



PSI-2222 Práticas de Eletricidade e Eletrônica II

Uma Breve História dos Sistemas Eletrônicos

João Antonio Zuffo
Marcelo Knörich Zuffo
Marco Antonio Simon dal Poz
Roseli de Deus Lopes

{jazuffo, mkzuffo, mdalpoz, rdlopes}@lsi.usp.br

Laboratório de Sistemas Integráveis
Depto. de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
Escola Politécnica da USP

1 Introdução

Ao longo dos séculos o ser humano imaginou e engenhou máquinas que em muito melhoraram a nossa qualidade de vida. A imaginação transformou-se em livros de ficção científica e mais recentemente filmes que estabeleceram a visão de futuro das necessidades tecnológicas da sociedade. Livros e filmes vastamente conhecidos na cultura popular como Frankstein (Mary Shelley), a Máquina do Tempo (H.G. Wells), Metropolis (Fritz Lang), 2001 Uma Odisséia no Espaço (Arthur Clarke), Star-Trek estiveram um passo a frente das futuras realizações científicas e tecnológicas dos nossos tempos.

O engenho humano através de um esforço árduo de cientistas e engenheiros criou o conhecimento necessário para o desenvolvimento da eletrônica e dos sistemas eletrônicos e a sua respectiva aplicação na sociedade. Fundamentalmente a **eletrônica** é baseada no controle do movimento dos elétrons nos vários dispositivos e sistemas.

Ao longo do século XX percebemos a rápida incorporação da tecnologia eletrônica na sociedade, graças aos avanços do conhecimento da física do estado sólido e a viabilidade de produção de dispositivos eletrônicos em ultra-alta-escala. Os engenheiros elétricos e eletrônicos, tiveram um papel fundamental neste processo convertendo o conhecimento científico em inúmeras aplicações sequer imaginadas há alguns anos atrás. O impacto na sociedade é de maneira tal que muitos historiadores acreditam que estamos numa nova era: a InfoEra.



Este texto apresenta uma breve e sucinta descrição da evolução histórica dos sistemas eletrônicos que de ficção transformaram-se em realidade. Outro objetivo deste texto é motivar as futuras gerações de engenheiros a imaginar como poderão também contribuir nesta inexorável revolução científica e tecnológica.

2 Da Antiguidade ao Século XX

As primeiras necessidades tecnológicas do ser humano estiveram diretamente relacionadas com a atividade agro-pastoril. A partir da fixação das aldeias e cidades principalmente no eixo Europa-Ásia há mais de 5.000 anos atrás, a atividade comercial cresceu intensamente estabelecendo a necessidade de sistemas numéricos e métodos precisos e rápidos de cálculo numérico, surgiram então os avós das calculadoras modernas: O Ábaco.

O Ábaco nada mais é do que uma pequena plataforma de madeira com pequenas contas dispostas em fios de arame, capazes de permitir rapidamente o manuseio para a representação de números e a realização de contas.



Figura 1 – Ábaco Chinês

No ábaco chinês na parte superior cada peça representa cinco unidades e na parte inferior cada peça vale uma unidade. Os números aqui representados são 7,230 e 189

Vários séculos depois as primeiras calculadoras mecânicas surgiram, baseadas nos princípios de representação numérica, na figura 2 apresentamos a máquina de somar de Blaise Pascal construída em 1672.

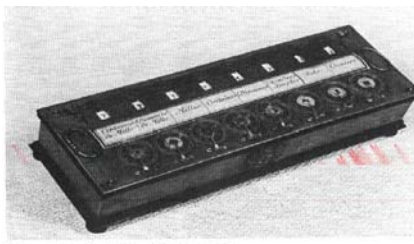


Figura 2 – Máquina Calculadora Mecânica de Blaise Pascal -1672



Com o advento da revolução industrial no século XIX o tecelão Joseph Jacques inventou um sistema para a produção automática de configurações em tecidos. Este sistema utilizava cartões tipo placas perfuradas para controlar o tipo e as cores das configurações desejadas.

Ada Augusta, Condessa de Lovelace. Filha do poeta Byron, mostrou desde a mais tenra idade grande inclinação pelas matemáticas. Amiga próxima de Babbage desde a infância, traduziu e detalhou para o inglês os trabalhos de Babbage. Muitas de suas contribuições são usadas em computadores modernos.

