no momento em que o ser humano dispõe de um estoque inédito de recursos e conhecimentos científicos e tecnológicos é o problema da educação. O desenvolvimento da Informática começa por impactar o próprio sistema educacional vigente. Como educar para uma Sociedade da Informação é uma questão que desafia a intelectualidade de nossos dias. Neste trabalho trataremos de questões muito mais específicas do que esta. Estaremos interessados em como educar em Informática. A rigor, estreitaremos mais ainda o assunto, considerando como educar em Informática os cientistas e engenheiros do futuro, incluindo neste grupo os próprios especialistas em Informática. A limitação do problema ainda nos deixa em mãos uma questão de grandes proporções que não pode ser esgotada em um trabalho com as dimensões do atual.

A primeira parte do trabalho procede a um estudo do desenvolvimento das tecnologias de "hardware" e "software" e faz alguns prognósticos sobre o desenvolvimento futuro da Informática.

Na segunda parte justificamos porque o início dos anos 80 está requerendo uma revisão completa da educação em Informática e indicamos que fatores deverão prevalecer em educação na área nos anos que se seguem.

Este texto é dedicado aos 40 anos de existência da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro que há cerca de 22 anos vem se dedicando à educação e à pesquisa científica e tecnológica na área da Informática. A revisão de nossa atuação acadêmica neste campo importante de nossas atividades científicas e tecnológicas está hoje dentre nossos planos para o futuro próximo.

(1) TOFLER, A. *The third wave*. Bantam Books, 1980.

(2) SERVAN-SCHREIBER, J.J. *Défi mondial*. Dunod, 1980.

(3) NORA, S. & MINC, A. *L'informatisation de la société*. Du Seuil, 1978.

II. A TECNOLOGIA DA INFORMÁTICA E SUAS APLICAÇÕES

A Informática, que segundo diversos autores (p.ex.: V. 1, 2 e 3) vem sendo apontada como um dos ingredientes fundamentais para a definição de uma sociedade pós-industrial, freqüentemente chamada de "Sociedade da Informação", não tem mais de 30 anos de idade. O fator mais marcante do desenvolvimento desta recente área do conhecimento tem sido a velocidade com que ela vem evoluindo em vários aspectos da sua tecnologia. Concomitantemente, os domínios de aplicação da Tecnologia da Informática têm mudado bruscamente desde a época em que a área era chamada simplesmente de *computação* (e seus fundamentos, de ciência da computação), até o presente, quando o termo Informática sintetiza técnicas oriundas de várias áreas do conhecimento e uma gama praticamente ilimitada de aplicações.

O fator preponderante para o rápido desenvolvimento da Informática foi o progresso surpreendente verificado nas áreas de eletrônica e telecomunicações. O custo do "hardware" de computadores tem caído por um fator de dois a cada dois ou três anos desde 1945. Este fato tem alterado sistematicamente, nos últimos 25 anos, o papel dos componentes de "hardware" e de "software" que entram na solução de um problema de computação. Hoje, a complexidade da lógica de sistemas computadorizados, e não mais o custo dos componentes de "hardware" utilizados numa solução de problema, tornou-se o principal fator de limitação do desenvolvimento de sistemas automatizados.

A redução do custo dos processadores fez com que estes se tornassem um componente muito barato em um sistema de computação. Hoje arquiteturas de computadores que utilizam um alto nível de paralelismo, com centenas de processadores como componentes, são justificáveis economicamente. No entanto, ainda mal começamos a nos afastar da chamada arquitetura de "von Neumann"⁴ dos anos 50 e das dificuldades que elas impõem aos métodos de programação. De fato, apesar das reduções no custo de "hardware" e conseqüente disponibilidade em larga escala de sistemas de computação, usam-se hoje praticamente os mesmos métodos de programação usados há 15 anos atrás. O desenvolvimento de arquiteturas de sistemas de computação que utilizem plenamente os recursos colocados a nossa disposição pela microeletrônica e pelas telecomunicações e que inovem com relação aos métodos de solução de problemas (métodos de programação), para a solução de problemas tecnológicos relevantes, é um dos grandes desafios para os anos que se seguem.

A microeletrônica e as telecomunicações trouxeram resultados, nos últimos cinco anos, considerados talvez mais importantes do que a passagem da válvula para o transistor.

(4) BACKUS, J. *Can programming be liberated from the Von Neumann style? a functional style and its algebra of programs.* CACM, 1978.

As alterações efetuadas nas áreas de aplicação da Informática foram mudanças tanto de escala como de substância. As alterações de escala tornaram a gerência da complexidade o fator mais crítico no desenvolvimento de um sistema de computação. A mudança em substância envolveu um afastamento das chamadas aplicações científicas que utilizam estruturas de dados transientes e uma ênfase em aplicações gerenciais nas quais as estruturas de dados não-transientes representam o estado de uma organização ou sistema que evolui no tempo. É possível, hoje, visualizar cinco áreas amplas de aplicação que se interceptam de várias maneiras:

(i) **Computação Numérica**, que envolve a execução de algoritmos que geram estruturas de dados *transientes*, usados como etapas no cálculo de um certo resultado, mas que podem ser descartados quando este resultado é obtido.

(ii) **Gerenciamento de dados** são aplicações que lidam com estruturas de dados *não-transientes* que podem representar o estado de um sistema ou organização que evolui no tempo e que pode ser atualizado automaticamente (resultado de uma computação) e/ou manualmente (operador humano) para refletir mudanças estruturais no sistema expresso pelo modelo.

(iii) **Aplicações "embutidas"** que controlam a operação de sistemas hospedeiros tais como aviões, fábricas etc, e que têm, em geral, simultaneamente, requisitos de tempo real e gerenciamento de dados. Note-se que aplicações do tipo gerenciamento de dados podem ser visualizadas como aplicações "embutidas" nas quais o sistema hospedeiro é a organização com cujo modelo se opera.

(iv) **Inteligência Artificial** envolve aplicações que estendem os limites do processo de tomada automática de decisão com sistemas de computação. A área se preocupa com a representação do conhecimento em universos de discurso específicos, mecanismos para apoio ao raciocínio sobre certos universos de discurso e mecanismos para uso do conhecimento, planejamento e tomada de decisões.

(v) **Programação de Sistemas** ("software" básico ou operacional) está relacionada a compiladores, sistemas operacionais e ambientes de programação (métodos de testes etc.). Essas aplicações podem ser entendidas como uma classe especial das aplicações "embutidas" na qual o sistema hospedeiro é o próprio computador. A importância da área reside no fato de que ela provê a infra-estrutura para o desenvolvimento dos outros tipos de aplicação.

A computação numérica é a área mais antiga de aplicação e precede a descoberta do computador moderno. Inteligência artificial e programação de sistemas surgiram como áreas de pesquisa nos anos 50. Gerenciamento de dados adquiriu momento como uma importante área de aplicação nos anos 60 e foi sistematizada como uma área

técnica independente durante os anos 70. A expressão aplicação "embutida" começou a ser utilizada em meados dos anos 70 e uma variedade muito grande de aplicações deste gênero foi desenvolvida nos últimos cinco anos com a difusão do uso de microprocessadores.

Nas seções que se seguem vamos descrever o estágio atual do desenvolvimento dos aspectos de "hardware" e "software" que constituem a tecnologia da Informática. A descrição vem acompanhada de alguns prognósticos sobre o desenvolvimento das duas áreas.

II.1 — O Comportamento "Hardware" da Tecnologia da Informática

A miniaturização da eletrônica começou com o transistor e seu desenvolvimento subsequente foi fortemente impactado pelo programa espacial americano. A invenção fundamental foi o circuito integrado. Neste tipo de circuito, vários elementos transistores ativos são formados em uma pastilha de silício e têm seu padrão de interconexões estabelecido pela gravação fotográfica de um filme condutor de metal evaporado. O resultado é um circuito completo, menor, mais rápido, que consome menos energia que seus predecessores e que, quando fabricado em grande quantidade, é muito barato. Cada ano, após 1960, o número de componentes que podem ser formados em uma única pastilha de silício tem dobrado e como resultado o preço por operação ou função vem caindo 25 por cento, ao ano. Desde 1970 teve início a era da integração em grande escala (LSI) e cerca de mil componentes puderam ser colocados em uma pastilha de silício de menos de um quarto de polegada quadrada. Hoje, o nível de integração chegou a um nível (VLSI) no qual o número de componentes por pastilha está atingindo a ordem da centena de milhar.

A integração em larga escala é ideal para os casos em que se utiliza um número muito grande de unidades repetidas, como ocorre no projeto de computadores eletrônicos. A memória de um computador tem milhares de palavras, cada qual contendo oito ou dezesseis "bytes" (characters), com cada "byte" sendo formado por oito "bits"; a unidade lógico/ aritmética é um arranjo repetitivo de registros e portas que executam operações de soma e transferência sobre palavras. Com o desenvolvimento da integração em larga escala tornou-se viável colocar-se mais componentes, interconectados de forma mais complexa, em uma única pastilha de silício. Cada pastilha, com menos de um quarto de polegada quadrada é equivalente a um pequeno computador capaz de executar cerca de um milhão de instruções por segundo. Pastilhas semelhantes contêm bancos de memória que podem ser apenas lidos ("read-only") ou utilizados por acesso aleatório para leitura ou escrita de informações. O custo de um microprocessador está atualmente estimado em cerca de 10 dólares a unidade, no hemisfério norte.

Em paralelo com as mudanças que tiveram lugar nos últimos vinte e cinco anos na área de fabricação de circuitos eletrônicos, ocorreram desenvolvimentos igualmente

surpreendentes na área de telecomunicações. Nesta área os desenvolvimentos tiveram lugar nos seguintes aspectos principais: transmissão e comutação.

Em transmissão, uma linha de desenvolvimento se relacionou com os canais através dos quais mensagens são enviadas. Cabos co-axiais e ligações através de microondas para tráfego de mensagens entre cidades possibilitaram o advento de canais com a passagem de banda necessária à transmissão de muitas mensagens de voz simultâneas, sinais de frequência de vídeo e dados de computadores de alta velocidade. Transmissões via satélite fornecem os mesmos recursos para distâncias maiores. Na medida em que fibras óticas, que começam a ser introduzidas para comunicações em distâncias curtas, passem a ter uso generalizado, frequências e capacidades de canal serão ampliadas com uma redução correspondente no custo de transmissão de voz e de dados.

Tão importante quanto os novos canais é a mudança da transmissão analógica para digital, tornada possível pela tecnologia LSI. Com o sinal digital, mensagens podem ser amostradas periodicamente em intervalos muito curtos de tempo e as seqüências de "bits", que constituem várias mensagens, são intercaladas (multiplexadas) e enviadas através da mesma linha. Além de permitir o uso mais efetivo da linha, esta técnica virtualmente elimina a distorção de sinal e erros, considerações importantes na transmissão de dados, além de tornar desnecessários mecanismos de modulação e demodulação ("Modems") para a conversão de dados digitais provenientes de computadores para a forma analógica.