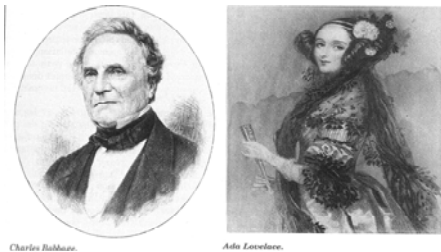


Figura 3- Charles Babbage e Ada Lovelace

Preocupado com os sete anos gastos na tabulação dos dados do censo de 1880, o governo americano contratou Herman Hollerith para desenvolver uma máquina que dinamizasse a tabulação. Hollerith construiu uma máquina acionada a eletricidade que era comandada por cartões perfurados, permitindo que o censo de 1890 fosse tabulado em três anos.

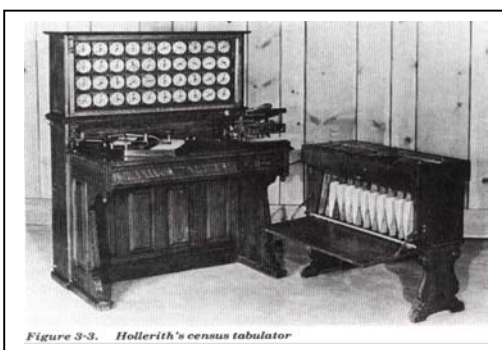


Figura 4 – Máquina de Tabular de Hollerith

Com o sucesso obtido Hollerith pode fundar uma empresa denominada de *Tabulating Machine Company*. Em 1911 esta empresa uniu-se a várias outras dando origem a *Computer Tabulating Recording Company*. Em 1924 esta empresa mudou de nome para *International Business Machines Corporation* (IBM). Em 1935 a IBM já dominava cerca de 80% do mercado de fabricação de equipamentos de cartões perfurados.



3 A Rápida Evolução no Século XX

Com o advento da eletricidade sistemas eletromecânicos tornaram-se cada vez dominados pelos engenheiros nas primeiras décadas do século XX, neste período surgiram os primeiros computadores avançados.

O ápice das máquinas eletromecânicas foi atingido no início da década de 1940 com o trabalho de Howard Aiken na Universidade de Harvard. Com o suporte de U\$500.000,00 e 4 engenheiros da IBM, Aiken começou a construir sua máquina em 1939. O nome oficial da máquina era “*The Automatic Controlled Sequence Calculator, Mark I*” tendo sido completado em 1944. Continha 800 Km de fios e 3 milhões de conexões. Esta máquina realizava multiplicações em 6 segundos e divisões em 12 segundos.

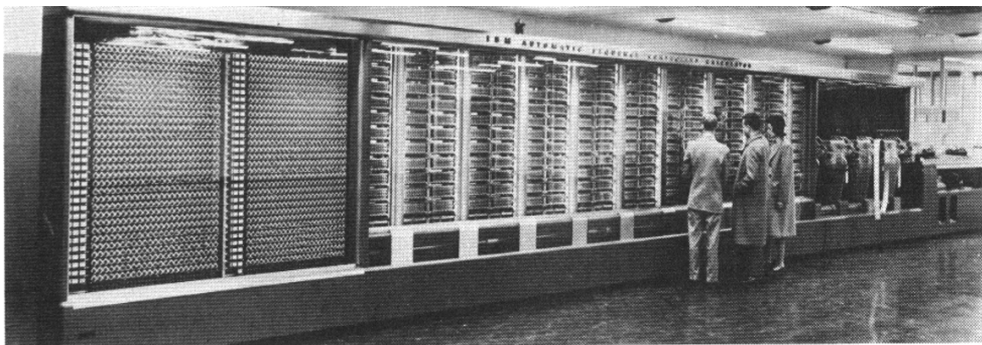


Figura 5 – O Computador Mark I

Entretanto um passo importante para a computação moderna foi o desenvolvimento de sistemas computadorizados eletrônicos. Já na década de 30 os primeiros sistemas de radiodifusão entraram no ar baseados em válvulas a vácuo (válvulas termoionicas), bem como os primeiros testes de transmissão televisiva realizados na Alemanha em 1933.