Computadores também desempenham um papel central nas novas técnicas de comutação. Em 1967, ESS, o primeiro sistema telefônico computadorizado foi instalado nos Estados Unidos. Embora algumas das vantagens dos sistemas computadorizados já estejam sendo sentidas, através do tempo mais rápido de estabelecimento de uma conexão, ligação direta a longa distância, chamada do tipo "conferência" etc, o pleno potencial desta técnica só será observável através do seu uso generalizado. Como cada usuário pode ter uma região da memória de comunicação reservada para si, muitos outros serviços podem ser oferecidos como, por exemplo, transferências automáticas de chamadas, discagem de dois dígitos para números freqüentemente chamados etc.

Comutação por pacotes é um novo desenvolvimento que afeta a forma pela qual as chamadas são manipuladas e novamente, neste caso, computadores são um elemento central no processo. O sistema telefônico convencional é uma rede comutada: quando uma mensagem vai ser enviada, uma conexão física real é estabelecida entre quem envia e quem recebe a mensagem. Esta conexão é mantida durante toda a duração da chamada. Com a comutação por pacotes, as mensagens são divididas em pequenos pacotes de cerca de mil caracteres que são enviados estação-a-estação da origem para o destino. A rota seguida por um pacote quando ele deixa a sua estação depende do congestionamento relativo do tráfego entre as ligações expedidas. Cada nó de uma rede

comutada por pacotes contém um computador que estabelece o formato dos pacotes, associa endereços às rotas, monitora o tráfego das ligações às quais está conectada e armazena pacotes quando necessário. Comutações por pacotes são particularmente apropriadas para as pequenas transações que têm lugar no processamento de dados comercial (por exemplo, aplicações apoiadas em bancos de dados).

A associação de computadores a telecomunicações deu lugar a várias novas aplicações de processamento de dados. Esta nova flexibilidade para o projeto de sistemas computadorizados permite que as funções de um sistema complexo sejam subdivididas tanto lógico como fisicamente. Um rede de computadores interconecta terminais, computadores, bancos de dados etc, distantes consideravelmente uns dos outros.

Os desenvolvimentos interligados da área de "hardware" de computadores e telecomunicações, descritos resumidamente acima, trazem consigo duas tendências claras a curto prazo (independentemente das dificuldades na área de tecnologia de "software"): está ocorrendo uma grande proliferação de aplicações "embutidas" e sistemas de computação (baseados em micros, terminais ligados a redes etc) passam a ser projetados e utilizados diretamente pelo usuário interessado na aplicação (que pode ser um especialista de qualquer área). O primeiro aspecto reflete-se em um potencial de alto nível de automação industrial (também automação de escritórios etc) e o segundo em uma redefinição de um grande número de profissões. Ambos os aspectos trazem consigo grandes impactos sociais e a necessidade de revisão do sistema educacional vigente.

Boa parte da literatura que se tem produzido a respeito de prognósticos sobre uma "Sociedade da Informação" baseia-se na viabilidade técnica da generalização da utilização de sistemas como o que passaremos a descrever.

Um microprocessador pode hoje ser o elemento chave de um pequeno computador de propósito geral que já começa a ser vendido no mercado a preços acessíveis a uma faixa significativa da população (principalmente, é claro, em países desenvolvidos, mas com extensões às regiões mais ricas de países em desenvolvimento). Vários cenários, impensáveis até em livros de ficção científica anteriores a 1950, podem ser desenvolvidos por um cientista social, caso, a título de exemplo, a seguinte configuração esteja disponível a boa parte da população dentro de poucos anos:

- . Uma unidade central de processamento programável;
- . Uma hierarquia de unidades de memória, incluindo:
 - . uma memória rápida de semicondutores
 - . "cassettes" de fita magnética
 - . alguma outra forma de memória de grande volume e velocidade, intermediária ("floppy-disks" ou bolhas magnéticas)
 - . vídeo-tapes;
- . Uma variedade de elementos de entrada, incluindo:

- . um teclado (permitindo a comunicação com o sistema de TV a cabo)
- . um mecanismo ativado por voz capaz de transformar um vocabulário limitado em sinais reconhecíveis pela máquina
- . um mecanismo leitor de cartões de crédito, com um sistema de proteção associado
- . um mecanismo de "light-pen" capaz de selecionar pontos em uma tela de televisão
- . um mecanismo marcador que permita com que as coordenadas de uma marca indicada em uma tela possam ser reconhecidas pelo computador;
- . Uma variedade de elementos de saída, incluindo:
 - . uma tela de televisão
 - . uma impressora
 - . um alto-falante;
- . Canais de comunicação, incluindo:
 - . ligação com a TV a cabo
 - . telefone conectado com o sistema público de comutação.

Uma segunda forma de "computador doméstico" pode ser uma unidade lógica pré-programada para executar uma determinada função, tal como o controle de temperatura ou umidade etc. com os sensores apropriados capazes de captar as entradas do sistema.

C.C. Gotlieb⁵ definiu as configurações acima, perfeitamente implementáveis com as tecnologias disponíveis (uma dúvida aqui quanto à tecnologia de "software") e analisou em um trabalho recente o que computadores domésticos podem fazer para nós e de nós (culturalmente, socialmente etc).

II.2 – O Componente "Software" da Tecnologia da Informática

Está claro, atualmente, que o progresso da área de Informática pode apenas ser limitado por nossa capacidade em conceber e desenvolver "software". Poucos especialistas da área de "software" esperam que a produtividade em programação cresça significativamente nesta década. Este problema é ainda mais complexo em função do aumento considerável da demanda por pessoas capazes de desenvolver sistemas de "software". Fabricantes de computadores desenvolviam "software" para vender "hardware", mas, a curto prazo, eles construirão "hardware" para vender "software". Já hoje, consumidores sofisticados avaliam o "software" do sistema (o sistema operacional, o editor de textos, os programas que permitem o acoplamento a uma rede

(5) GOTLIEB, C.C. *Computers in the home – what they can do for us – and to us*. Institute for Research on Public Policy, 1978.

etc) e só então tomam conhecimento dos equipamentos que vão processar aquele "software".

Parece indiscutível que em função das reduções crescentes no custo do "hardware" o número de aplicações de computadores que se tornarão economicamente viáveis irá crescer exponencialmente, tornando a nossa sociedade cada vez mais dependente da automação. A demanda por programadores hoje é semelhante à demanda por telefonistas em 1920. No entanto, se tivéssemos que operar o sistema telefônico de hoje com a tecnologia de 1920, cada pessoa deveria estar empregada como telefonista, para processar o número de chamadas que a sociedade atualmente demanda. O que esta imagem procura sugerir já foi um pouco antecipado anteriormente. Por um lado, cada usuário será de fato um programador, interagindo com os sistemas a um nível de abstração bem mais alto do que é possível atualmente. Por outro, a área de desenvolvimento de software deverá se consolidar como uma área de engenharia, o que vai requerer dos especialistas da área um nível de formação proporcionalmente muito maior do que o exigido atualmente.

Embora a seção anterior possa ter trazido algumas novidades para o leitor leigo em computação, o problema de "software" é, certamente, muito menos conhecido do que o de "hardware". Se ser capaz de desenvolver "hardware" nacional é um caminho, embora ousado, altamente defensável para uma nação emergente determinada a escapar do neo-colonialismo que poderá vigorar na "Sociedade da Informação", ser capaz de desenvolver "software" chegará ao ponto de significar preservar a "inteligência" de um país.

Passamos a dar alguns esclarecimentos sobre a natureza do "software". O fato de que "software" é um produto lógico (em francês "logiciel") e não um produto físico faz com que seus custos estejam concentrados no desenvolvimento e não na produção (o custo da produção de cópias de "software" é desprezível). Produtos "software" são em alguns sentidos semelhantes aos produtos tangíveis das áreas de engenharia convencionais, tais como pontes, prédios ou computadores digitais. No entanto, existem algumas diferenças importantes que dão à tecnologia de "software" características especiais. Como o "software" não "desgasta", por exemplo, a sua confiabilidade é determinada por atributos lógicos tais como correção (medida pela qual uma implementação satisfaz uma especificação) e tolerância a falhas. Construir um "software" é, em uma certa medida, uma atividade mais próxima de provar um teorema do que a de construir uma ponte. Por outro lado, o fato que produtos "software" são avaliados em função de sua utilidade na solução de um problema e não a partir de critérios abstratos como correção, requer que em sua construção sejam aplicados princípios de engenharia ao lado de padrões matemáticos.

Algumas características do "software" que criam problemas especiais para a gerência da complexidade de sistemas de computação são as seguintes:

i. **Variabilidade de função.** Sistemas de "software" de grande porte incluem, em geral, uma variedade de funções muito maior do que produtos da engenharia convencional. Esta variedade se manifesta tanto através do enorme número de detalhes que devem ser tratados na modelagem de um sistema como um banco ou uma aeronave, quanto no número de diferentes níveis de abstração conceituais através dos quais o sistema deve ser visto para se constituir em um modelo de computação adequado.

ii. **Variabilidade de implementação.** Existe uma enorme variedade de implementações corretas para um produto "software" de grande porte.

iii. **Evolução.** Grandes sistemas devem ser construídos para serem evolutivos, de tal forma que modificações devidas a mudanças nos requisitos, descobertas de melhores formas de implementação e descobertas de erros possam ser facilmente introduzidas. A metodologia da construção de sistemas evolutivos de fácil reparo é inteiramente diferente da utilizada na construção de "caixas pretas", que devem ser fáceis de ser usadas e que, em princípio, não devem ser abertas. A construção de sistemas visando a evolução pode requerer um maior investimento durante o desenvolvimento para produzir economias expressivas durante sua operação e manutenção.

iv. **Visibilidade.** É muito mais difícil "ver" o progresso de um sistema de "software" do que é acompanhar o progresso de uma ponte ou um edifício. A visibilidade física deve ser substituída por uma visibilidade conceitual viabilizada através da documentação de todas as etapas críticas do processo de desenvolvimento.

v. **Continuidade.** Sistemas físicos são, em geral, contínuos no sentido de que a pequenas alterações no projeto estão relacionadas pequenas modificações em sua capacidade funcional. Sistemas de "software" não são contínuos, no sentido de que pequenas alterações nos requisitos podem requerer grandes mudanças no projeto.

O ciclo de vida de um sistema "software" é uma importante ferramenta conceitual para a compreensão da natureza do "software". A noção provém da engenharia convencional onde a noção de ciclo de vida de um produto, incluindo a licitação, projeto, desenvolvimento, produção e descontinuação é usada há bastante tempo em engenharia de produção. O ciclo de vida de produtos "software" tem similaridades e diferenças importantes com o ciclo definido para as áreas clássicas da engenharia.

O ciclo de vida de um produto "software" pode, numa primeira aproximação, ser subdividido em especificação de requisitos, projeto, implementação e manutenção. A fase de requisitos pode ser complexa em virtude da variedade de funções e da explicitação de noções tais como confiabilidade, visibilidade e capacidade de evolução. A manutenção é a fase mais cara e mais crítica do ciclo de vida de um produto "software" em sistemas altamente evolutivos.