Em 12 dezembro de 1901, Guglielmo Marconi transmitiu a primeira mensagem sem fio através do atlântico. Os primeiros equipamentos eram grosseiros, mas em poucos anos eles receberam enormes melhorias. Um desenvolvimento importante foi o das válvulas termoionicas capazes de permitir a implementação de retificadores e amplificadores. O princípio de funcionamento das válvulas termoionicas baseia-se no fluxo de elétrons irradiados a partir de um filamento de carbono aquecido. Em 1904 Sir John Ambrose Fleming descobriu que colocando um cilindro metálico (prato) ao redor do filamento e conectando-se o filamento a um terceiro terminal, a corrente podia ser portanto retificada e então detectada por um receptor telefônico, este dispositivo ficou conhecido como **Diodo**.



Em 1906 o pesquisador Lee De Forest nos Estados Unidos, fez melhoria significativa ao diodo transformando-o no **Triodo** introduzindo o terceiro eletrodo (a grade) entre o filamento e o prato, a grande vantagem desta melhoria foi permitir a amplificação do sinal. A aplicação do Triodo permitiu a disseminação em larga-escala na década de 1920 da radiodifusão no mundo e a conseqüente explosão de manufatura de rádios.

O princípio da emissão eletrônica do filamento aquecido foi originalmente descoberto por Thomas Edison quando o mesmo fazia experimentos com a lâmpada elétrica, Thomas Edison não deu importância para estes experimentos, que foram redescobertos a luz da aplicação em circuitos eletrônicos à válvula anos depois.

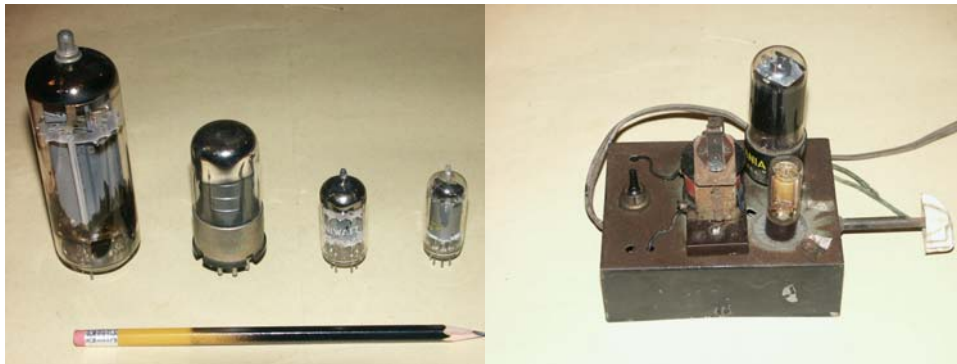


Figura 6 Válvulas Termoionicas e Foto-Rele a Válvula Projetado e Construído por João Antonio Zuffo em 1955

As válvulas termoionicas (diodo, triodo e pentodo) foram os primeiros componentes eletrônicos não-lineares disponíveis aos engenheiros eletrônicos, são ainda usadas em sistemas de microondas de alta potência e em dispositivos de exibição os famosos tubos de raios catódicos utilizados em praticamente 99% dos televisores do mundo. Dentre as vantagens destes componentes podemos citar a excelente resposta em frequência, dentre as desvantagens podemos destacar as grandes dimensões, o alto consumo de energia e o respectivo baixo rendimento.

O advento da Segunda Guerra Mundial e as várias demandas militares decorrentes como o cálculo balístico de precisão, a necessidade do radar e a criptografia de mensagens deram grande impulso ao desenvolvimento de sistemas eletrônicos mais avançados tanto analógicos como digitais.

John Atanasoff construiu o primeiro computador eletrônico na Universidade Estadual de Iowa. No início de 1939, Atanasoff recebeu um auxílio de U\$650 da Universidade ,com o qual pagou os



serviços em tempo parcial de seu estudante de pós-graduação, Clifford Berry e comprou materiais com os quais construiu a máquina ABC (Atanasoff-Berry Computer), constituída de 300 válvulas a vácuo. Esta máquina podia resolver 29 equações simultâneas com 29 variáveis. O projeto do primeiro computador eletrônico do mundo foi simultâneo ao projeto do alemão Konrad Zuze na Alemanha, alguns historiadores consideram que a família de computadores Z, eram programáveis e com memória muito antes do surgimento do famoso ENIAC.

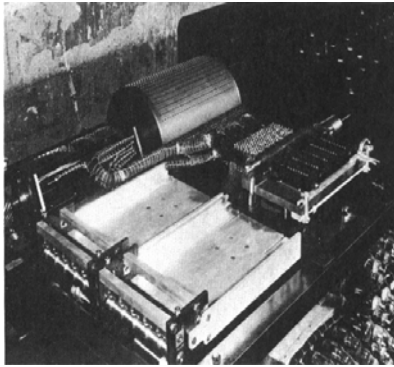


Figura 6 – Máquina ABC

percebiam neste caso o grande avanço da eletrônica na direção da miniaturização comparando o Mark I (Figura 5) com a máquina ABC ao lado.