A tecnologia de "software" como outros campos da tecnologia foi intensiva em pessoal no seu início (ainda é na maior parte dos casos) e está se tornando gradualmente intensiva em capital. Uma tecnologia intensiva em capital envolve grandes investimentos iniciais visando ganhos em fases posteriores do processo. Práticas intensivas em capital como documentação extensa e revisões detalhadas do projeto apenas começam a ser práticas correntes da área de "software". Muitas dessas atividades deverão ser automatizadas no futuro. No entanto, sendo o "software" um produto conceitual e não um produto físico, é provável que uma tecnologia de "software" intensiva em capital venha a ter sempre um componente humano bastante maior do que outras áreas de engenharia também crescentemente intensivas em capital.

Neste ponto o leitor estará consciente de que existe um desequilíbrio claro entre os estágios de evolução das tecnologias de "hardware" e "software" que fundamentam o desenvolvimento da Informática. É necessário preveni-lo, agora, de que também do ponto de vista acadêmico a Informática se ressentia de uma fundamentação teórica mais sólida. Está claro que do ponto de vista de "hardware" os princípios físicos e matemáticos em que se baseou o desenvolvimento da eletrônica digital e das telecomunicações estão bem estabelecidos. No entanto, do ponto de vista do processo de solução de problemas através de computadores existem muito poucos conceitos firmados que venham a possibilitar, a curto prazo, um impacto importante da área de computação no poder criativo do homem.

Os primeiros modelos de computação (formulados por volta dos anos 30), chamados modelos clássicos da computação, foram inicialmente propostos com a finalidade de formalizar a noção intuitiva de computabilidade. Os modelos foram construídos com o intuito de determinar a possibilidade de se descrever um algoritmo mecanizável para computar valores de certas funções (computabilidade efetiva de funções). Mostrou-se na literatura técnica que existe uma surpreendente equivalência teórica entre os modelos propostos. Mesmo modelos que diferem marcadamente em aparência e em estruturas de dados e controle demonstraram-se equivalentes do ponto de vista de suas capacidades de expressão de algoritmos. No entanto, se, por um lado, esses modelos são funcionalmente equivalentes, a pragmática de seus enfoques para a solução de problemas é totalmente diferente. Os modelos clássicos de computação influenciaram consideravelmente as linguagens de programação existentes e os estilos de programação que elas sugerem. Algoritmos de Markov, Máquinas de Turing e Funções Recursivas são provavelmente os três modelos mais importantes do ponto de vista da programação.

Desde o Trabalho de Floyd⁶, em 1967, uma grande quantidade de atividades de

(6) FLOYD, R.W. Assigning meaning to programs. In: SYMPOSIUM ON APPLIED MATHEMATICS, 19., 1967. *Proceedings*. American Mathematical Society.

pesquisa em teoria da computação concentrou-se em verificação de programas (análise de programas).

Técnicas analíticas foram desenvolvidas para a prova da correção de programas expressos em diferentes linguagens de programação. Tais técnicas sugeriram métodos de síntese correspondentes que consistam na derivação sistemática de um programa a partir de suas especificações. Esses métodos de síntese são algumas vezes chamados de "cálculos da programação".

Métodos de derivação de programas são influenciados pelas linguagens (sistemas de notação) usadas para a expressão das especificações do programa e do programa propriamente dito.

Uma vez que especificações de programas correspondem a uma definição formal de um problema para o qual uma versão programada deverá ser sintetizada, a linguagem usada para a especificação desempenha um papel fundamental no processo de solução de problemas por computadores. Espera-se, pelo desenvolvimento da área de teoria da programação (análise e síntese de programas), que o uso de transformações semiformais ou formais possa ser utilizado para gerar um programa a partir de um conjunto de especificações formais. Muitos autores propõem o uso de aproximadamente a mesma linguagem para especificação e programação. O uso do λ - cálculo para a especificação de funções recursivas e do LISP como linguagem de programação, servem de exemplo deste enfoque.

Quando a teoria da Informática estiver melhor fundamentada, os diversos recursos de "hardware" tornados disponíveis pela microeletrônica serão utilizados para o projeto de máquinas não-convencionais (espera-se um distanciamento considerável da arquitetura convencional de von Neumann ainda hoje praticada) que poderão estender os limites do conhecimento humano.

Na figura 1 apresentamos uma evolução dos sistemas de computação ("hardware" e "software") e de comunicação, apontando para o futuro da Informática. O gráfico é adaptado de uma proposta inicial apresentada por Kobayashi⁷ pela introdução da tecnologia de "software" e a apresentação de perspectivas de mais longo prazo para a área.

III. EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA

Um dos temas mais atuais relacionados com a área da Informática é *educação*. Tendo participado da maior parte da história da computação na PUC-RJ (Anexo I) que se desenvolveu em íntimo contato com a evolução de outros grupos no país (Anexo II)

(7) KOBAYASHI. *Revista Nacional de Telecomunicações*, 2 (13) maio 1980.

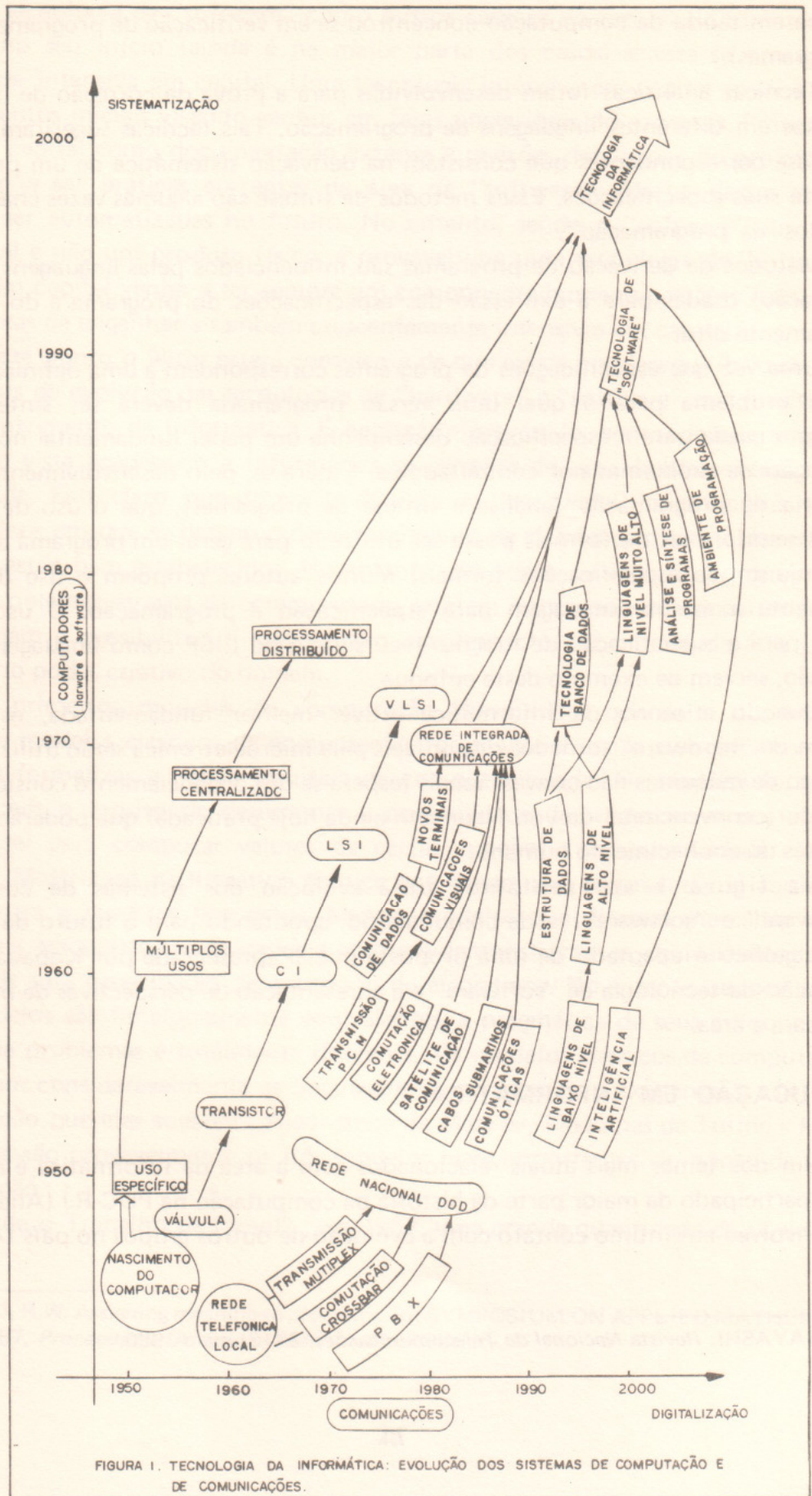


FIGURA 1. TECNOLOGIA DA INFORMÁTICA: EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO E DE COMUNICAÇÕES.

e no exterior, sentimo-nos capazes de enfatizar e justificar esta afirmação. Se inspecionarmos a figura 1, apresentada no final da seção anterior, podemos observar que o início dos anos 60 coincide com o começo da aplicação de computadores para múltiplos usos e o início do estudo mais sistemático da área de "software". Em muitos aspectos, passados quase 20 anos, pode-se observar atualmente que existem diversos pontos em comum entre a motivação para problemas educacionais associados à Informática em meados dos anos 60 e hoje.

Em meados dos anos 60, acreditava-se que o caráter de uso geral dos sistemas de computação da época, as novas linguagens de programação recentemente criadas (FORTRAN e ALGOL) e seus elegantes compiladores e o aspecto de aparente rigor científico que os estudos sobre estruturas de dados começavam a dar à área da computação, justificavam amplos estudos sobre currículos para Informática (este termo era raramente usado na época) e uma análise ampla sobre os possíveis impactos da computação nas diversas áreas de conhecimento e na educação em geral. Datam de meados dos anos 60 vários projetos sobre Instrução Assistida por Computador ("Computer Assisted Instruction": CAI) que atraíram o interesse de renomados educadores. Em meados dos anos 60 foi criada a maioria dos Departamentos de Ciência da Computação conhecidos internacionalmente (inclusive o Departamento de Informática da PUC/RJ). Um trabalho de um comitê da Association for Computing Machinery⁸ consolidou no controvertido "currículo 68" recomendações sobre programas universitários em Ciência da Computação e o ímpeto educacional da década desembocou na Primeira Conferência Mundial sobre Computadores em Educação da International Federation for Information Processing⁹ de 1970.

Em retrospecto, observa-se hoje que a expectativa de que computadores revolucionariam o ensino em diversas áreas e o processo de aprendizado em geral era uma previsão extremamente irrealista. Educação caiu de moda no ambiente acadêmico da Informática durante os anos 70. Na segunda Conferência Mundial sobre Computadores na Educação¹⁰, já em 1975, ouvia-se que "a computação ainda ocupa um papel menor, ou simplesmente não é utilizada, na maior parte dos cursos fora da área de ciência da computação propriamente dita"¹¹. Dizia-se ainda em avaliações sobre siste-

(8) ACM CURRICULUM COMMITTEE ON COMPUTER SCIENCE. *Curriculum '68*. CACM, 1968.

(9) IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATION, 1., Amsterdam, 1970. *Proceedings*.

(10) IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATION, 2., Marseilles, 1975. *Proceedings*.

(11) BORK, A. Learning with computers — today and tomorrow. In: IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATIONS, 2., Marseilles, 1975. *Proceedings*.

mas de CAI que "esses não podem nem ser justificados nem rejeitados com base nos resultados obtidos até o presente"¹².

O que ocorreu foi que o desenvolvimento das áreas de arquitetura de computadores, linguagens de programação e sistemas operacionais se deu de forma quase inteiramente autônoma. A interface entre o computador e os usuários interessados nas aplicações foi feita tipicamente por grupos de especialistas que conheciam os detalhes de sistemas de computação específicos e projetados com padrões lamentavelmente baixos de engenharia humana. Em paralelo, a microeletrônica e as telecomunicações se desenvolviam nos laboratórios de pesquisa da indústria*. Finalmente, nos últimos cinco anos, processou-se a revolução tecnológica descrita na seção anterior. Se na Conferência da IFIP de 1975¹⁰ não se usou em nenhum trabalho o termo microcomputador, ele aparece em praticamente *todos* os trabalhos da mesma conferência em 1981¹³.

Surgiu um fenômeno de transferência inversa de tecnologia**, da indústria para a universidade e, subitamente, todas as áreas da engenharia se equiparam para aplicar a microeletrônica e as telecomunicações em suas áreas de interesse.

Tudo se passa como se, definitivamente, a computação como uma ferramenta de propósito geral tivesse apenas começado a ser disseminada há poucos anos e, agora, numa escala fora de controle. Quase vinte anos depois, a educação volta a ser um tema atual da Informática.

III.1 – Situação Atual da Educação em Informática

Deve ficar preliminarmente claro para o leitor que iremos tratar da educação a nível universitário, com ênfase no impacto nas ciências exatas e tecnologia, fazendo referências eventuais a outros níveis e aspectos da educação em Informática.

Apesar do evidente impacto dos microcomputadores no meio industrial, o sistema educacional, a nível internacional, apenas começa a reagir a essa inovação tecnológica. Não está bem claro ainda como o microcomputador, nas diversas modalidades de aplicações descritas na seção anterior, deverá se incorporar nos currículos de ciência e tecnologia. Pouca atenção ainda foi dedicada ao problema de como o ensino de ciência e tecnologia na universidade será afetado por este fato, em particular, se esperarmos, como é razoável, que o estudante passe a chegar à universidade bastante

(*) Deve ficar claro para o leitor que descrevemos o fenômeno da dicotomia usuário-computador fazendo referência à situação típica. Existem exemplos de exceções meritórias ao comportamento geral da área na época.

(**) Também há exemplos de casos em que a pesquisa acadêmica influenciou esses setores.

(12) NIEVERGELT, J. Interactive systems for education – the new look of CAI. In: IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATION, 2., Marseilles, 1975. *Proceedings*.

(13) IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATION, 3., Lausanne, 1981. *Proceedings*.

versado na utilização de micros (os brinquedos eletrônicos, o "hobby" do computador doméstico e o ensino a nível secundário irão acelerar esse processo). Atualmente o uso de microcomputador e a utilização de teleprocessamento e redes de computadores (em algumas escolas até o uso do processamento interativo) está restrito a laboratórios de pesquisa e pós-graduação e a alguns cursos experimentais muito pouco freqüentados na área de graduação.

O ensino da Informática nos anos 60 e 70 revolucionou claramente as áreas de matemática numérica, modelagem e simulação. É comum, hoje em dia, que cada programa de ciência e tecnologia possua em seus quadros "matemáticos computacionais" que vêm dando uma nova dimensão e aprofundamento ao conhecimento das áreas científicas e tecnológicas tanto em seus aspectos teóricos quanto experimentais. Este tipo de conhecimento já filtrou, nas escolas melhor preparadas, para o ensino da graduação. Infelizmente, e em parte em função do custo dos computadores do passado, mesmo estas áreas já tão bem estabelecidas, ainda não interferiram no ensino de ciências e matemática nos níveis primário e secundário.

Se a Informática influenciou positivamente o desenvolvimento científico e tecnológico nos casos citados acima, o alto custo do "hardware", característico de cinco anos atrás, limitou o desenvolvimento acadêmico de outras áreas. O processamento dedicado (aplicações "embutidas") e o controle de processos preocupam-se com a medida e o controle do comportamento de sistemas. Durante as duas últimas décadas foram desenvolvidas teorias e algoritmos para o controle de "feedback".

A inexistência de "hardware" acessível fez com que a medida e a análise dos resultados da aplicação desses algoritmos não pudesse ser efetivamente implementada, estudada e difundida no ambiente acadêmico.

Limitação semelhante ocorreu nas áreas de projeto assistido por computador ("computer assisted design (CAD)/ computer assisted manufacturing (CAM)"). Uma dificuldade prática foi imposta a essas áreas porque o elemento gráfico do processo (terminais gráficos interativos) em função do seu custo impossibilitou durante muito tempo a avaliação dos algoritmos de apoio ao projeto.

As áreas acima (processamento dedicado, controle de processos e CAD/CAM) são, quando apresentadas, trazidas ao estudante de ciências e engenharia de hoje, na forma de cursos teóricos ou experimentais de caráter muito restrito (em geral, laboratórios de pós-graduação).

Na área de "software", conforme já foi antecipado anteriormente, existem grandes deficiências no campo do ensino, responsável parcialmente pela distância existente entre esta área e a área de "hardware". Ensina-se programação na universidade hoje quase da mesma forma como se ensinava nos anos 60. Uma inspeção rápida nos cursos introdutórios sobre computação, na maioria das universidades, irá revelar este fato lamentável.

Acredita-se hoje que saber programar é proceder à coleção sistemática e crítica de idéias poderosas (conceitos, técnicas, fatos) que se aplicam a muitos programas, independente de suas áreas de aplicação. Floyd, um dos mais renomados teóricos da programação chama essas idéias de "paradigmas da programação"¹⁴. Segundo seu juízo, o estado atual do conhecimento sobre programação reflete deficiências em nosso estoque de paradigmas, em nosso conhecimento sobre paradigmas, na forma pela qual ensinamos paradigmas e na forma pela qual as linguagens de programações atuais apóiam ou deixam de apoiar a expressão dos paradigmas inventados por um grupo de usuários. O progresso da área de programação requer a invenção continuada e elaboração de paradigmas. O desenvolvimento de um especialista em programação requer que ele possa expandir continuamente o seu repertório de paradigmas. Muito poucos livros-texto incorporam as idéias mencionadas, ou pior, existe uma tendência conservadora de não aplicá-los em cursos universitários iniciais de programação. Algumas escolas européias (Munique, Paris, Eindhoven) são exceções notáveis a esta regra.

Um outro problema bem localizado é o de que conhecimentos recentemente desenvolvidos sobre análise de algoritmos, síntese de programas, linguagens de programação, projeto e desenvolvimento de sistemas de software, enfim, os ingredientes básicos capazes de consolidar a área de tecnologia de "software" são, no máximo, apresentados em cursos de pós-graduação.

Se as ponderações apresentadas valem para o ensino a nível universitário, o que dizer do ensino a nível técnico e profissionalizante de processamento de dados. A tendência à formação de grande número de técnicos para cumprir o papel de intermediário entre o usuário e o computador ainda é a tendência vigente. Esses técnicos tendem a conhecer, por um lado, elementos das chamadas "técnicas de análise", que lhes permitem extrair do usuário uma definição do problema que ele quer ver resolvido e, por outro, um número enorme de detalhes sobre os sistemas de linguagens disponíveis para a solução deste problema.

Conforme já foi insinuado anteriormente, os laboratórios de ensino disponíveis nos programas universitários e técnicos ainda são baseados em recursos computacionais e de "software" de há, pelo menos, cinco anos atrás. Em raros casos um estudante tem acesso ao terminal de um mini, ou pode utilizar um micro exclusivamente para a sua aplicação, individualmente, ou conectado a uma rede. A situação atual é que os especialistas da área de "software" ainda formulam e projetam sistemas adequados à tecnologia do passado, o que em uma grande maioria dos casos quer dizer sistemas centralizados.

Se o usuário (estudante) das áreas de ciências exatas e tecnologia ainda con-

(14) FLOYD, D.W. *The paradigms of programming*. CACM, 1979.

tinua a ser formado a partir do pressuposto de que alguém converterá os seus problemas para a linguagem do computador, o que dizer sobre os usuários das áreas de ciências humanas e sociais. Um paralelo forte pode, no entanto, ser traçado entre o impacto da Informática nessas áreas e nas áreas tecnológicas. As aplicações baseadas em modelagem estatística e simulação adquiriram algum desenvolvimento nas áreas humanas e sociais e em alguns lugares programas de ensino refletem esta tendência claramente. Houve ainda uma aproximação visível nos últimos dez anos entre as áreas de administração e processamento de dados. A área de Sistemas de Informação perfaz o papel de ligação. A expressão Sistema de Informação refere-se a sistemas baseados em computadores para promover informações para finalidades gerenciais. Um Sistema de Informação integra análise de sistemas, estatística, administração, contabilidade, economia, finanças, mercadologia, produção e as tecnologias da Informática e Telecomunicações. Em uma certa medida, o problema de falta de sistematização da área de "software" também se reflete nesta área. As metodologias para as áreas chamadas de projeto e análise de sistemas são ainda menos rigorosas do que as utilizadas na área de tecnologia de "software". A arquitetura centralizada de computadores da última década, como em "software", ainda induzem a proposta de soluções excessivamente centralizadas ou "integradas".

Na área da Informática para a Educação (CAI, pro exemplo), a situação até o presente foi muito semelhante ao desenvolvimento do CAD/CAM para as áreas de engenharia. O custo do "hardware" e a complexidade do "software" utilizado na área não permitiram, até o presente, uma avaliação experimental rigorosa do conteúdo do material de ensino utilizado no ambiente da computação ("courseware"). O advento do microcomputador provocou um renascimento da área de utilização de computador para o ensino. A tendência, no entanto, começa a se orientar na direção de um uso mais pleno de sistemas computadorizados no sentido da educação global de seres humanos para uma Sociedade da Informação (na linha de programas pioneiros como o projeto LOGO¹⁵).

III.2 – Perspectivas na Área de Educação em Informática

Vamos nesta seção procurar analisar o impacto da recente tecnologia da Informática, "hardware" e "software", no ensino universitário das ciências exatas e tecnologia, incluindo o ensino da Informática propriamente dita. Continuaremos a fazer comentários sobre problemas educacionais afetos a outros níveis e áreas da educação.

Antes de passar ao tema central desta seção vamos, inicialmente, tecer comentários sobre o papel da Informática no processo educacional de uma maneira geral. Os

(15) PAPERT, S. Teaching children thinking. In: IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATION, 1., Amsterdam, 1970. *Proceedings*.

comentários que se seguem são baseados na seguinte hipótese, formulada de forma ligeiramente diferente por importantes autores contemporâneos (16, 17): a tecnologia da Informática ao conquistar rapidamente quase todos os setores do processamento da informação, permitindo, em particular, fácil acesso a essa informação, causará uma séria crise no tradicional sistema educativo. Especula-se que a mudança de equilíbrio entre o processamento da informação executado por seres humanos e máquinas poderá mudar drasticamente a forma pela qual o processo educacional deverá preparar estudantes de todas as idades para o seu papel futuro em uma sociedade e uma economia dominadas pela informação.