A demanda por potência de processamento gerada pela II guerra mundial, sobretudo em balística, levou o engenheiro eletrônico J. Presper Eckert e o físico John Mauchly proporem ao exército americano um computador eletrônico que poderia realizar os cálculos em segundos. Dessa forma nasceu o ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Calculator*), o primeiro computador eletrônico digital de grande porte e de uso geral.

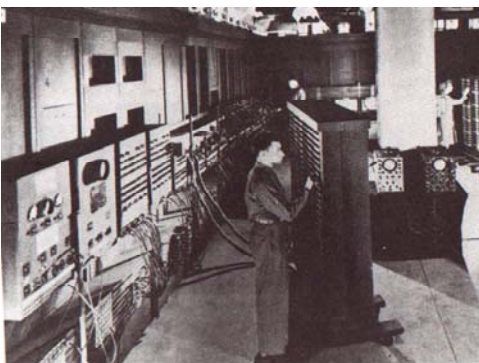


Figura 7 – Computador ENIAC

Bugs eram pequenos besouros que se infiltravam no interior da máquina atraídos pelo calor das válvulas termoionicas

Houve muita polêmica sobre quem construiu o primeiro computador eletrônico envolvendo disputa de patentes entre as empresas Sperry Rand (Eckert/Mauchly) e Honeywell (Atanasoff). Porém ficou comprovado que no início de 1940 Eckert viajara à Iowa para ver Atanasoff e posteriormente lhe escrevera pedindo para usar algumas de suas idéias. O matemático John Von Neuman propôs o



projeto de um computador onde as instruções poderiam ser fornecidas juntamente com os dados a serem processados. Neste computador de programas armazenados, os operandos alimentam um novo conjunto de instruções apenas quando se deseja executar um novo programa. O primeiro computador de programa armazenado: o EDSAC (*Electronic Discrete Storage Automatic Calculator*) foi construído na Inglaterra em 1949 e o segundo, o EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) foi construído em 1950 nos EUA.

4 O Advento da Física do Estado Sólido

Com o desenvolvimento dos amplificadores operacionais a válvula, foi possível realizar eletronicamente as operações de multiplicação por constante (amplificação), soma e subtração de sinais, derivada e integral de sinais no tempo, cascadeando-se tais operadores, pode-se construir um circuito eletrônico que gere um sinal em volts idêntico à equação a ser resolvida. Apesar da alta frequência de operação, as válvulas possuem grande dimensões e alto consumo. Estes problemas foram praticamente resolvidos com o advento da Física do Estado Sólido com o surgimento do **Transistor**.

Desde muito antes dos primeiros computadores eletrônicos procurava-se um dispositivo capaz de substituir as válvulas nos equipamentos eletrônicos. Os primeiros passos foram dados quando Willian Shockley (co-inventor do transistor, pois a iniciativa incluiu muitos outros pesquisadores) assumiu sua posição nos Laboratórios Bell, justamente após o término da segunda guerra mundial para investigar dispositivos alternativos à válvula. As esperanças residiam em algum forma explorar os conhecimentos em física do estado-sólido a partir dos conhecimentos recém descobertos relacionados com a estrutura eletrônica e atômica da matéria.

No começo de 1940 um cientista dos Laboratórios Bell, Russel S. Ohl, mostrou que materiais semicondutores possuíam propriedades interessantes, especificamente mostrando que um bloco de silício podia transformar energia luminosa em energia elétrica, fenômeno este vastamente explorado através das células solares.

A data do nascimento do transistor foi 23 de dezembro de 1947, quando o primeiro protótipo do transistor começou a funcionar após alguns anos de testes frustrantes. Foi um outro pesquisador da Bell, John Pierce que batizou o dispositivo “Amplister” e “transistor”, o último nome foi escolhido devido ao fato do dispositivo transferir corrente a partir de uma entrada de baixa resistência para uma



saída de alta resistência (trans-resistor ou transistor). Inicialmente as dificuldades eram grandes: era impossível garantir a manufatura de dois transistores com as mesmas propriedades.