As figuras 2,3 e 4 ilustram algumas evidências de como o ambiente informacional vem-se transformando nos últimos três mil anos. Os dados das figuras 2 a 4 são selecionados do trabalho recentemente apresentado por Haefner¹⁷.

Papert¹⁸ vem acumulando exemplos para ilustrar o número de maneiras pelas quais a presença de computadores se distingue de outras diferenças culturais, em virtude de sua relevância potencial para a mudança dos padrões de desenvolvimento intelectual. Mostrando como esta presença *pode* levar a mudanças na forma pela qual crianças se desenvolvem, Papert elabora a idéia de como a difusão de sistemas personalizados de computação pode transformar-se no futuro próximo em um experimento gigante na área de psicologia do desenvolvimento¹⁹, processado numa escala social.

Algumas razões, dentre muitas que costumam ser apontadas para sugerir a possibilidade de uma crise educacional a curto prazo, podem ser formuladas da seguinte maneira:

i . Os atuais objetivos do sistema educacional estão orientados para a educação de pessoas que vivem em uma economia industrializada ou em fase de industrialização. Com o crescimento rápido do setor da informação na economia (a terceira onda de A. Tofler - 1), o sistema educacional será forçado a se adaptar rapidamente sob o risco de formar pessoas desajustadas (ajustamento rápido não é característico do processo educacional);

ii . O nível de qualificação solicitado para o acompanhamento do desenvolvimento tecnológico já vem impondo uma pressão sem precedentes ao estudante.

(16) PAPERT, S. *Mindstorms: Children, computers and powerful ideas*. New York, Basic Books, 1980.

(17) HAEFNER, K. Challenge of information technology to education: the new educational crisis. In: IFIP WORLD CONFERENCE ON COMPUTER EDUCATION, 3., Lausanne, 1981. *Proceedings*.

(18) PAPERT, S. Redefining childhood: the computer presence — an experiment in developmental psychology. *Information Processing*, 1980.

(19) PIAGET, J. *Psychology and epistemology: towards a theory of knowledge*. Penguin Books, 1977.

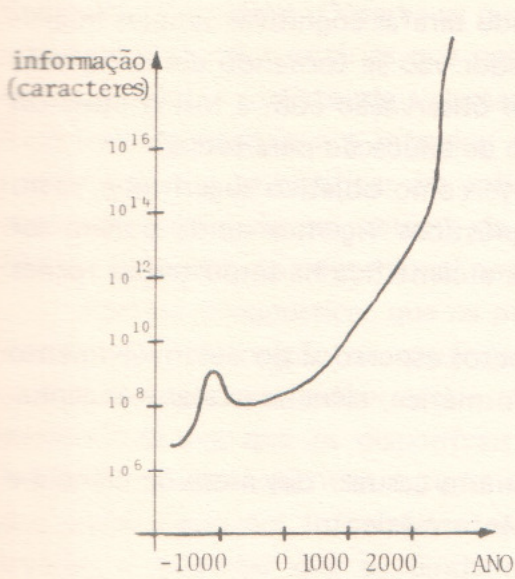


Figura 2 - Desenvolvimento da Informação Alfanumérica globalmente Disponível.

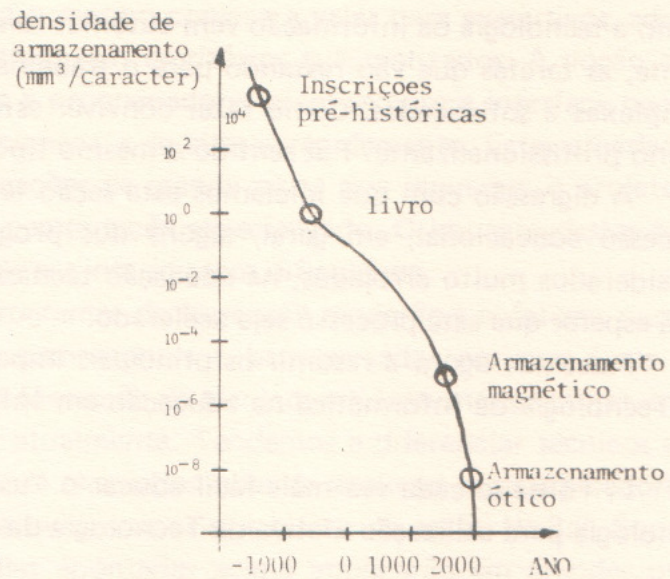


Figura 3 - Requisito de Espaço para o Armazenamento de Informação.

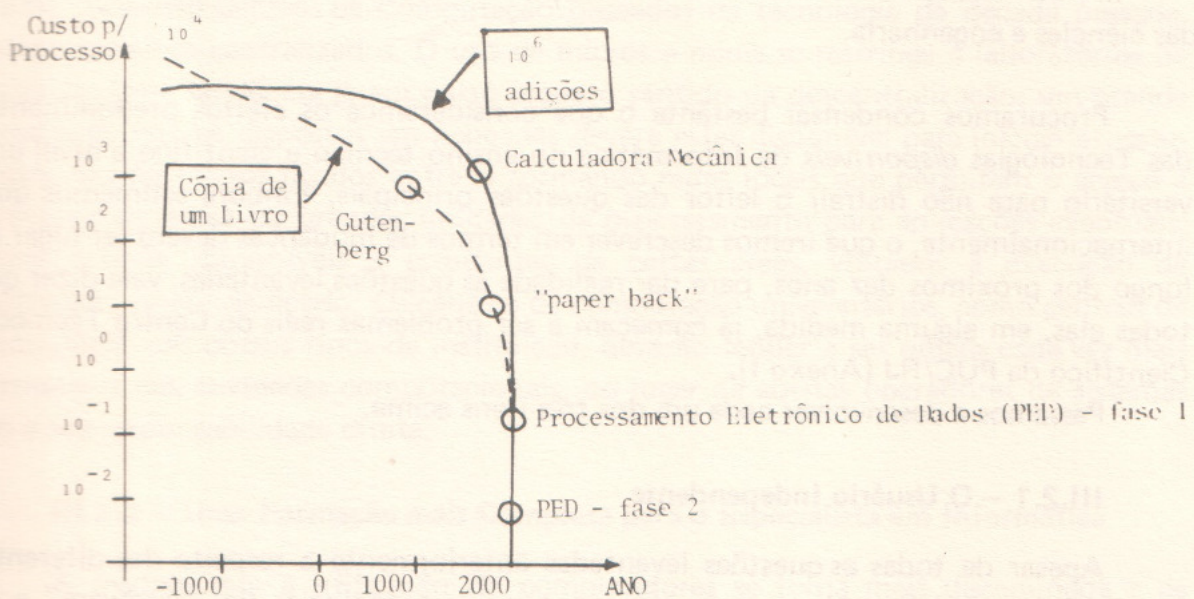


Figura 4 - Custo do (A) processo de cópia de um livro com 10⁶ caracteres e da (B) adição de 10⁶ números.

Como a tecnologia da informação vem automatizando tarefas cognitivas simples inicialmente, as tarefas que vão restando para o trabalhador vão se tornando dia a dia mais complexas e sofisticadas. Como fazer conviver esta observação com a forma atual do ensino profissionalizante? Faz sentido o mesmo tipo de educação para todos?

A digressão com que iniciamos esta seção teve como objetivo sugerir que, se no processo educacional, em geral, alguns dos prognósticos vigentes ainda podem ser considerados muito arrojados, na educação técnica e científica há importantes razões para esperar que este processo seja acelerado.

Passamos agora a resumir os principais impactos esperados do desenvolvimento da Tecnologia da Informática na educação em Informática, ciências exatas e engenharia.

i . Torna-se cada vez mais fácil educar o "usuário casual" das áreas de ciência e tecnologia para utilização efetiva da Tecnologia da Informática.

ii . Torna-se cada vez mais complexo formar um especialista em Informática para atender à nova geração de problemas que serão provocados pelo desenvolvimento da ciência e da engenharia.

iii . Os métodos de Informática deverão provocar profundas mudanças no ensino das ciências e engenharia.

Procuramos condensar bastante o que consideramos os efeitos predominantes das Tecnologias *disponíveis* da Informática no ensino técnico e científico a nível universitário para não distrair o leitor das questões principais. Embora estimemos que, internacionalmente, o que iremos descrever em termos de mudanças deverá ter lugar ao longo dos próximos dez anos, para dar realidade às questões levantadas, vale dizer que todas elas, em alguma medida, já começam a ser problemas reais do Centro Técnico e Científico da PUC/RJ (Anexo I).

Passamos a desenvolver cada um dos três itens acima.

III.2.1 – O Usuário Independente

Apesar de todas as questões levantadas anteriormente a respeito das diferentes fases de desenvolvimento em que se encontram as tecnologias de "hardware" e de "software", os sistemas de computação são atualmente relativamente fáceis de usar e sobretudo facilmente acessíveis ao usuário (em virtude da miniaturização e das telecomunicações). A interface homem-máquina progrediu sensivelmente nos últimos dois anos. Engenheiros e cientistas já estão se acostumando a se dirigir a seus próprios micros ou a utilizar seus próprios terminais para resolver seus problemas computacionais correntes. O "serviço aos usuários" dos Centros de Computação Universitários são cada vez menos usados e, quando usados, são solicitados a resolver questões rela-

tivamente complexas. Observa-se que o mesmo começa a valer para executivos, administradores e até secretárias que operam seus escritórios automatizados. A noção tradicional de que analistas de sistemas e programadores eram sempre a interface necessária entre o usuário e a máquina começa a se alterar rapidamente. Estas atividades passam agora a se justificar em aplicações de grande porte que requerem o projeto e desenvolvimento de um sistema de computação especializado. O impacto destas tendências no problema educacional pode ser inferido sem dificuldade.

Pode-se prognosticar que os programas de formação tenderão a enfatizar, numericamente, a formação de usuários competentes e bem versados em suas áreas de conhecimento e, em menor escala, a formação de técnicos em Informática muito mais especializados do que os disponíveis atualmente. Tendemos a diferenciar técnicos em Informática aqui referidos (usualmente chamados hoje de analistas e programadores) dos especialistas em Informática aos quais vamos nos referir na seção III.2.2. Somos levados a acreditar que as tendências apontadas acima implicarão em grandes programas de retreinamento para os técnicos em Informática atualmente existentes e em uma rápida atualização dos programas de formação existentes.

Outro aspecto que deverá sofrer grandes alterações é o dos laboratórios utilizados nas universidades para o ensino de computação. Hoje, tipicamente, as universidades possuem Centros de Computação baseados na tecnologia da década passada: grandes sistemas centralizados. O uso de micros e minis se restringe a laboratórios de pesquisa. Uma tendência já em curso segue o sentido da descentralização: um grande número de micros dispostos em bancadas deverá estar disponível para iniciantes; estudantes usarão micros ligados entre si formando redes locais que permitam o acesso a memórias de massa ou grandes unidades de processamento para aplicações eventuais; minis estarão disponíveis a estudantes de certas áreas, voltados à execução de "software" quase dedicado. Os centros de computação universitários, como centros de computação em outros tipos de instituição, deverão tender a ser órgãos cada vez mais normativos das atividades computacionais, no lugar de apenas operadores de sistemas sob a sua responsabilidade direta.

III.2.2 – Uma Formação mais Completa para o Especialista em Informática

À medida que a utilização de computadores se torna mais disseminada e os problemas mais "óbvios" de computação vão sendo resolvidos, os problemas reservados para o especialista em computação vão se tornando cada vez mais complexos. Esta "nova geração de problemas" será tratada por uma nova geração de especialistas em ciência de computação, engenharia de "hardware" e engenharia de "software". Não é o objetivo deste texto definir as especialidades que acabamos de enumerar, nem entrar em detalhes de projetos de currículos para essas áreas. Ao contrário, dentro do espírito do trabalho, procuraremos enfatizar tendências fortes que se vão configurando

no sistema educacional para a área de Informática. Escolhemos explorar um tópico central que deverá impactar o processo de formação para cada uma das especialidades referidas.

Inicialmente, vamos enfatizar que futuros cientistas da computação terão suas formações universitárias iniciadas de forma diferente do que se passa atualmente. O mesmo vale para os especialistas de outras ciências e engenharias. Cabe à atual geração de cientistas da computação reformular e apresentar o primeiro curso de nível universitário da área de computação de forma totalmente renovada. O ensino dos fundamentos da programação requer uma maturidade matemática muito superior à que é requerida atualmente. O aprendizado da lógica formal, que deve ser usada no raciocínio a respeito de programas e especificações, conduzindo a uma sólida teoria da programação, é a única forma de iniciação dos estudantes universitários capazes de tratar da geração de problemas cuja solução a Tecnologia da Informática possibilitou. A tendência é a de transformar programação mais em uma ciência do que em uma arte. O projeto de estruturas de dados e algoritmo é uma matéria ideal para a instrução formal: é factual, quantificável e interessante. A primeira instrução universitária em computação deverá fixar para o estudante um consenso claramente em formação²⁰: programação é uma atividade construtiva, não uma ciência analítica como astronomia; estruturas de dados, por um lado, algoritmo e programas, por outro, são visões duais da mesma entidade (elas não podem ser estudadas separadamente). O que deve ser fixado, definitivamente, para o progresso da área de Informática, é que computação *não* é:

- . um conjunto de áreas e técnicas de aplicações particulares, tais como: processamento de dados, controle de processos, análise numérica, reconhecimento de padrões, etc;

- . "hardware", a qualquer nível (eletrônica, projeto lógico, arquitetura de máquina, equipamentos disponíveis, etc);

- . linguagens de programação (a essência da computação é expressar um algoritmo em qualquer conjunto dado de primitivas).

A revisão fundamental da forma pela qual um estudante universitário é exposto pela primeira vez à computação é, sem dúvida, uma tendência irreversível e de realização difícil.

Para a redução da diferença dos níveis de qualidade existentes nos produtos "hardware" e nos produtos "software", espera-se que o meio acadêmico produza um engenheiro capaz de aplicar praticamente o conhecimento científico no projeto e construção de programas de computadores e sua documentação associada. Este especialista

(20) NIEVERGELT, J. Computer science education: an emerging consensus on basic concepts. *Information Processing*, 1980.

é comumente chamado de engenheiro de "software". A tendência a ser apontada na formação deste tipo de especialista é que ele será formado no ambiente de um "laboratório de software".

Como dissemos, de forma breve, na seção anterior, um sistema de "software" atravessa uma série de fases desde a sua concepção até o código final. A primeira fase é a definição do problema, quando se expressam o problema a ser resolvido e o objetivo do sistema pretendido, em uma linguagem dependente da área de aplicação. Isto é sucedido pela fase de especificação de requisitos, uma formulação funcional do que o sistema de "software" deve fazer. O projeto do sistema converte essas especificações em uma descrição orientada para processamento de dados (o sistema objeto), na qual os objetos conceituais, os processos e suas alternativas são identificados. A implementação do sistema reduz este projeto abstrato a uma realização concreta que é expressa em termos de sua linguagem de programação algorítmica e estruturas físicas de dados. A fase final é a compilação, que produz código de máquina executável e suas estruturas de arquivo associadas. Pode-se visualizar estas fases como uma sucessão de descrições, que começa pelo que deve ser feito e termina pela adição de uma quantidade crescente de detalhes a uma descrição de como este objetivo será satisfeito por um sistema de computação particular.

O uso de um laboratório de "software", como um ambiente para a formação de uma nova geração de engenheiros para esta área, visa a automação de várias partes da progressão de transformações descritas acima com vistas ao aprendizado de técnicas mais rigorosas de desenvolvimento de "software". Isto é equivalente a aumentar a medida pela qual o projetista diz ao computador *o que* deve ser feito, reduzindo o esforço de detalhamento sobre *como* deve ser feito. Em outras palavras, eleva-se o nível de discurso entre o projetista de "software" e o sistema de computação.

Isto já ocorreu no passado com a mudança de linguagem de máquina para montadores para linguagem de alto nível, por um lado, e por outro pela passagem do nível básico de manipulação de arquivos para bancos de dados. Os ganhos envolvidos neste processo são bastante claros: redução nos erros operacionais, aumento da possibilidade do desenvolvimento de sistemas complexos e uso mais eficiente de recursos (tempo, recursos humanos, máquina) ao longo do ciclo de vida do produto.

Os laboratórios de "software" com fins educacionais para o futuro tomarão a forma de sistemas limitados capazes de sistematizar uma parte do processo de programação, sintetizando programas pequenos de propósito especial. O contexto deverá ser um domínio de problema relativamente simples que possui uma estrutura semântica bem definida e bem entendida. Exemplos possíveis podem ser um sistema automático para o desenvolvimento de bancos de dados ou um sistema para a geração de sistemas de controle de estoque individualizados para um certo tipo de usuário. Tais sistemas poderão ter alguma inteligência acumulada sobre um domínio de aplicação, visando dar assistência ao programador para a derivação de um conjunto completo e

consistente de especificações de programa.

O resultado mais importante do uso do laboratório de "software" na formação de engenheiros para esta área é que se espera que no final dos anos 80 estejam formados especialistas com um nível de compreensão sobre o processo de programação sem precedentes no passado. O engenheiro de "software" tenderá a trabalhar com "componentes selados"²¹, praticando "programação em ponto grande". Seu conhecimento estará fortemente relacionado à área particular de aplicação para a qual o sistema de programação está sendo desenvolvido. Por exemplo, projetistas de sistemas operacionais serão especialistas no comportamento de sistemas de computação, ao passo que especialistas em automação de supermercados construirão "software" para este tipo de área de aplicação. No entanto, ambos profissionais retirarão componentes do mesmo estoque de "módulos de software", que serão projetados e continuamente aperfeiçoados por especialistas em "programação em ponto pequeno". Os problemas de retreinamento e educação serão enormes nesta área, uma vez que ciência da computação e educação em engenharia ainda hoje estão quase inteiramente orientadas para "programação em ponto pequeno".

No início desta seção separamos propositadamente o engenheiro de "software" do engenheiro de "hardware". Esta separação está se tornando cada vez mais artificial, porque o advento dos microcomputadores veio viabilizar uma aproximação sonhada há muitos anos: a arquitetura dos sistemas de "hardware" da arquitetura dos sistemas de "software".

Pode-se imaginar que, cada vez com maior frequência, laboratórios universitários servirão de infra-estrutura para programas de ensino sobre sistemas baseados em microcomputadores. A figura 5 ilustra o material que pode ser coberto em um programa de ensino com os objetivos mencionados.

Num programa como o resumido na figura 5, o estudante de engenharia é apresentado inicialmente a uma "linguagem de projeto" na qual ele aprenderá a especificar semiformalmente os níveis mais altos de um sistema baseado em micros. O projeto é desenvolvido, codificado e compilado em um computador de grande porte usado interativamente e depois transferido a um microcomputador para verificação e integração. A metodologia bastante relacionada com o princípio de utilização de um laboratório de "software" é basicamente autodocumentada. Os aspectos de projeto de "hardware" envolvem desde a montagem de um sistema com a utilização de microcomputadores e periféricos até o desenvolvimento de um sistema para monitoramento e avaliação dos aspectos de custo-benefício de desempenho do projeto. O desenvolvimento do conhecimento teórico sobre sistemas distribuídos contribuirá para a tentativa de projetos com alto grau de paralelismo. Programas de cursos com estruturas semelhantes à

(21) BELADY, L.S. Evolved software for the 80's. *IEEE Computer*, 1979.

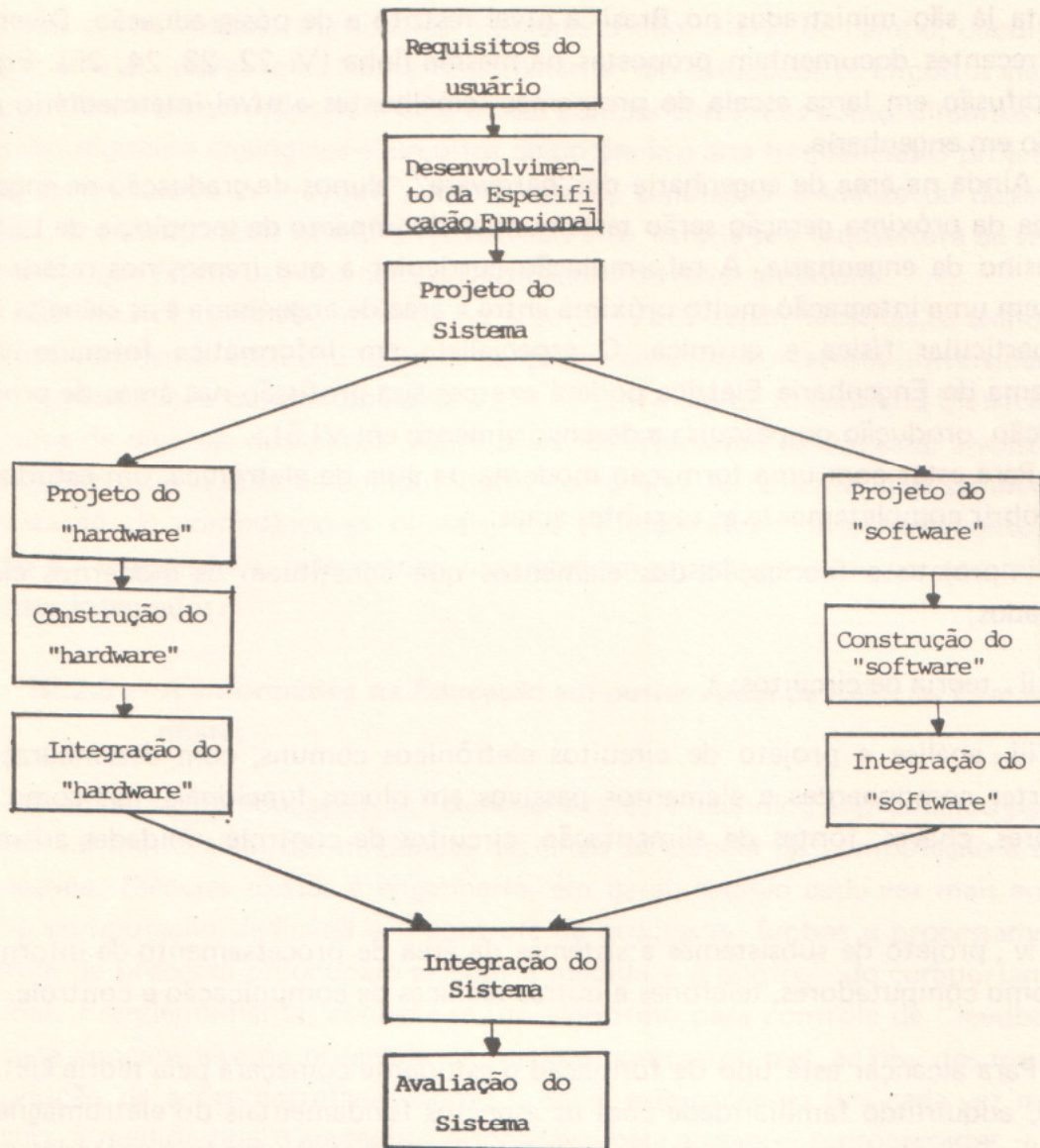


Figura 5 - Ciclo de projeto de um sistema baseado em microcomputadores.

descrita já são ministrados no Brasil a nível restrito e de pós-graduação. Diversos artigos recentes documentam propostas na mesma linha (V. 22, 23, 24, 25). Espera-se uma difusão em larga escala de programas semelhantes a nível intermediário de graduação em engenharia.