Em 1954 o primeiro rádio transistorizado foi construído e em 1960 o primeiro computador transistorizado foi desenvolvido. Respcctivamente em 1957 e 1958, UNIVAC e Philco lançaram no mercado os primeiros computadores transistorizados do mundo.

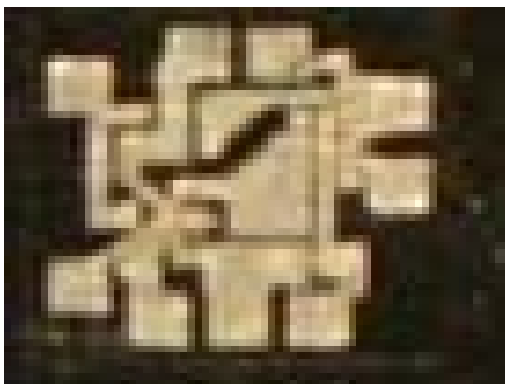
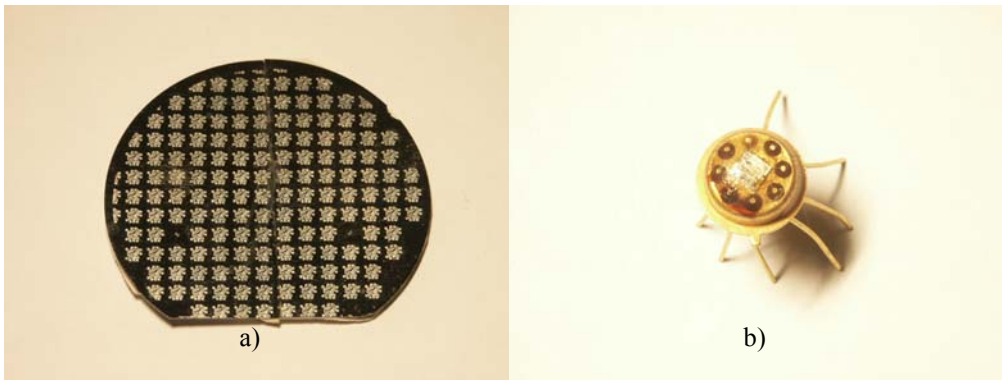


Figura 8 – 1º Circuito Integrado Feito no Brasil,

Projeto e construído em abril de 1971 por João Antonio Zuffo

- a) Lâmina de silício de 1 polegada*
- b) Pastilha encapsulada*
- c) Detalhe do circuito de uma pastilha (chip)*

No caso 1 porta lógica (nor e or) baseada em 6 transistores (4 entradas e duas saídas).

c)

Com o domínio tecnológico de manufatura e projeto dos dispositivos de estado sólido surgiram então as **Placas de Circuito Impresso**, cujo objetivo é de servir de suporte e interconexão aos compactos componentes eletrônicos de qualquer circuito, e ter um desenho compacto, um dos principais problemas foi o de resolver problemas de mau contato, alguns problemas surgiram como o das trilhas paralelas de cobre sofrerem interferência eletromagnética, vários materiais plásticos foram pesquisados e desenvolvidos para a confecção de placas de circuito impresso como fenolite, fibra-de-vidro (FR4) e duróide (muito usado em microondas).



Um dos problemas das placas de circuito impresso é que elas começaram a ficar muito grandes, (há relatos de placa com até 1m^2). Os sistemas eletrônicos com placas muito grandes eram frágeis, caros e de difícil manutenção. A solução: foi colocar componentes semelhantes no mesmo encapsulamento, dando então surgimento ao CI (Circuito Integrado).



Figura 9 – Integração de Circuitos Eletrônicos em Ultra Larga Escala (ULSI)

Engenheiro em sala limpa apresentando lamina (“wafer”) de 30 centímetros de silício com centenas de pastilhas (tipicamente 400) e bilhões de transistores.

Preocupado com a integração em larga escala dos sistemas eletrônicos transistorizados ou à válvula, Jack Kilby propôs em 1958 o Circuito Integrado, escrevendo em seu livro de notas: “os seguintes elementos de circuito podem ser construídos em uma simples fatia: resistores, capacitores, capacitores distribuídos e transistores”. O primeiro dispositivo integrado: um circuito oscilador por deslocamento de fase foi construído na Texas Instrumentos em 12 de setembro de 1958.