Ainda na área de engenharia de "hardware", alunos de graduação de engenharia elétrica da próxima geração serão testemunhas do impacto da tecnologia de LSI/VLSI no ensino da engenharia. A reformulação curricular a que iremos nos referir não se dará sem uma integração muito próxima entre a área de engenharia e as ciências exatas, em particular física e química. O especialista em Informática formado via um programa de Engenharia Elétrica poderá exercer sua profissão nas áreas de projeto de aplicação, produção ou pesquisa e desenvolvimento em VLSI.

Para estar com uma formação moderna na área de eletrônica, um estudante deverá cobrir completamente as seguintes áreas:

i . projeto e fabricação dos elementos que constituem os modernos circuitos integrados;

ii . teoria de circuitos;

iii . análise e projeto de circuitos eletrônicos comuns, com desembaraço para converter componentes e elementos passivos em blocos funcionais, tais como amplificadores, chaves, fontes de alimentação, circuitos de controle, unidades aritméticas, etc;

iv . projeto de subsistemas e sistemas da área de processamento de informações, tais como computadores, telefones e outras técnicas de comunicação e controle.

Para alcançar este tipo de formação o estudante começará pela teoria eletromagnética, adquirindo familiaridade com os aspectos fundamentais do eletromagnetismo, da radiação e da transmissão da energia eletromagnética. Numa fase posterior segue-se o aprendizado da teoria de circuitos, inclusive a análise transiente. Adiante serão estudados os materiais eletrônicos e suas características e métodos de processamento de materiais eletrônicos, incluindo tópicos como oxidação, difusão, implantação de íons, fotolitografia e métodos para depósito de filmes finos. Segue-se o estudo de com-

(22) FREEDMAN, M.D. et alii. A systems approach to teaching microcomputers. *IEEE Transactions on Education*, E-24 (1) 1981.

(23) MUDGE, T. A course sequence in microprocessor — based digital systems design. *IEEE Transactions on Education*, E-24 (1) 1981.

(24) SNYDER, J.B. Microcomputers in the engineering curriculum: a response to the challenge. *IEEE Transactions on Education*, E-24 (1) 1981.

(25) KLAFTER, R.D. An introductory course in microprocessors for freshmen. *IEEE Transactions on Education*, E-24 (1) 1981.

ponentes como diodos, transistores bipolares e com efeito de campo, circuitos integrados, células solares etc. Numa fase posterior são estudados os circuitos eletrônicos que podem ser construídos com base nesses componentes, tais como: circuitos lineares, circuitos digitais e analógicos e circuitos de potência e alta frequência. O projeto desses circuitos, incluindo o "layout", interconexão, simulação e análise de desempenho, também é tratado neste nível. No nível mais alto, estuda-se a arquitetura de sistemas e aplicações que fazem uso dos circuitos utilizados no nível anterior.

Embora os desenvolvimentos na área de VLSI sejam recentes, a tecnologia de circuitos vem sendo ensinada há cerca de quinze anos em numerosas universidades.

A introdução da tecnologia de VLSI no currículo de Engenharia Elétrica altera a estrutura de diversas disciplinas. Além disso, os estudantes devem estar à vontade, não apenas com a utilização de computadores como uma ferramenta, mas também com a organização de computadores digitais, sua programação e interfaceamento. A tendência é a exposição a, pelo menos, um curso em projeto assistido por computador de circuitos integrados.

III.2.3 – A Informática na Educação em outras Áreas de Ciências Exatas e Engenharia

O impacto na educação em ciências exatas e tecnologia produzido pela Informática vai muito além das mudanças nas áreas de ciência da computação e engenharia elétrica. Ciências exatas e engenharia, em geral, estarão cada vez mais envolvidas com a computação dedicada e o controle de processos. Ambos o processamento e o controle de processo preocupam-se com a medida e o controle do comportamento de sistemas. Frequentemente, conhece-se um algoritmo para controle de "feedback" e o interesse concentra-se na obtenção de medidas em tempo real, análise dos resultados e a produção de ações corretivas. Como se sabe, este processo fica cada vez mais aprimorado, à medida que o segmento responsável pela análise – o processador – torna-se cada vez mais barato, mais rápido e mais eficiente. Subáreas desta área geral incluem: automação individual, com a robótica e as máquinas de controle numérico; o controle de processos, com aplicações tais como sensores múltiplos; controladores de máquinas seqüenciais, com aplicações tais como controle de sinais de tráfego ou utilidades domésticas; e instrumentação analítica, que inclui equipamentos de teste e monitoramento para eletrônica, medicina, química etc.

A revolução esperada do ensino desta área para ciências exatas e engenharia é que, em função de sua natureza fortemente interdisciplinar, ela consiga aproximar algumas áreas que em certa medida vêm tendo desenvolvimento autônomo e pouco eficaz. O problema central na área é o de saber se o algoritmo de controle de "feedback" para a instrumentação é bem conhecido. Usuários de diversas áreas técnicas e científicas deverão aprimorar os seus conhecimentos sobre computação e en-

genharia elétrica para atuarem independentemente em suas áreas, enquanto cientistas da computação e engenheiros elétricos estarão pesquisando e desenvolvendo arquiteturas de "hardware" e "software" que permitam aos especialistas de outras áreas resolverem seus problemas de aplicação, utilizando sistemas de computação a um nível mais alto de abstração do que o possível atualmente.

Uma outra forma direta pela qual a área de Informática deverá processar alterações profundas no ensino técnico e científico é através das áreas de Projeto Assistido por Computador/Fabricação Assistida por Computador (CAD/CAM). À medida que esses sistemas forem sendo usados em larga escala no processo de concepção e projeto de sistemas físicos, cada área de aplicação começará a acumular conhecimentos sobre os métodos de solução de problema e projeto na área. Este conhecimento, se adequadamente representado e catalogado, poderá ser manipulado por técnicas da área de inteligência artificial ("knowledge based systems"). A associação da área de CAD à área de inteligência artificial²⁶ deverá trazer dimensões inéditas ao projeto de sistemas físicos, com conseqüentes mudanças estruturais nos sistemas educacionais associados.

Ao longo dos anos 80 o sistema educacional de ciências exatas e engenharia, através do uso mais intenso dos sistemas existentes de CAD/CAM, deverá estar absorvido pelo processo de representação e catalogação dos métodos de solução de problema e projeto em suas diversas áreas. O componente mais novo neste processo é a preocupação com o aspecto de representação do conhecimento, até hoje expresso em linguagem natural, gráfica e matemática.

(26) DINCBAS, M. A knowledge-based expert system for automatic analysis and synthesis in CAD. *Information Processing*, 1980.

ANEXO I

Breve Histórico sobre a Pesquisa e Formação de Recursos Humanos em Informática no Centro Técnico e Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

A história da computação na PUC/RJ teve início há cerca de 21 anos. Em 1960 foi instalado, na antiga Escola Politécnica da PUC, um sistema de primeira geração (B-205-Datatron) e constituído um dos primeiros centros de computação universitários da América Latina. O sistema, durante os primeiros anos de funcionamento (1960-64), foi gerido por um consórcio constituído pela PUC/RJ, Instituto de Pesquisas da Marinha, CNPq, CBPF, Petrobrás e Ministério das Relações Exteriores. A opção do governo pela PUC para este empreendimento foi extremamente bem sucedida e teve o efeito de irradiar conhecimentos e engenheiros formados pela universidade no seu centro de computação pelas diversas instituições participantes do projeto. Além das instituições associadas ao projeto, Furnas e Fundação Getúlio Vargas, dentre outras, instituições de renome também iniciaram suas atividades de computação através de projetos desenvolvidos no CPD inicial da PUC. De 1960 a 1964 o Centro de Computação ofereceu uma longa série de cursos de extensão universitária nos quais, ao lado de programação de computadores, ensinava-se o projeto lógico de computadores e pesquisa operacional. Desde 1961, o sistema Datatron era operado, programado e mantido quase exclusivamente por alunos da universidade. O "software" de apoio do sistema Datatron e mesmo o seu "hardware" foram adaptados e ampliados por professores e estudantes.

A partir de 1964 o CPD da Escola Politécnica foi ampliado pelo acréscimo de um computador B-200/300. Nele, entre outros projetos relevantes, iniciaram-se os primeiros trabalhos da área de computação do BNH. Este equipamento também foi operado e programado por alunos da universidade.

Em 1965 foi formado um grupo de matemática computacional dentro do Departamento de Matemática. O grupo teve inicialmente a seu encargo o ensino, a nível de graduação, de Introdução à Computação, Matemática Numérica e Estatística para *todos* os cursos da Universidade.

Já em 1967 foi criado o Rio Datacentro, um centro de Computação de grande porte, inicialmente ligado à Vice-Reitoria Acadêmica da Universidade. Este centro passou a operar um IBM-1130 (instalado em 1966 na Escola Graduada de Ciências e Engenharia) e um IBM-7044 (instalado em janeiro de 1968) cedido à PUC pela IBM do Brasil. Neste momento a PUC passou a ter o maior centro de computação universitário da América Latina. Uma contribuição importante foi dada por este novo centro de computação à comunidade logo em 1970, quando uma parte substancial do Censo de

70 foi desenvolvida e processada na PUC em convênio com o IBGE. Um sistema 370/165 modernizou o Rio Datacentro em 1971 e através de sua atuação, instituições como a CNEN e a Embratel vêm criando ou desenvolvendo seus programas na área de processamento de dados.

Também em 1967, o grupo de matemática computacional deu início ao programa de mestrado em Informática, ainda em associação com o Departamento de Matemática. O desenvolvimento rápido deste programa levou à criação em 1968 do Departamento de Informática, que se tornou o responsável por todo ensino e pesquisa desta área no recém criado Centro Técnico e Científico (nascido da agregação da Escola Politécnica com as áreas de Ciências Exatas).