Além dos computadores digitais a física do estado sólido propiciou uma enorme quantidade de dispositivos eletrônicos analógicos (diodos, transistores, varistores, tiristores) permitindo a implementação de **Circuitos Analógicos de Estado Sólido**. Estes circuitos foram desenvolvidos após o sucesso da aplicação dos transistores em: filtros ativos, (de)moduladores, osciladores, amplificadores convencionais, amplificadores diferenciais e operacionais, ceifadores, etc. Estes circuitos permitiram uma enorme manufatura do que hoje denominamos eletrônica de consumo, propiciando circuitos muito mais compactos e com consumo muito menor. As desvantagens eram a maior dificuldade inicial de projeto (hoje superada) e menor faixa linear de operação.

Com o surgimento do circuito integrado, computadores baseados em álgebra binária ou Álgebra Booleana, circuitos estes completamente digitais e não-lineares (saturantes) só obtiveram aplicação prática após incorporarem conceitos da teoria da informação, onde sinais analógicos são amostrados e quantizados e depois processados como números binários e os resultados são reconvertidos para



sinais analógicos. Ao contrário dos circuitos analógicos, os circuitos digitais não acumulam ruído, entretanto podem incorporar erros de quantização.

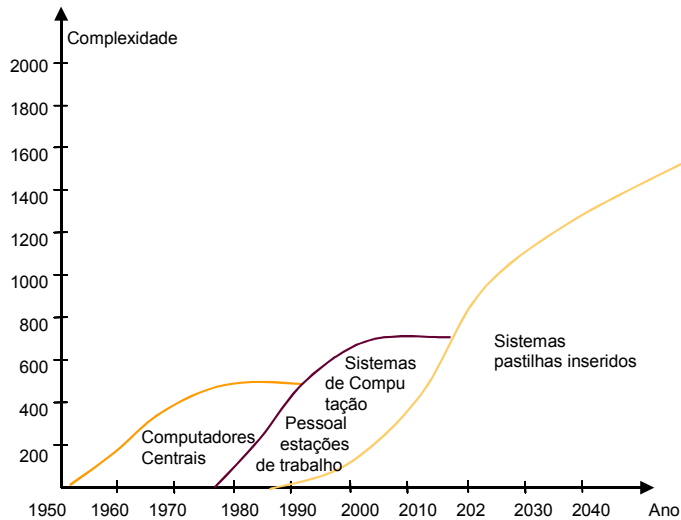


Figura 10 – Complexidade dos Sistemas Eletrônicos

No final do século XX e início do século XXI a complexidade dos sistemas eletrônicos tem crescido de forma vertiginosa.

A principal avanço com o advento do Circuito Integrado foi o desenvolvimento dos microprocessadores, ou os “Computer On a Chip”, propostos inicialmente pelo engenheiro Marcian E. Hoff da Intel em 1971.

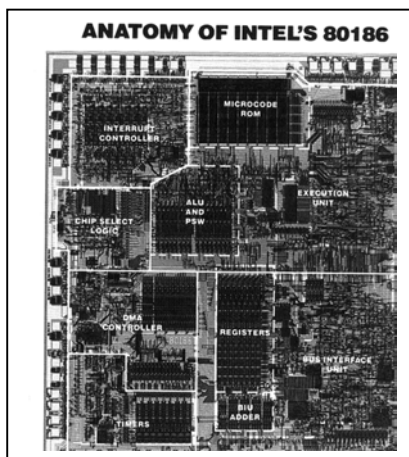


Figura 11 – Anatomia do Microprocessador Intel 80186

A Partir da Década de 70 e principalmente década de 80 o desenvolvimento dos microprocessadores tomou grande impulso, viabilizando a proliferação em larga escala dos microcomputadores e várias aplicações embarcadas (automobilismo, aviônica, PDAs).

Os microprocessadores deram enorme impulso a revolução da informática, baseada nos milhões de computadores atualmente disponíveis na sociedade.

Atualmente os desafios dos sistemas eletrônicos residem no que denomina-se “síntese de alto nível”, ou seja, sintetizar pastilhas de silício a partir de descrições de sistemas eletrônicos de alto nível, os famosos circuitos ASICs (*Application Specific Integrated Circuit*).

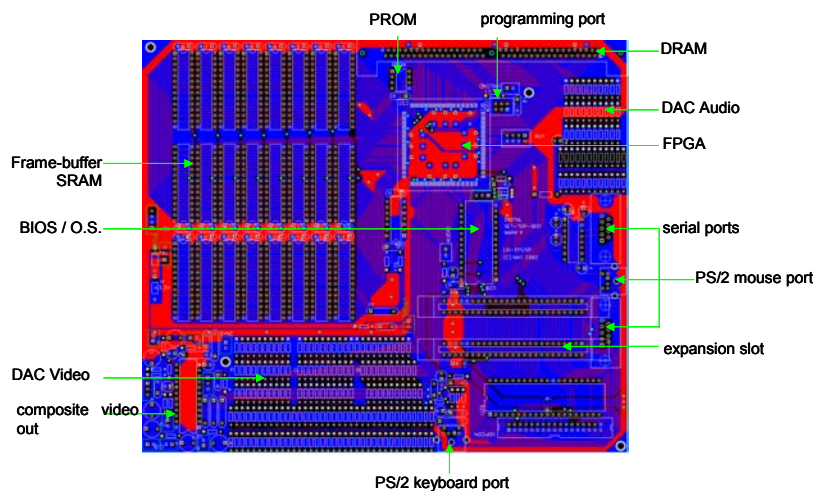


Figura 12 – Sistema Para Recepção de TV digital Baseado em Lógica Reconfigurável.

Observe o desenho simplificado do sistema onde os blocos funcionais básicos são:

- Memória dinâmica
- Memória estática
- FPGA
- Interfaces

Estas técnicas de alto nível vão propiciar outra revolução na eletrônica comparada ao CI ou o microprocessador, pois à princípio aplicações poderão ser “compiladas” em silício e embutidas nas roupas, pessoas, automóveis e animais.

Finalmente na atualidade, circuitos eletrônicos reconfiguráveis estão se tornando cada vez mais populares. Neste caso, os circuitos eletrônicos podem se “adaptar” a aplicação final, desde que as suas conexões internas são armazenadas em memória. São os FPGAs (*Field Programmable Gate Arrays*). A utilização de FPGAs tem em muito simplificado o projeto de sistemas eletrônicos avançados.

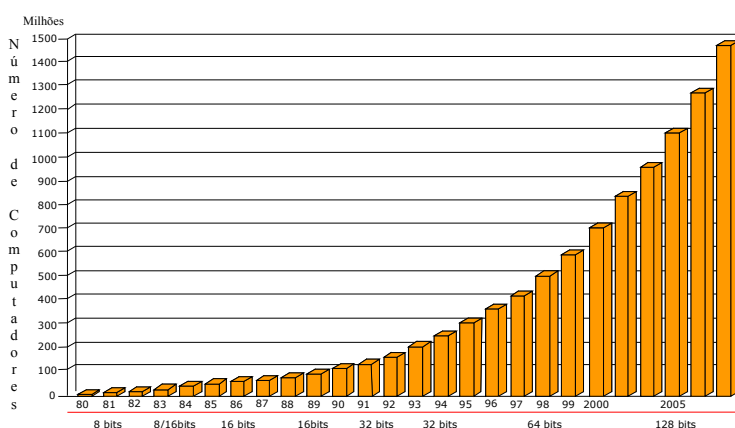


Figura 13- Total de Microcomputadores Disponível no Mundo

De forma surpreendente a tecnologia eletrônica avançou enormemente nas últimas décadas. Os próximos desafios ainda são grandes. Os computadores atuais ainda são deficientes na interação entre o ser humano e a máquinas sejam nas suas interfaces cognitivas (auditiva, visual e tátil) como biológicas (sensores neuronais). Num futuro muito próximo estaremos chegando as barreiras dos



limites físicos dos atuais modelos eletrônicos. Em alguns meses processos de microeletrônica em 90nm estarão sendo validados para o desenvolvimento de microprocessadores de 64 bits que vão operar em frequências de em torno de 10 a 25GHz. Uma alternativa poderá ser a Fotônica ou a computação quântica atualmente assuntos em pesquisa nos vários laboratórios no mundo.

5 Bibliografia

- João Antonio Zuffo A Infoera: O imenso Desafio do Futuro, São Paulo Maio de 1998, Editora Saber Eletrônico.
- João Antonio Zuffo A Sociedade e a Economia no Início do Milênio: A Tecnologia e Infosociedade, Editora Manole, 1ª Edição, São Paulo, Outubro 2002.
- Robert Slater Portraits in Silicon, The MIT Press, Cambridge Massachussets, 1997.
- Carver Mead e Lynn Conway Introduction to VLSI Systems, Addison Wesley Series in Computer Science, Outubro 1980.