Pouco depois da criação do Departamento de Informática, teve início um programa de capacitação do corpo docente. Este programa previa a ida ao exterior de todos os professores que ainda não possuíam o grau de doutor. Este programa foi concluído em 1975. Neste mesmo ano teve início um outro programa de capacitação do corpo docente visando a renovação do professorado e a estabilidade do Departamento a longo prazo.

Na transição entre o apoio institucional que o FUNTEC-BNDE dava ao Departamento (1973) e o início do projeto FINEP (1975), o Departamento atuou ativamente em projetos de "software" para o sistema G-10, sob o patrocínio da Digibrás. Juntos, pesquisadores egressos da PUC e da USP passaram a constituir um núcleo importante da equipe de desenvolvimento de sistemas da COBRA.

A regularização do apoio à pesquisa e pós-graduação do CTC, através de convênios com a FINEP, possibilitou o início do programa de doutoramento em Informática do Departamento a partir de 1975. Ainda nesse ano, teve início uma certa descentralização das atividades de pesquisa em Informática no CTC, com o maior envolvimento do Departamento de Engenharia Elétrica com a área de Sistemas Digitais.

Nos últimos seis anos, o Departamento de Informática vem sendo um dos departamentos mais produtivos, academicamente, do CTC da PUC e dos programas de pós-graduação mais conceituados no Brasil na sua área. O grande destaque tem sido a formação de recursos humanos e a pesquisa básica. A ênfase nessas atividades capacitou o departamento a ingressar ativamente nos últimos anos na prática da pesquisa aplicada, área na qual deverá se desenvolver nos próximos anos.

O número total de alunos formados a nível de mestrado no departamento desde o início do programa até o presente (final de 1981) é aproximadamente 300. Sete teses de doutorado já foram defendidas no departamento. Atualmente o departamento conta com 120 alunos de pós-graduação, 105 no mestrado e 15 no doutorado (ambos os programas são reconhecidos pelo CFE). Vinte e cinco universidades brasileiras em 18 estados e 3 universidades latino-americanas têm hoje mestres e doutores formados no Departamento de Informática. Em alguns casos, os grupos oriundos da PUC são os mais numerosos nos programas. Mais de 70% dos mestres formados trabalham hoje

para indústrias brasileiras, empresas e agências do governo. Números muito expressivos de egressos do programa da PUC encontram-se hoje na COBRA, no SERPRO, no Ministério da Agricultura (EMBRAPA), no Ministério da Marinha, na Petrobrás e no Banco do Nordeste, entre outros. A maioria das "Software Houses" e "System Houses" brasileiras contam hoje com quadros de graduados, pós-graduados e ex-professores do Departamento de Informática da PUC.

A aproximação do Departamento de Informática com o Departamento de Engenharia Elétrica teve, formalmente, lugar em 1979 com a criação do Laboratório de Engenharia de Sistemas de Computação (LESC), onde projetos integrados de "hardware" e "software" são desenvolvidos. Este Laboratório mantém íntima ligação com o Laboratório de Eletrônica Digital da Engenharia Elétrica. Junto com o Centro de Telecomunicações da PUC, a Informática mantém um projeto na área de redes de computadores patrocinado pela Telebrás. Outra área de pesquisa interdisciplinar de que participa o Departamento de Informática é a de "Software" Matemático, na qual colabora com os departamentos de Engenharia Mecânica e Matemática.

Hoje o Departamento de Informática conta com um corpo docente com 14 doutores e 2 doutorandos (conclusão próxima). Nos últimos seis anos este corpo docente desenvolveu diversos sistemas de "software" (em utilização no país e no exterior) e mais de uma centena de artigos técnicos. Esses resultados somados à qualidade de seus graduados valeram ao Departamento uma posição de destaque no país e no exterior, expressa na forma de participação permanente na assessoria a decisões técnicas do governo no setor (CNPq, CAPES, FINEP, SEI) e de prêmios de pesquisa e outras distinções (direção de várias conferências) internacionais.

ANEXO II

Breve Histórico sobre o Desenvolvimento Científico e da Pós-Graduação em Computação no Brasil

As atividades mais expressivas de pesquisa e pós-graduação em computação no Brasil são bastante recentes, datando de meados a fins da década dos sessenta. Inicialmente, algumas boas universidades receberam um primeiro computador (1960 na PUC/RJ, 1962 no ITA e na USP) e reuniram em torno dele equipes que, sem preparo adequado ou experiência, mas com grande dose de entusiasmo, conseguiram fazê-lo funcionar para a solução de problemas simples. O fascínio do computador atraiu alguns dos melhores alunos dessas instituições e os grupos começaram a se aventurar a desenvolver alguns tópicos elementares de pesquisa. Pouco depois, iniciou-se o processo de envio de alunos para centros de pós-graduação no exterior e o convite a especialistas estrangeiros para trabalhar no Brasil. A facilidade de acesso ao computador e a utilidade às vezes imediata do trabalho desenvolvido agiram como um estímulo muito forte para que em alguns anos os grupos começassem a fazer pesquisa e desenvolvimento tecnológico em computação.

O cenário apresentado é aplicável não só aos grupos acima citados, mas é a história típica da maioria dos centros de pesquisa da área no país. Foi essencialmente este o início dos programas da USP (tanto no IME quanto na EPUSP e no IF), do ITA, da PUC/RJ, da UFRJ, da UFRGS, da UFMG, da UFPb e da USP – São Carlos. As atividades de pós-graduação no INPE e na UNICAMP originaram-se dos programas de ensino, mas, em ambas as instituições, a disponibilidade do equipamento e o bom relacionamento entre o Centro de Computação e o programa de pesquisas foram primordiais. No IF da USP e na UFRGS, a necessidade do uso de computadores e de circuitos digitais em experimentos de física também atuou como germe inicial das atividades de computação. Na EPUSP, a interação com a engenharia elétrica forjou a personalidade do grupo de computação.

Depois do impulso inicial, muitas vezes as atividades de pesquisa e desenvolvimento e as do centro de computação acabaram se separando, em geral por causa dos grandes encargos de um centro bem sucedido: processamento de dados administrativos, usuários acadêmicos etc., que tolhem sua flexibilidade como centro de pesquisa. Esta separação deu-se na PUC/RJ, na UFMG, na UFRGS, na UFPb, na USP, enquanto, na UFRJ, o NCE adquiriu uma estrutura que permite também o desenvolvimento da pesquisa.

Ultimamente os centros de pesquisa têm sentido cada vez mais a necessidade de terem seus próprios sistemas de computação para desenvolvimento de projetos. A médio prazo tal situação será generalizada em benefício dos programas de pesquisa desses centros, especialmente da pesquisa aplicada.

Os centros que primeiro iniciaram pós-graduação na área de Computação propriamente dita, e com intensidade suficiente para se destacar nas áreas em que se desenvolveram, foram a PUC/RJ (Departamento de Informática) e a UFRJ (COPPE). Ambos os centros possuem, em situação de regime, programas de mestrado e de doutorado. Esses dois centros são responsáveis por cerca de dois terços dos mestres formados no país. Na USP as atividades iniciaram-se no Centro de Computação (da EPUSP, depois do IME e hoje da USP), originando o grupo que hoje constitui o programa de Matemática Aplicada com cursos de mestrado (e de graduação plena). Pouco depois surgiram grupos independentes na Engenharia Elétrica e no Instituto de Física (Física Nuclear). Há hoje uma especialidade muito forte em Sistemas Digitais no programa de pós-graduação (mestrado e doutorado) da Engenharia Elétrica da USP que é responsável pela maioria dos doutores em computação formados no país.

Na UNICAMP, em 1968, foi criado um curso de bacharelado, pioneiro no país, em Ciência da Computação. Em 1974/75, com a volta dos primeiros professores do programa de cursos de pós-graduação do exterior, foi regularizada a pós-graduação, que adquiriu grande impulso.

Em 1972 a UFMG iniciou o ensino de disciplinas de Computação na graduação no Departamento de Matemática. Em 1973 se formou um Departamento de Estatística e Ciência de Computação que passou a se responsabilizar pelo ensino pós-graduado. Em 1974 teve início o programa de pós-graduação no Departamento. O núcleo inicial de atividades em Computação na UFMG foi o Centro de Computação que existe desde 1967. Em 1976 foi criado o Departamento de Ciência da Computação que absorveu a atividade de pesquisa, antes localizada na Divisão de Tecnologia do Centro de Computação. Em 1978 teve início o curso de bacharelado em Ciência da Computação.

Na UFRGS houve um processo de fusão de esforços, com a criação de um curso de mestrado em Ciência da Computação. Para tal, os grupos do laboratório de instrumentação do Instituto de Física com experiência em "hardware" e do Centro de Processamento de Dados, com experiência de programação, juntaram esforços e criaram o curso de mestrado. Há também na UFRGS um curso de graduação e um de extensão em Engenharia de Sistemas da Computação.

O INPE, desde 1970, tem-se dedicado à pesquisa e pós-graduação na área de Computação (Sistemas Digitais e Computação Aplicada). Embora as atividades sejam dedicadas às aplicações especiais, isto inclui projetos e teses que se caracterizam como sendo de Ciência da Computação ("software", "hardware", reconhecimento de imagens e teoria).

O Departamento de Estatística e Ciência da Computação do ICMSC da USP é o principal responsável pelo programa de mestrado interunidades em Estatística e Ciência da Computação da USP/São Carlos. Há também um curso de bacharelado em Ciência da Computação. O grupo se originou dos analistas numéricos do Instituto de

Ciências Matemáticas e do Centro de Computação.

Na UFPb (Escola Politécnica de Campina Grande), os trabalhos em computação são ainda mais voltados para a prestação de serviços à Escola Politécnica e a maior parte de seus projetos envolve atividades de Cálculo Numérico de aplicação à Engenharia. O Centro de Computação foi em Campina Grande, o núcleo de onde saiu o pessoal para formar o Departamento de Sistema e Computação, que está agora oferecendo curso de mestrado.

No ITA, o Laboratório de Processamento de Dados existe desde 1962, tendo sido uma das primeiras instituições de ensino superior a usar o computador no ensino. Muitas teses de Mestrado de aplicação de computadores e algumas de eletrônica digital foram desenvolvidas desde então. Foi agora criada uma área de computação, provisoriamente no programa de Matemática Aplicada.

A UFPe, fortalecida com o recente retorno de alguns professores titulados e com alguns professores visitantes, está oferecendo um curso de mestrado e um de bacharelado em Ciência da Computação.

Os trabalhos mais importantes de pesquisa aplicada desenvolvidos nas diversas instituições seguiram também um curso bem comum entre si. Inicialmente os trabalhos concentram-se no desenvolvimento de "software" de aplicação para os computadores, seguidos de uma fase onde pequenos projetos de eletrônica digital ou de construção de alguns "software" básicos. Mais recentemente projetos mais ambiciosos de construção de unidades centrais de processamento, sistemas operacionais completos, bem como sistemas de entrada de dados foram e continuam sendo desenvolvidos nas diversas instituições. Na área da pesquisa básica é possível afirmar atualmente que os principais centros universitários têm considerável domínio dos fundamentos da Ciência da Computação, havendo já contribuições significativas de autores brasileiros à literatura científica internacional.